



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Efektyvumo priemonių įtakos energijos vartojimui šildymo ir oro kondicionavimo sistemose tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Irmantas Kanapickas

Projekto autorius

Doc. prakt. Aistija Vaišnorienė

Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Efektyvumo priemonių įtakos energijos vartojimui šildymo ir oro kondicionavimo sistemose tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Irmantas Kanapickas

Projekto autorius

Doc. prakt. Aistija Vaišnorienė

Vadovė

Doc. Mindaugas Ažubalis

Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Irmantas Kanapickas

Efektyvumo priemonių įtakos energijos vartojimui šildymo ir oro kondicionavimo sistemose tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Irmantas Kanapickas

Patvirtinta elektroniniu būdu

Kanapickas, Irmantas. Efektyvumo priemonių įtakos energijos vartojimui šildymo ir oro kondicionavimo sistemose tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. prakt. dr. Aistija Vaišnorienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): energijos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: energinio efektyvumo priemonės, šildymo sistema, oro kondicionavimo sistema, šilumos siurblys, dujinis katilas, saulės šviesos elektrinė, technologinis ir energetinis vertinimas, ekonominis efektyvumas.

Kaunas, 2024. 81 p.

Santrauka

Šiame darbe apibendrinami įstatymiškai patvirtinti ir galiojantys energinio efektyvumo priemonių vertinimo metodai bei kituose moksliniuose darbuose naudojamos technikos. Atliekant teorinę analizę identifikuojamas didelis efektyvumo didinimo potencialas pastatų šildymo ir vėsinimo sistemose. Vertinami didžiausią energinį efektyvumą ir ekonominę naudą teikiantys alternatyvūs šildymo ir vėsinimo sistemų sprendimai. Tyrimui atlikti pasirenkamas tikslinis objektas, kuris pasižymi efektyvumo didinimo potencialu technologinių alternatyvų diegimo scenarijais. Detalizuojami scenarijai objekto modernizavimui naujomis technologinėmis šildymo ir vėsinimo alternatyvomis, kurių efektyvumas vertinamas technologiniais, energiniais, ekonominiais ir finansiniais rodikliais. Atliekama jautrumo analizė, siekiant iširti diskonto normos, elektros ir gamtinių dujų rinkos kainų bei technologijų pradinių investicijų dydžio pokyčių įtaką.

Kanapickas, Irmantas. Investigation of Efficiency Measures Influence on Energy Consumption in Heating and Air Conditioning Systems. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. pract. dr. Aistija Vaišnorienė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): energy engineering, engineering science.

Keywords: energy efficiency measures, heating system, air conditioning system, heat pump, gas boiler, solar power plant, technological and energetic evaluation, economic efficiency.

Kaunas, 2024. 81 p.

Summary

This paper summarizes the legally approved and valid methods for evaluating energy efficiency measures and the techniques used in other scientific researches. The theoretical analysis is done to identify a significant potential for efficiency improvements in building heating and cooling systems. The solutions for the modernization of heating and cooling systems that provide the highest energy efficiency and economic benefits are assessed. The object is selected for the study which corresponds to efficiency increase potential by the implementation of technological alternatives. Scenarios are specified for the modernization of the object with new technological alternatives for heating and cooling, the efficiency of which is assessed in terms of technological, energy, economic and financial indicators. Sensitivity analysis on changes of discount rate, technology investments, natural gas and electricity market prices is accomplished.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Apžvalginė dalis.....	13
1.1. Energijos vartojimo efektyvumo svarba energetikos krizės akivaizdoje	13
1.1.1. Energetikos krizės įtaka vartotojams	14
1.2. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo strategijos	14
1.2.1. Efektyvumo didinimo strategija Europos Sąjungoje.....	14
1.2.2. Efektyvumo didinimo strategija Lietuvoje.....	16
1.3. Energinio efektyvumo didinimo priemonės pastatuose	19
1.4. Atlikti tyrimai ir studijos	22
1.4.1. Šilumos siurblių įrengimas	22
1.4.2. Šilumos siurblių derinimas su AEI elektrinėmis	25
1.5. Šilumos siurblių technologija	26
1.6. Energinio efektyvumo ir Pastatų duomenų banko sąsaja	30
2. Metodinė dalis.....	31
2.1. Tyrimo objektas.....	31
2.2. Tyrimo metodika	31
2.2.1. Technologinis ir energetinis vertinimas	33
2.2.2. Ekonominis vertinimas.....	36
3. Tiriamoji dalis.....	40
3.1. Technologinis ir energetinis vertinimas	40
3.1.1. Alternatyva 1: šilumos siurblys	40
3.1.2. Alternatyva 2: šilumos siurblys + saulės šviesos elektrinė	43
3.1.3. Alternatyva 3: dujinis katilas + oro kondicionierius	43
3.2. Ekonominis vertinimas.....	45
3.2.1. Ekonominis efektyvumas	46
3.2.2. Finansiniai rodikliai.....	50
3.2.3. Jautrumo analizė.....	51
Išvados	61
Literatūros sąrašas	62
Priedai.....	69
1 priedas. Šilumos sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos tikrinimo ataskaitos šablonas [50].....	69
2 priedas. Oro kondicionavimo ir kombinuotosios kondicionavimo ir vėdinimo sistemos tikrinimo ataskaitos šablonas [50]	73
3 priedas. <i>Excel</i> skaičiuoklė technologiniam, energetiniam ir ekonominiam vertinimams atlikti.....	74
4 priedas. Ekonominio vertinimo skaičiavimo pavyzdys. Šilumos siurblių alternatyvos.....	76

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Lietuvos šildymo ir vėsinimo sektorių tikslai 2050 m. [27].....	19
2 lentelė. Šilumos siurblių privalumai pagal siurblio tipą [46].....	28
3 lentelė. Šilumos siurblių trūkumai pagal siurblio tipą [46].....	29
4 lentelė. Pastatų šilumos nuostoliai pagal energinio naudingumo klasę [52].....	34
5 lentelė. Apibendrinti tyrimo objekto šildymo sistemos duomenys.....	40
6 lentelė. Svarbiausios pasirinktų šilumos siurblių techninės specifikacijos [70–73].....	42
7 lentelė. Technologinių alternatyvų energijos poreikiai ir sutaupytos energijos kiekiai.....	45
8 lentelė. Technologinių alternatyvų pradinės investicijos [72, 73, 77–81].....	46
9 lentelė. Technologinių alternatyvų ekonominiai rodikliai.....	47
10 lentelė. Technologinių alternatyvų GDV ir VGN.....	51
11 lentelė. Diskonto normos pokyčių įtaka: atsipirkimo laikai ir sutaupytos energijos kainos.....	51
12 lentelė. Diskonto normos pokyčių įtaka: GDV ir VGN.....	54
13 lentelė. Elektros kainos pokyčių įtaka: atsipirkimo laikai ir metiniai sutaupymai.....	55
14 lentelė. Dujų kainos pokyčių įtaka: atsipirkimo laikai ir metiniai sutaupymai.....	56
15 lentelė. Investicijų dydžio pokyčių įtaka: DK padidėjimas 10 %.....	58
16 lentelė. Investicijų dydžio pokyčių įtaka: ŠS sumažėjimas 20 %.....	59
17 lentelė. Investicijų dydžio pokyčių įtaka: SE sumažėjimas 15 %.....	60
18 lentelė. Pradinės investicijos šilumos siurbliams [81].....	77
19 lentelė. Finansinių rodiklių skaičiavimas ŠS1 scenarijui.....	78

Paveikslų sąrašas

1 pav. Apibendrinti COVID-19 sukelti iššūkiai ir galimybės energetikos sektoriuje [12].....	13
2 pav. Supaprastinta išlaidų energijai sandara [14].....	14
3 pav. Energijos suvartojimo ir BVP augimo prognozės Lietuvoje iki 2050 m. [23]	16
4 pav. Energijos intensyvumas Europos Sąjungos šalyse 2011–2021 m. [24].....	17
5 pav. Lietuvos energijos intensyvumo mažėjimo prognozė iki 2050 m. [25].....	18
6 pav. Efektyvių šildymo ir vėsinimo priemonių vertinimo modelis [27].....	20
7 pav. Lietuvos pastatų fondas pagal energinio naudingumo klasę (mln. m ²), 2019 pab. [28]	20
8 pav. Operacinių išlaidų priklausomybės nuo tiekiamo vandens temperatūros šilumos siurbliui ir katilui pagal šalį [33]	23
9 pav. Pirminės energijos suvartojimo priklausomybė nuo tiekiamo vandens temperatūros šilumos siurbliui ir katilui pagal šalį [33]	23
10 pav. Šilumos siurblio efektyvumo koeficiento COP priklausomybė nuo lauko oro temperatūros [38]	24
11 pav. Šilumos siurblio tiekiamo vandens temperatūros palyginimas su lauko oro temperatūra [38]	24
12 pav. Oro šaltinio šilumos siurblio sistemos derinys su PV moduliais [39].....	25
13 pav. Operacinių išlaidų priklausomybės nuo tiekiamo vandens temperatūros šilumos siurbliui su saulės šviesos elektrine ir katilui pagal šalį [33]	26
14 pav. Šilumos siurblio šildymo sistemos struktūra [46]	27
15 pav. Šilumos siurblio veikimo principo schema [47]	28
16 pav. Tyrimo metodikos algoritmas (sudaryta autoriaus).....	32
17 pav. Vidutinės paros oro temperatūros išsibarstymas Lietuvoje 1990–2020 metais, vertinant kiekvieną metų dieną [68]	41
18 pav. <i>NORDIS Optimus PRO Split HOP16WODU3</i> oras – vanduo šilumos siurblys [70].....	42
19 pav. <i>Hitachi Yutaki S10</i> 24kW oras – vanduo šilumos siurblys [71].....	42
20 pav. Kondensacinis dujinis katilas <i>VIESMANN Vitodens 200-W</i> , 99 kW vardinės galios [75]...	44
21 pav. Kondensacinis dujinis katilas <i>Bosch Condens 7000 WP</i> , 100 kW vardinės galios [76].....	44
22 pav. Metinis sutaupyta energijos kiekis pagal technologinę alternatyvą	46
23 pav. Investicijų dydis pagal sutaupyta energijos kiekį	47
24 pav. Paprastas atsipirkimo laikas pagal technologinę alternatyvą.....	48
25 pav. Tikrasis atsipirkimo laikas pagal technologinę alternatyvą	48
26 pav. Sutaupyta energijos kaina pagal technologinę alternatyvą.....	49
27 pav. Šilumos siurblių ir šilumos siurblių su saulės elektrinėmis sutaupyta energijos kainų palyginimas su elektros kaina rinkoje	49
28 pav. Dujinių katilų su oro kondicionieriais sutaupyta energijos kainos palyginimas su dujų kaina rinkoje.....	50
29 pav. Esamos ir alternatyvių technologijų 1 m ² operacinių išlaidų palyginimas	50
30 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: sutaupyta energijos kaina pagal technologinę alternatyvą	52
31 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: šilumos siurblių SEK palyginimas su elektros rinkos kaina	53
32 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: šilumos siurblių su saulės elektrinėmis SEK palyginimas su elektros rinkos kaina.....	53

33 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: dujinių katilų su oro kondicionieriais SEK palyginimas su elektros rinkos kaina.....	54
34 pav. Elektros kainos pokyčių įtaka: 1 m ² tikrasis atsipirkimo laikas pagal šilumos siurblių alternatyvą	55
35 pav. Elektros kainos pokyčių įtaka: 1 m ² metiniai sutaupymai pagal šilumos siurblių alternatyvą	56
36 pav. Gamtinių dujų kainos pokyčių įtaka: 1 m ² metiniai sutaupymai pagal technologinę alternatyvą	57
37 pav. Gamtinių dujų kainos pokyčių įtaka: 1 m ² tikrasis atsipirkimo laikas pagal technologinę alternatyvą	58
38 pav. Dujinių katilų investicijų pokyčių įtaka: sutaupyta energijos kaina pagal technologinę alternatyvą	59
39 pav. Šilumos siurblių investicijų pokyčių įtaka: sutaupyta energijos kaina pagal technologinę alternatyvą	60
40 pav. Saulės elektrinės investicijų pokyčių įtaka: sutaupyta energijos kaina pagal technologinę alternatyvą	60

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

NENS – Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija;

GES – galutinis energijos suvartojimas;

PES – pirminis energijos suvartojimas;

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas;

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

OPEX (angl. operating expense) – operacinės išlaidos;

COP (angl. Coefficient of Performance) – našumo koeficientas;

PV (angl. Photovoltaics) – saulės energija;

LCC (angl. Life-cycle costing) – gyvavimo ciklo sąnaudos;

SCOP (angl. Seasonal Coefficient of Performance) – sezoninis našumo koeficientas;

SEER (angl. Seasonal Energy Efficiency Ratio) – sezoninis energinio efektyvumo reitingas;

PAL – paprastasis atsipirkimo laikas;

TAL – tikrasis atsipirkimo laikas;

GDV – grynoji dabartinė vertė;

DV – dabartinė vertė;

VGN – vidinė gražos norma;

SEK – sutaupytos energijos kaina;

KGF – kapitalo gražos faktorius;

WACC (angl. Weighted Average Cost of Capital) – vidutinė svertinė kapitalo kaina;

KD – kietosios dalelės;

ŠS – šilumos siurblys;

DK – dujinis katilas;

SE – saulės šviesos elektrinė;

OK – oro kondicionierius.

Terminai:

Šaltnešis – medžiaga ar mišinys, kuris prie tam tikrų parametrų gali pakeisti savo agregatinę būseną, t.y. pavirsti iš skystos į dujinę ir priešingai. Išnaudojant šią savybę ir reguliuojant slėgį, galima perduoti šaltnešyje sukauptą energiją;

Atsipirkimo laikotarpis – laiko tarpas, kuris yra reikalingas pradinei investicijų vertei atstatyti;

Grynoji dabartinė vertė – dabartinė suminių pinigų srautų vertė, įtraukiant ir pradines investicijas;

Vidinė gražos norma – diskonto norma, kuriai esant sulyginamos pajamų srautų ir išlaidų dabartinės vertės;

Sutaupytos energijos kaina – ekonominio efektyvumo vertinimo rodiklis, nurodantis ribinę energijos taupymo priemonių ar jų rinkinio sukuriama efekto kainą, transformuotą į energijos vieneto kainą;

Vidutinė svertinė kapitalo kaina – rodiklis, skirtas vidutinių kapitalo kaštų įvertinimui, atsižvelgiant į kapitalo struktūrą.

Įvadas

Efektyvus energijos vartojimas – vienas geriausių būdų energijos tiekimo saugumui didinti ir mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas. Dėl šios priežasties jis įgyja dar didesnę reikšmę vyraujančios energetikos krizės metu, kai vis aktualesni tampa energetinio saugumo ir taupymo klausimai. Efektyvumo didinimas reiškia suvartojamos energijos kiekio mažėjimą tai pačiai funkcijai atlikti, kas yra itin aktualu vartotojams dėl didėjančių išlaidų energetinėms paslaugoms. Energetinio efektyvumo skatinimo svarbą taip pat įrodo ir jo įtraukimas į pagrindinių Europos Sąjungos energetikos politikos tikslų sąrašą ir specialių direktyvų bei strategijų kūrimas. Lietuvos energetikos efektyvinimo tikslai ir prognozės aprašyti Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijoje (NENS). Magistriniame darbe apžvelgiama energetikos krizės problematika ir sąsajos su efektyviu energijos vartojimu, nagrinėjamos ES ir Lietuvos energijos vartojimo efektyvumo politikos bei atliekama jau esamų tyrimų rezultatų analizė daug galimybių energijos taupymui turinčiame pastatų sektoriuje. Dėl potencialo didinti energinį efektyvumą diegiant techninius patobulinimus, tiriamasis darbas orientuojamas į pastatų šildymo ir oro kondicionavimo sistemų energetinės, ekonominės ir technologinės analizių kryptis.

Darbo tikslas – ištirti efektyvumo didinimo priemonių įtaką šildymo ir oro kondicionavimo sistemų energijos vartojimo poreikiams technologiniu ir ekonominiu aspektais.

Darbo uždaviniai:

1. išanalizuoti Europos Sąjungoje ir Lietuvoje iškilusios energetikos krizės problematiką ir jai spręsti taikomas priemones;
2. identifikuoti energinio efektyvumo didinimo priemones šildymo ir oro kondicionavimo sistemose;
3. sudaryti tyrimo metodiką pastatų šildymo ir oro kondicionavimo sistemų technologinių tobulinimo galimybių analizei bei ekonominiam vertinimui;
4. ištirti administracinės paskirties pastato decentralizuotų šildymo ir oro kondicionavimo sistemų energinio efektyvumo didinimo priemonių įtaką energijos poreikiams ir sutaupytos energijos kainai;
5. atlikti decentralizuotų šildymo ir oro kondicionavimo sistemų efektyvumo didinimo priemonių jautrumo analizę.

Tyrimo metodai: analizė siejant užsienio ir Lietuvos mokslinės literatūros bei internetinius šaltinius bei lyginant juos tarpusavyje. Tyrimui atlikti pasitelkiamos LR ir ES strategijos, direktyvos ir įstatymų patvirtintos metodikos šildymo ir oro kondicionavimo sistemų tikrinimo ataskaitos. Apskaičiuojami technologiniai ir energetiniai rodikliai: šildymo galia, metinis energijos suvartojimas, metiniai energijos poreikiai, sutaupytos energijos kiekis. Taip pat vertinami metiniai finansiniai sutaupymai, grynoji dabartinė vertė, vidinė gražos norma, paprastasis atsipirkimo laikas, tikrasis atsipirkimo laikas, operacinės išlaidos ir sutaupytos energijos kaina. Skaičiavimų metodikos pasirinktos iš esamų įstatymiškai patvirtintų LR metodikų ir kitų mokslinių darbų.

Magistrinio darbo struktūra. Magistro baigiamąjį darbą sudaro santrauka, turinys, lentelių ir paveikslų sąrašai, santrumpos, įvadas, apžvalginė, metodinė, tiriamoji dalys, išvados, literatūros sąrašas bei priedai. Darbas susideda iš 81 puslapio, 19 lentelių, 40 paveikslų ir 4 priedų. Literatūros sąrašas sudarytas iš 97 šaltinių.

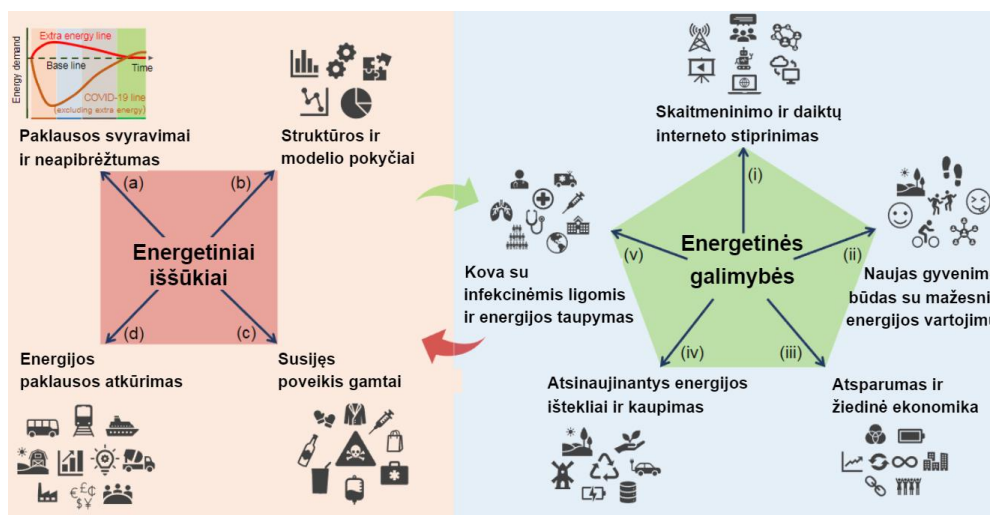
1. Apžvalginė dalis

1.1. Energijos vartojimo efektyvumo svarba energetikos krizės akivaizdoje

Vieni iš faktorių, padedančių prisidėti prie šalių nacionalinio energijos tiekimo saugumo bei teikiantys papildomos naudos yra energijos vartojimo efektyvumas bei taupymas [1]. Dideli pastarųjų metų sukrėtimai, tokie kaip COVID-19 pandemija, 2021–2022 m. energetikos krizė ir Rusijos Federacijos sukeltas karas Ukrainoje gali pristabdyti anglies dioksido neutralumo siekimo tempą ir Europos Sąjungos šalių energetikos politikoje didžiąją dalį dėmesio skirti energetinio saugumo tikslams [2, 3, 4].

Dabartinis karas Ukrainoje ir ankstesnė energijos kainų krizė, kurią sukėlė Rusija, turi tiesioginį poveikį pasauliniam geopolitiniam stabilumui ir pasauliniam maisto ir energijos saugumui bei skurdui – visų pirma dujų, naftos ir elektros kainoms ir energetikos permainingoms visame pasaulyje [5, 6]. Prireikus reikės iš esmės peržiūrėti savo energijos rūšių derinį, sumažinti dujų ir naftos naudojimo kiekį ir diversifikuoti jų tiekėjus. Daugelis šalių dabar turi galimybę arba grįžti prie dar labiau aplinką teršiančio iškastinio kuro, arba paspartinti perėjimą prie tvaresnių energijos šaltinių, kaip numatyta Naujojo Žaliojo kurso įgaliojimuose [7, 8]. Šiuose įgaliojimuose energijos efektyvumas įvardijamas kaip vienas iš pagrindinių perėjimo prie švarios energijos principų, padėsiančių sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą ir pagerinti gyventojų gyvenimo kokybę [9]. Jau nuo karo pradžios daugelis Europos Sąjungos šalių imasi politikos ir specialių gairių, kad skatintų energijos suvartojimo mažinimą, o ypač iškastinio kuro kilmės energiją. Pavyzdžiui, Tarptautinės energetikos agentūros (TEA) 10 punktų planas, kuriuo siekiama sumažinti naftos vartojimą, arba *REPowerEU* investicijų planai, kuriais siekiama iki 2027 m. paskatinti investicijas į švarią energiją (pvz. 56 mlrd. eurų energijos vartojimo efektyvumui ir šilumos siurbliams) [10].

Įvairiuose tyrimuose buvo apžvelgtas COVID-19 poveikis konkreitiems sektoriams arba tam tikroms energetikos sektoriaus suinteresuotosioms šalims. Viename jų nagrinėjamas pandemijos poveikis energijos paklausai ir pranešama apie įvairius pastebėtus pokyčius pandemijos ir atsigavimo po jos metu bei siūlomi sprendimai, kaip padidinti energijos vartojimo efektyvumą ir skatinti energijos taupymą. Apibendrinti COVID-19 iššūkiai ir galimybės energetikos sektoriuje pateikti 1 pav. [11, 12].



1 pav. Apibendrinti COVID-19 sukelti iššūkiai ir galimybės energetikos sektoriuje [12]

4 pagrindiniai energetikos iššūkiai:

- a) paklausos svyravimai ir neapibrėžtumai;
- b) struktūros ir modelio pokyčiai;
- c) su pokyčiais susijęs poveikis gamtai;
- d) energijos paklausos atkūrimas.

COVID-19 pandemija lėmė neigiamų ir ribojančių faktorių energetikos pramonėje atsiradimą, tačiau svarbu atsižvelgti į tai, kad visuomenė turi atstatyti balansą vartodama aplinkai netaršius energijos išteklius. Verta atkreipti dėmesį į kai kurias geresnes ateities energetikos plėtros galimybes, taip pat ir pastabas dėl jų trūkumų. Apibendrinus galima pateikti 5 energetikos galimybes:

1. skaitmeninimo stiprinimą;
2. naują gyvenimo būdą su mažesniu energijos vartojimu;
3. atsparumo didinimą taikant žiedinę ekonomiką;
4. atsinaujinančiųjų išteklių energijos naudojimą ir energijos kaupimo galimybes;
5. kovą su užkrečiamosiomis ligomis ir energijos taupymą [12, 13].

1.1.1. Energetikos krizės įtaka vartotojams

Dėl komplikotos situacijos energetikos sektoriuje auga išlaidos energijos vartotojams. Didžiausias poveikis padaromas energetinių paslaugų kaštams (žr. 2 pav.).

$$\left(\begin{array}{c} \text{Išlaidos} \\ \text{energijai} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Poreikiai} \\ \text{energetinėms} \\ \text{paslaugoms} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Energijos} \\ \text{vartojimo} \\ \text{efektyvumas} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Energijos} \\ \text{vieneto kaina} \end{array} \right)$$

2 pav. Supaprastinta išlaidų energijai sandara [14]

Energijos poreikiai priklauso nuo vartotojų galimybių ir norų. Didžiąja dalimi galimybės yra nulemtos pajamų, tad vartotojai, turintys mažesnes nei vidutinės pajamos, turi sumažinti savo poreikius. Vis tik kiti vartotojai neprivalo riboti savo poreikių, jei jų energetinių išlaidų (elektros energijos, dujų, šilumos, kuro transportui) dydis sudaro nedidelę pajamų dalį.

Mažinti energijos suvartojimą galima pasitelkiant ne tik didelių finansinių investicijų reikalaujančias fizines priemones, skirtas naujų energiška efektyvių sistemų įsigijimui, bet ir mažinant energijos eikvojimą veltui dėl netinkamai veikiančių ar techniškai netvarkingų sistemų, taip pat keičiant žmonių elgesio įpročius.

Geopolitinė situacija Europoje lemia galimybių apribojimą daryti įtaką energijos kainoms trumpuoju laikotarpiu, todėl norint sumažinti energijos sąnaudas, verta atsižvelgti į savo poreikius ir juos keisti [14]. Nepaisant to, energijos vartojimo efektyvinimo priemonių diegimas gali leisti energijos suvartoti mažiau, nekeičiant poreikio lygio.

1.2. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo strategijos

1.2.1. Efektyvumo didinimo strategija Europos Sąjungoje

Siekiant apibrėžti efektyvaus energijos vartojimo svarbą Europos Sąjungoje, sutarties dėl Europos Sąjungos veikimo (SESV) suvestinėje kaip vieni pagrindinių yra įtraukti šie ES energetikos politikos

tikslai: energijos vartojimo efektyvumo skatinimas, taupymas ir naujų bei atsinaujinančių išteklių plėtojimas [15].

Europos Sąjungos teisės aktai dėl energijos vartojimo efektyvumo per 15 pastarųjų metų stipriai pasikeitė. 2018 m. buvo nustatytas tikslas iki 2030 m. ES per metus suvartojamos energijos kiekį sumažinti 32,5 %. Paminėtina, jog jau 2023 m. kovo mėn. tikslas buvo pakoreguotas – iki 2030 m. sumažinti ES pirminės ir galutinės energijos suvartojimą atitinkamai 38 % ir 40,5 %. Šie siekiai rodo, jog energijos vartojimo efektyvumas yra strateginis ES Energetikos sąjungos prioritetasis [16, 17].

Energijos vartojimo efektyvumo direktyva

ES persvarstytoje Energijos vartojimo efektyvumo link 2030 m. direktyvoje buvo įtrauktos ir gairės pastatų energiniam efektyvumui didinti. Joje buvo numatyti reikalavimai viešojo sektoriaus pastatų suvartojamos energijos kiekį kasmet mažinti po 1,7 % ir metinis siekis atlikti bent 3 % šio sektoriaus pastatų bendro patalpų ploto renovaciją. Valstybėms narėms taip pat rekomenduojama pradėti konkrečias informavimo kampanijas namų ūkiams ir pramonei, siekiant skatinti energijos taupymą, pavyzdžiui, taikyti mažesnius pridėtinės vertės mokesčio tarifus efektyvesnėms šildymo sistemoms, pastatų izoliacijai ir elektros prietaisams [16].

Pastatų energinio naudingumo direktyva

ES energetikos politikos programa apima bendrąją informaciją, kurioje nustatyta ir pastatų energinio naudingumo *Direktyva 2010/31*, pakoreguota 2018 m. Ja siekiama užtikrinti, kad iki 2050 m. kiekviena Sąjungos narė turėtų labai efektyviai energiją vartojantį bei nuo iškastinio kuro nepriklausomą pastatų ūkį. Dėl šios priežasties pastatų energinio naudingumo direktyva taip pat numatomos ilgalaikės renovacijos strategijos nacionalinio viešosios paskirties ir privačių pastatų ūkio renovacija. Taip pat iki 2050 m. norima pastatus pertvarkyti į beveik nulinės energijos, reikalaujama, kad nuo 2021 m. visi naujai statomi pastatai priklausytų nulinės energijos kategorijai ir visi pastatai būtų modernizuojami naudojant išmaniąsias technologijas [16, 18].

Pastatų energinio naudingumo direktyva 2021 m. gruodžio 15 d. buvo atnaujinta, norint įtraukti tikslą sumažinti ES išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį bent 55 % bei iki 2050 m. pasiekti įtakos klimatui neutralumą. Kartu su šia direktyvos modifikacija ilgalaikės renovacijos strategijos buvo pradėtos keisti nacionaliniais pastatų renovacijos planais, motyvuojant didesniu veiksmingumu bei geresnėmis galimybėmis juos stebėti. Reikalaujama, kad nuo 2027 m. nauji viešieji ES pastatai būtų visiškai netaršūs, o nuo 2030 m. – visi nauji ES pastatai. Jau esami gyvenamieji pastatai iki 2030 m. turėtų pasiekti bent F energinio naudingumo klasę, o iki 2033 m. – E klasę [16, 18].

2022 m. gegužės 18 d. po Rusijos invazijos į Ukrainą Pastatų energinio naudingumo direktyva buvo dar kartą pakoreguota, padidinant paramą saulės energetikos naudojimui, įtraukiant laipsnišką privalomą saulės energijos įrenginių montavimą ant stogo [19].

Šilumos ir vėsumos strategija

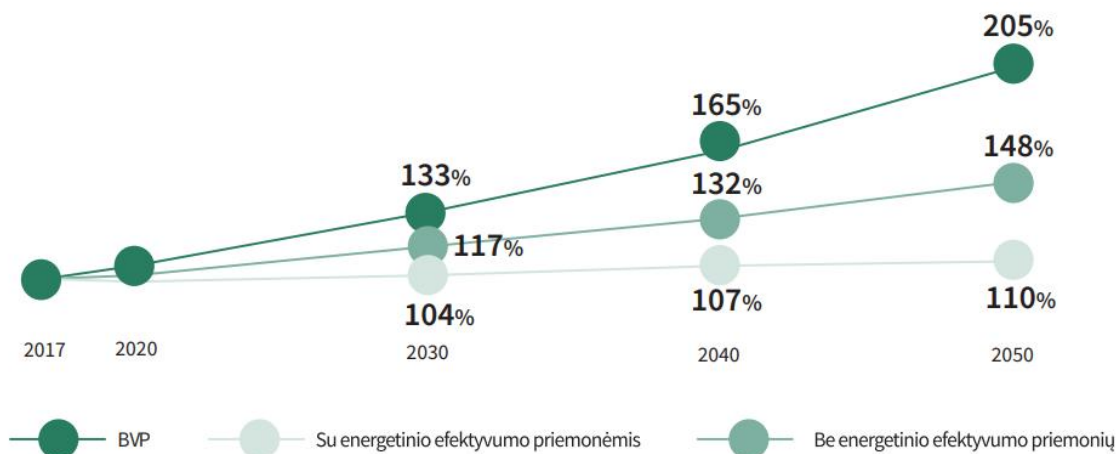
ES Komisija 2016 m. vasario 16 d. paskelbė šilumos ir vėsumos strategiją, kurioje numatoma geriau susieti centralizuoto šildymo ir elektros energijos sistemas. Taip norima gerokai padidinti atsinaujinančių energijos išteklių energijos vartojimą ir papildomą pramonėje atliekamos šilumos bei vėsumos panaudojimą. Šios teisinės nuostatos taip pat įtrauktos į dokumentinį paketą „Švari energija visiems europiečiams“ [16, 17].

2018 ir 2021 m. buvo atliktos šilumos ir vėsumos strategijos peržiūros. Apibendrinus, galima teigti, kad jomis prašoma kiekvienos ES valstybės narės informuoti Komisiją apie individualias galimybes jų teritorijose diegti efektyvaus centralizuoto šildymo ir vėsinimo, aukšto naudingumo lygio bendros šilumos ir elektros energijos gamybos sprendimus. Galimybės turi būti įvertintos, atlikta sąnaudų ir naudos analizė remiantis konkrečiomis klimato sąlygomis, ekonominiu pagrįstumu ir tinkamumu iš techninės pusės [16, 20]. Taip pat buvo nustatyti įpareigojimai įrengti saulės energijos elektrines pastatuose [21].

1.2.2. Efektyvumo didinimo strategija Lietuvoje

Remiantis VšĮ Lietuvos energetikos agentūros duomenimis, 70 % Lietuvoje sunaudojamos elektros energijos yra importuojama iš kaimyninių šalių. Šiuo atveju, kai nėra vietinės gamybos, nafta kaip žaliava ir gamtinės dujos taip pat yra importuojamos. 2021 m. duomenimis, Lietuvoje apskritai sunaudojamos energijos dalis, pagaminama iš atsinaujinančių energijos išteklių yra 28,1 %. Verta pastebėti, kad energija iš atsinaujinančių išteklių didžiąja dalimi panaudojama šildymui ir aušinimui (48,62 %), taip pat elektros vartojimui (20,92 %) bei transporto sektoriui (6,69 %). Taigi, norint užtikrinti didesnę energetinį saugumą Lietuvoje, siekiama ne tik plėsti atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą, bet ir sumažinti energijos vartojimą kreipiant dėmesį į poreikius bei taikant energijos vartojimo efektyvumo didinimo būdus [14, 22].

Analizuojant energijos vartojimo efektyvumo didinimo politiką Lietuvoje, verta atsižvelgti į Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją (NENS), 2012 m. patvirtintą Lietuvos Respublikos Seimo. Joje pateikiamas energijos suvartojimo ir bendrojo vidaus produkto (BVP) augimo prognozės iki 2050 m. grafikas (žr. 3 pav.).



3 pav. Energijos suvartojimo ir BVP augimo prognozės Lietuvoje iki 2050 m. [23]

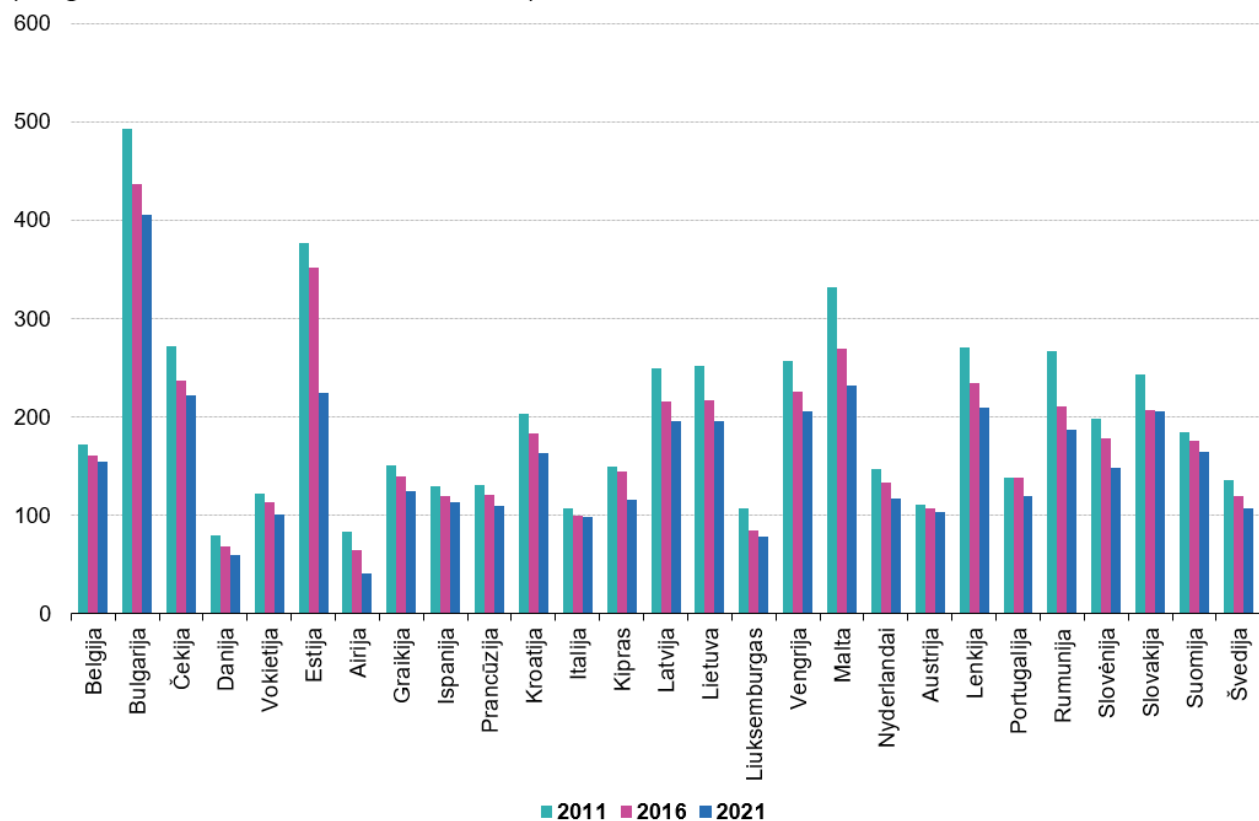
3 pav. pateiktame grafike Lietuvos bendrosios vidaus energijos sąnaudos siejamos su BVP, o ekonomikoje šių rodiklių santykis reiškia energijos intensyvumą. Pirminės ir galutinės energijos intensyvumas naudojamas energijos vartojimo efektyvumo vertinimui, jis parodo, kiek energijos reikėjo panaudoti konkrečiam kiekiui prekių ir paslaugų sukurti šalyje [23].

Kaip matoma, nuo 2017 iki 2050 m. BVP augimas numatomas net 105 %. Šiuo laikotarpiu nenaudojant energetinio efektyvumo priemonių nuspėjamas net 48 % energijos suvartojimo padidėjimas. Taikant energetinio efektyvumo priemones suvartotos energijos kiekis minėtu laikotarpiu padidėtų tik 10 %.

Paminėtina, jog reikia atkreipti dėmesį, kaip Lietuvos energijos intensyvumo rodiklis atrodo tarp Europos Sąjungos šalių (žr. 4 pav.).

Ekonomikos energijos intensyvumas, 2011-2021 metais

(kilogramo naftos ekvivalento 1 tūkst. €)



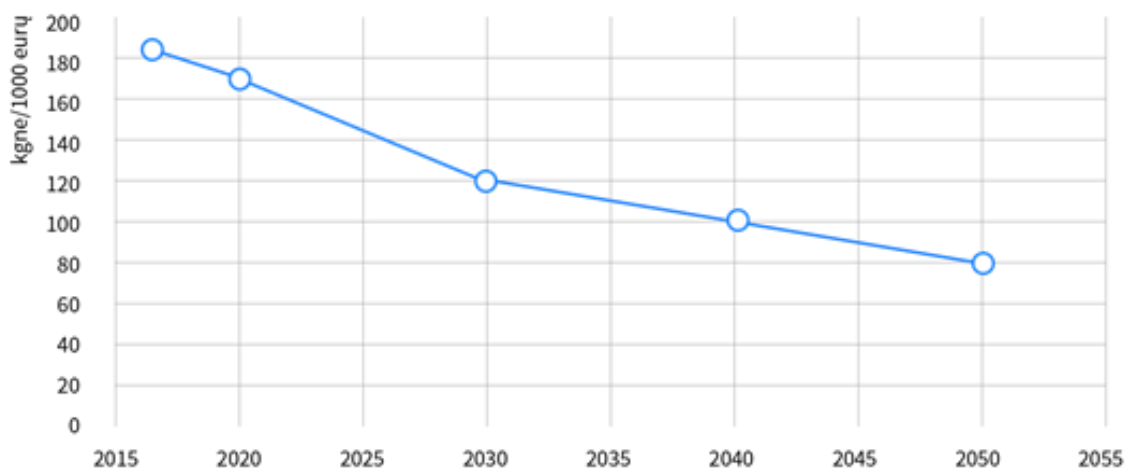
4 pav. Energijos intensyvumas Europos Sąjungos šalyse 2011–2021 m. [24]

Kaip matyti 4 pav., iš įvertintų 28-ių ES šalių, Lietuvos energijos intensyvumas 2021 m. buvo ~190 kgne/1000 Eur (didesnis už 18 kitų ES šalių). Taigi, ši statistika rodo, jog Lietuvoje energijos vartojimo efektyvumo didinimo svarba yra didelė.

Energijos suvartojimo prognozėse (žr. 3 pav.) apibendrintai minimų energetinio efektyvumo priemonių naudojimo potencialas akcentuojamas ir Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategijoje. Joje minima, jog Lietuvoje galima išskirti 3 pagrindinius sektorius, kuriuose matomas didžiausias energijos vartojimo efektyvinimo potencialas: pramonės, transporto ir pastatų [23].

Pagrindinis Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos tikslas energijos vartojimo efektyvumo didinimo srityje yra užtikrinti, kad:

- iki 2030 metų pirminės ir galutinės energijos intensyvumas būtų 1,5 karto mažesnis negu 2017 metais (žr. 5 pav.);
- iki 2050 metų – apie 2,4 karto mažesnis negu 2017 metais (žr. 5 pav.) [25].



5 pav. Lietuvos energijos intensyvumo mažėjimo prognozė iki 2050 m. [25]

Siekiant šių energetinio efektyvumo tikslų, susijusių ir su prognozuojamu energijos intensyvumo mažėjimu (žr. 5 pav.), vertėtų paanalizuoti energijos suvartojimo efektyvinimo principus, siekius ir kryptis Lietuvoje bei įvertinti daugiausia potencialo turinčias energetinio efektyvumo didinimo sritis.

Energijos vartojimo efektyvinimo principai

Kaip apibrėžta Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje, energijos vartojimo efektyvumo didinimas Lietuvoje toliau bus vykdomas remiantis pateikiamais principais:

- ekonominio pagrįstumo – prioritetas turėtų būti taikomas ekonomiškai efektyviausiems energijos vartojimo efektyvumo didinimo būdams;
- energijos vartotojų mokymo ir švietimo stiprinimo – energijos vartojimą efektyvinti padeda jos vartotojų elgsena ir įpročiai;
- konkurencijos – naudinga sudaryti sąlygas tarpusavyje konkuruoti investuojantiems į energijos vartojimo efektyvinimą dėl daugiausia ekonominės naudos teikiančių projektų įgyvendinimo, kai konkuruojama dėl valstybės skatinimo ar vykdomi efektyvumo didinimo įpareigojimai [23].

Energijos vartojimo efektyvinimo siekiai

Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje taip pat nurodomi energijos vartojimo efektyvumo didinimo siekiai Lietuvoje:

- iki 2020 metų buvo siekiama užtikrinti, kad Lietuvoje energijos vartojimo efektyvumas atitiktų Europos Sąjungos numatytus reikalavimus: sutaupyti 11,67 TWh energijos skaičiuojant suminiu būdu ir skirti atitinkamą finansavimą šiam siekiui;
- iki 2030 metų garantuoti, kad pirminės ir galutinės energijos intensyvumas taptų 1,5 karto mažesnis negu buvęs 2017 metais;
- iki 2050 metų garantuoti, kad pirminės ir galutinės energijos intensyvumas būtų maždaug 2,4 karto mažesnis negu buvęs 2017 metais [23].

Energijos vartojimo efektyvinimo kryptys

Svarbiausios energijos vartojimo efektyvinimo strategijos siekių kryptys:

- plėtoti kompleksišką viešųjų pastatų ir daugiabučių gyvenamųjų namų naujinimą ir iki 2030 metų jau atnaujintuose viešuosiuose ir daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose ir sumuojant kiekvienų metų sutausotos energijos kiekį bendrai sutaupyti 5–6 TWh energijos;
- didinti vystymo spartą tų pramonės šakų, kurios vartoja mažai energijos ir didina energijos vartojimo efektyvumą, plėsti naujausių ir aplinkai palankių technologijų bei įrenginių naudojimą;
- efektyvinti energijos vartojimą transporto sektoriuje, naujinant automobilių parką, skatinant modernaus ir efektyvaus viešojo transporto naudojimą, elektrifikuojant transporto infrastruktūrą ar naudojant alternatyviuosius degalus [23].

1.3. Energinio efektyvumo didinimo priemonės pastatuose

Siejant Europos Sąjungoje ir Lietuvoje priimtas energetinio efektyvumo gerinimo politikas, galima apibendrinti, kad būtent pastatų sektoriuje turimas didelis potencialas energijos sutaupymui.

Vertinant 2020 m. duomenimis, net ~41 % Lietuvos bendro metinio galutinės energijos suvartojimo sudarė šildymas ir vėsinimas. Todėl akivaizdu, kad energetinio efektyvumo didinimo priemonės šioje srityje lemtų didelį efektą bendram Lietuvos energijos produktyvumo pagerėjimui [26].

Efektyvaus šildymo ir vėsinimo galimybės vertinti atsižvelgiama į ilgalaikius strateginius tikslus, pagal kuriuos sudaryti šildymo ir vėsinimo sektorių tikslai ir siektini rodikliai, matomi 1 lentelėje.

1 lentelė. Lietuvos šildymo ir vėsinimo sektorių tikslai 2050 m. [27]

Tikslas	Siektini rodikliai (2050)	
	Šildymo sektorius	Vėsinimo sektorius
T1. GES intensyvumo sumažėjimas (lyginant su 2017 m.)	2,4 karto (18,8 TWh)	2,4 karto
T2. PES intensyvumo sumažėjimas (lyginant su 2017 m.)	2,4 karto 20,6 TWh	2,4 karto
T3. ŠESD emisijos	0 ktCO ₂	0 ktCO ₂
T4. AEI dalis CŠT sektoriuje	100 proc.	100 proc.
T5. AEI dalis decentralizuotame sektoriuje	90 proc.	100 proc.

Atsižvelgiant į ilgalaikės perspektyvos tikslus, keliamus šildymo ir vėsinimo sektoriui, suformuojami 3 pagrindiniai šilumos ir vėsinimo energijos vartojimo efektyvumo lūkesčiai:

1. racionalus vartojimas: esminė priemonė GES intensyvumo mažinimui;
2. efektyvi infrastruktūra: esminė priemonė PES intensyvumo mažinimui;
3. tvari kuro struktūra: esminė priemonė ŠESD emisijų mažinimui.

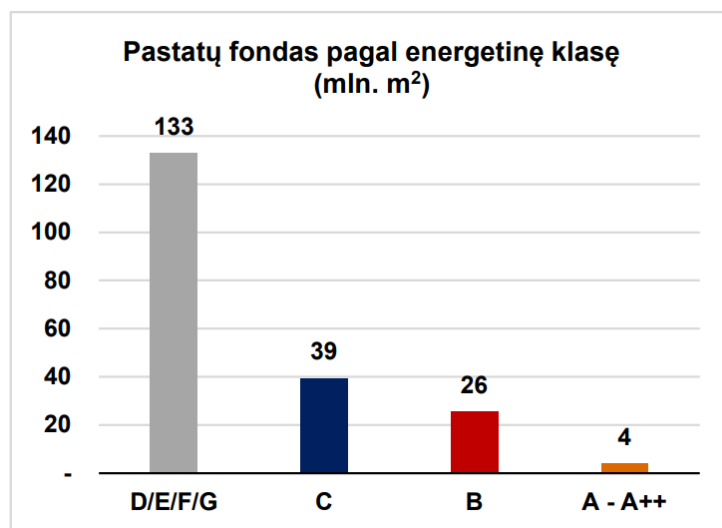
Efektyvaus šildymo ir vėsinimo priemonių vertinimui pateikiamas grafinis modelis (žr. 6 pav.).



6 pav. Efektyvių šildymo ir vėsinimo priemonių vertinimo modelis [27]

Kaip matoma, energijos tiekimo grandinės atžvilgiu galimybės atskiriamos į paklausos ir pasiūlos grupes. Paklausos efektyvinimo potencialo vertinimo atveju norima išlaikyti tuos pačius šildymo kokybinius parametrus (pvz., patalpos vidaus temperatūros lygį), bet sumažinti šildymo ar vėsinimo sistemos reiklumą energijai. Pasiūlos efektyvumo didinimui siekiama surasti technologinius sprendimus, kurie su mažiausias finansiniais ir ekonominiais kaštais patenkintų efektyvią paklausą šildymui ar vėsinimui [27].

Siekiant įvertinti energinio efektyvumo didinimo priemones pagal pastato tipą, atsižvelgiama į Lietuvos pastatų fondo vertinimą pagal energetinę klasę (žr. 7 pav.).



7 pav. Lietuvos pastatų fondas pagal energinio naudingumo klasę (mln. m²), 2019 pab. [28]

Pastebima, kad žemos naudingumo klasės (D, E, F, G) pastatų sudėjus yra 133 mln. m², o susumavus vidutinės ir aukštos (C, B, A, A+ ir A++) naudingumo klasių pastatus, gaunamas 69 mln. m² plotas. Taigi, žemos naudingumo klasės pastatų yra beveik 2 kartus daugiau nei vidutinės – aukščiausios klasės. Taip pat verta paminėti, jog C energinio naudingumo klasės pastatai sudaro beveik 24 % viso pastatų fondo. Apibendrinant, didžiausias prioritetas energinio efektyvumo priemonių taikymui yra žemesnės nei C naudingumo klasės pastatuose, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje reikšmingas ir C naudingumo klasės pastatų energinio efektyvumo didinimas.

Vienas iš pastatų sektorių, kuriame didelė kiekybinė atskirtis tarp žemos – vidutinės ir aukštos naudingumo klasių objektų, yra paslaugų. Šildymo sistemas naudojančios žemesnės nei C klasės pastatai sudaro ~67 %, o žemesni nei B klasės yra net ~83 % visų paslaugų sektoriaus pastatų [27]. Dėl šios priežasties verta panagrinėti potencialias šildymo ir vėsinimo sistemų efektyvumo didinimo priemones paslaugų sektoriuje.

Potencialios energinio efektyvumo didinimo priemonės pastatų šildymo ir vėsinimo sistemose įvertinamos atsižvelgiant į 2022 m. VŠĮ Lietuvos energetikos agentūros pristatytas energijos taupymo gaires. Taip pat atkreipiamas dėmesys į bendrovės Baltijos šalyse „Ignitis grupė“ ir jos dukterinių bendrovių „Ignitis“ ir „Ignitis gamyba“ skelbiamas energijos taupymo priemones verslui. Ši įmonių grupė su Lietuvos Respublikos energetikos ministerija pasirašė penkiašalį energijos vartotojų švietimo ir konsultavimo susitarimą. Juo įsipareigojama šviesti ir konsultuoti vartotojus energijos vartojimo efektyvumo didinimo klausimais taip padedant vartotojams mažinti energijos vartojimo kaštus bei didinti energijos vartojimo efektyvumą [29].

Apžvelgus minėtas pastatų energijos vartojimo efektyvinimo gaires ir rekomendacijas, apibendrintai pateikiamos su šildymo ir oro kondicionavimo susijusios energinio efektyvumo didinimo ir taupymo priemonės:

1. šildymo dujų ar biokuro katilo keitimas į efektyvesnį katilą ar šilumos siurblių. Vandens telkinių sugerta ir sukaupta saulės ar žemės gelmių šiluma gali būti naudojama kaip šilumos šaltinis pastatuose įdiegus šilumos siurblius. Šilumos siurblio pranašumai yra mažesnis priežiūros poreikis, kuro sandėliavimo nereikalingumas, automatizuotas veikimas ir papildoma vėsinimo funkcija [14, 27, 28, 30];
2. kondensacinio katilo įrengimas vietoje įprasto, neturinčio kondensacijos galimybės. Toks atnaujinimas leidžia padidinti sistemos efektyvumą ir sumažinti gamtinių dujų suvartojimą iki 10 % [14];
3. saulės šviesos fotovoltinės elektrinės įrengimas. Šio tipo elektrinę galima naudoti kaip alternatyvą elektros energijos vartojimui iš tinklo, diegiant elektros energiją vartojančias šildymo sistemas ir tampant gaminančiu vartotoju. 2022 m. energijos taupymo gairių duomenimis, saulės fotovoltinės elektrinės kaina siekia 820–1200 Eur/kW [14, 31];
4. saulės šilumos kolektorių įrengimas. Papildomai naudojama šiluminė energija, gauta iš saulės, leidžia sumažinti poreikį šią energiją gauti ar generuoti naudojant kitus šaltinius. 2022 m. duomenimis, saulės šilumos kolektorių sistemos kaina priklausomai nuo talpos ir sandaros yra 350–2500 Eur ribose;
5. vėdinimo sistemos su šilumogrąžos funkcija įrengimas. Šio tipo sistema neleidžia patirti šilumos nuostolių, nes oras, kuris išeina iš patalpų, perduoda savo temperatūrą į patalpas naujai tiekiamam orui. Šilumogrąžos funkcija leidžia efektyvinti vėdinimo sistemos veiklą gražinant 60–90 % šilumos nuo oro, pašalinamo į lauką;
6. išorinis pastato apšiltinimas. Atnaujintas namo fasadas prailgina namo konstrukcijų eksploatavimo laiką sušvelninant klimatą patalpose skirtingais metų laikais ir leidžia apriboti energijos nuostolius [14];
7. šildymo ir karšto vandentiekio sistemų priežiūra ir atnaujinimas:
 - 1) modernizuojant senus šiluminius punktus su priklausomąja sistema (elevatorinius). Atnaujinus sistemą galima pagal lauko oro temperatūros pokyčius efektyviai palaikyti reikiamą šilumos kiekį patalpoje. Termostatinių ventilių montavimas radiatoriuose

- leidžia individualiai sumažinti patalpų temperatūrą tik nakties metu ar jei jose retai lankomasi bei sutaupyti 15–20 % šiluminės energijos [14, 30, 32];
- 2) panaudojant izoliacinę reflektorinę dangą šildymo prietaisams. Pagerinti nuo šildytuvo į patalpą patenkančios šilumos sklidimo sąlygas galima už šildymo prietaiso, pvz., radiatoriaus, įrengus specialią izoliacinę medžiagą ar foliją, kuri papildomai nukreipia šilumą į kambarį. Šiuo būdu patalpos oro temperatūra gali padidėti 1–2 °C [14];
 - 3) papildomai izoliuojant šildymo sistemos vamzdžius, į aplinką leidžiant išskirti mažiau šilumos, taip apsaugant nuo nereikalingo negyvenamų patalpų šildymo bei nuo pastato šiluminių nuostolių didėjimo (galima sutaupyti iki 5 % suvartojamo šilumos kiekio) [14, 32].

1.4. Atlikti tyrimai ir studijos

Vertinant faktą, kad beveik pusę Lietuvos bendro metinio galutinės energijos suvartojimo sudaro šildymas ir vėsinimas ir didžioji dalis pastatų, pvz., paslaugų sektoriuje, yra žemos energinio naudingumo klasės, toliau apžvelgiami jau atlikti tyrimai bei studijos žemo energinio naudingumo pastatų šildymo ir vėsinimo sistemų efektyvinimo srityje.

Atkreipiant dėmesį į didelį žemo energinio naudingumo klasės pastatų kiekį paslaugų sektoriuje ir įvertinant Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos paskelbtą išsamaus nacionalinio šilumos ir vėsumos potencialo įvertinimo studiją, apibendrinami minėto sektoriaus efektyvumo didinimo principai:

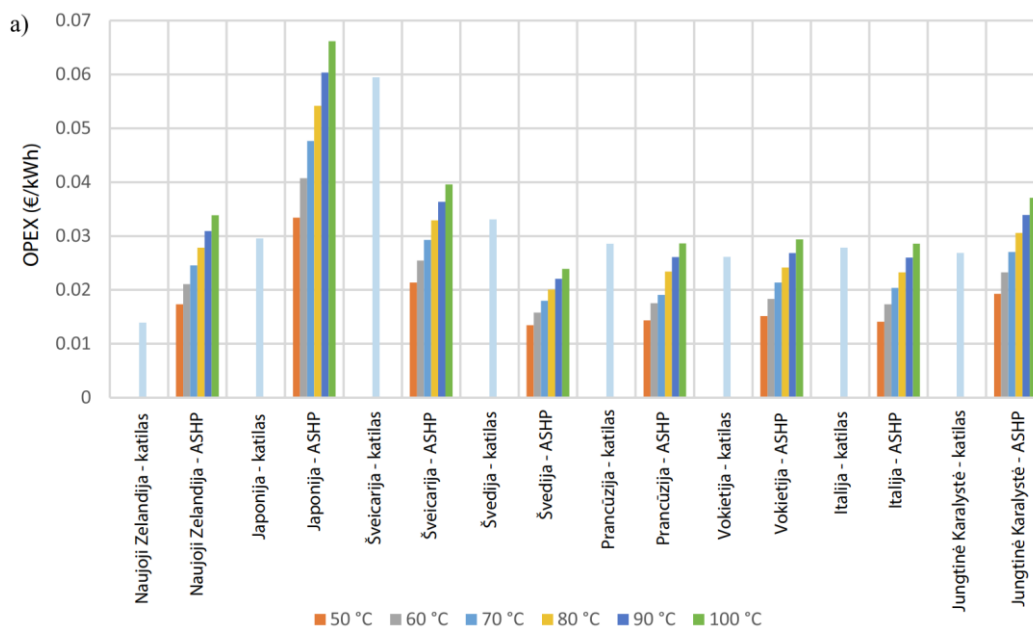
1. transformuoti žemo efektyvumo ir didelės taršos kuro pasiūlą, skatinant pereiti nuo anglies ir kito iškastinio kieto kuro katilų naudojimo prie biomasės, naftos produktų bei gamtinių dujų katilų. Šiame segmente sukuriama didžiausia santykinė socialinė – ekonominė žala: anglies katilų atveju CO₂ ir KD emisijų žala siekia ~50 Eur/MWh, o kito iškastinio kieto kuro katilų atveju ~48 Eur/MWh;
2. skatinti aukšto efektyvumo ir vidutinės taršos kuro pasiūlos formavimą, akcentuojant perėjimą nuo biomasės, naftos produktų ir gamtinių dujų katilų prie didžiausio efektyvumo segmento šilumos siurblių. Santykinė socialinė – ekonominė žala šiame segmente yra mažiausia: biomasės katilų kuriama KD emisijų žala ~6 Eur/MWh, naftos produktų katilų atveju CO₂ ir KD žala ~32 Eur/MWh, o gamtinių dujų katilų atveju CO₂ žala yra ~23 Eur/MWh.

Taip pat nurodoma, kad paslaugų sektoriuje decentralizuotas šilumos tiekimas sudaro beveik 50 % pasiūlos. Pridedama, kad iškastinio kuro struktūroje dominuoja šilumos gamyba iš gamtinių dujų (41 %) ir anglių (10 %) [28]. Taigi, šiame sektoriuje aktualus esamų gamtinių dujų katilų keitimo efektyvesnėmis šildymo sistemomis klausimas.

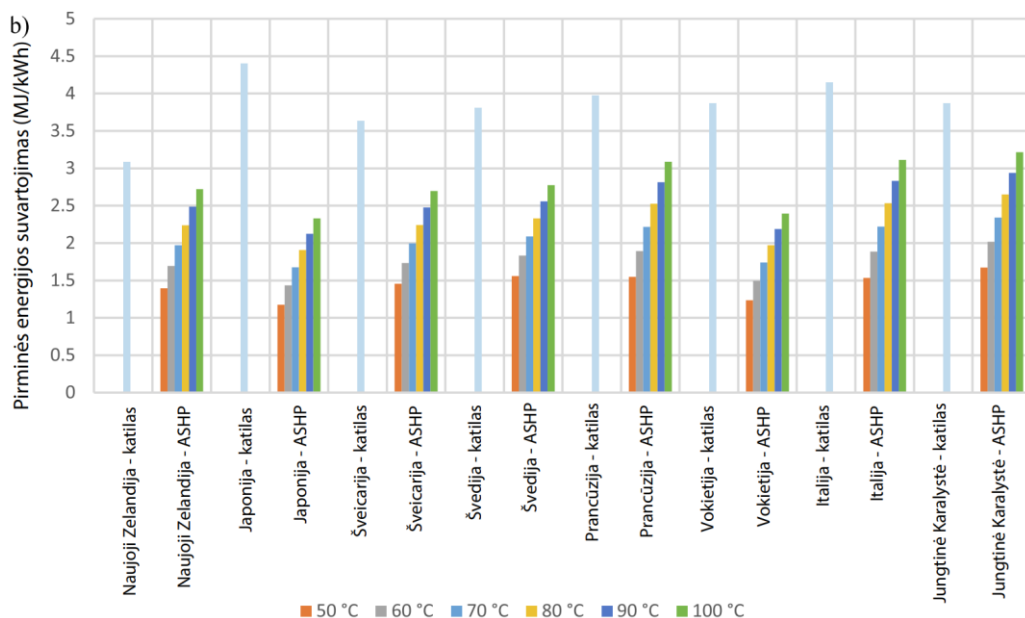
1.4.1. Šilumos siurblių įrengimas

Vienas iš šilumos siurblių efektyvumą vertinančių darbų yra Jungtinės Karalystės mokslininkų atliktas tyrimas. Jame nurodoma, kad šilumos siurbliai sulaukia vis daugiau mokslinių tyrimų ir pramonės dėmesio pasaulyje dėl savo ekonominių, aplinkosauginių ir energetinių pranašumų, lyginant su įprastomis šildymo ir vėsinimo sistemomis. Vienas iš populiariausių tipų yra oro šaltinio šilumos siurbliai, kurie išgauna šilumą iš atsinaujinančio šaltinio – oro – ir perduoda ją vandeniui,

taip didinant vandens temperatūrą. Priimama, kad svarbiausi šilumos siurblio efektyvumo rodikliai yra pirminės energijos sąnaudos, operacinės išlaidos (OPEX) ir išmetamo CO₂ kiekis. Konkretaus oro šaltinio šilumos siurblio ir įprastos šildymo sistemos, iš katilo, palyginimas buvo vertinamas siurbliui vandenį šildant iki 50, 60, 70, 80, 90 ir 100 °C [33]. Vertinant skirtingas šalis ir vandens tiekimo temperatūras, dujų katilo ir oro šilumos siurblio operacinių išlaidų ir pirminės energijos suvartojimo palyginimo grafikai pateikiami atitinkamai 8 ir 9 pav.



8 pav. Operacinių išlaidų priklausomybės nuo tiekiamo vandens temperatūros šilumos siurbliui ir katilui pagal šalį [33]



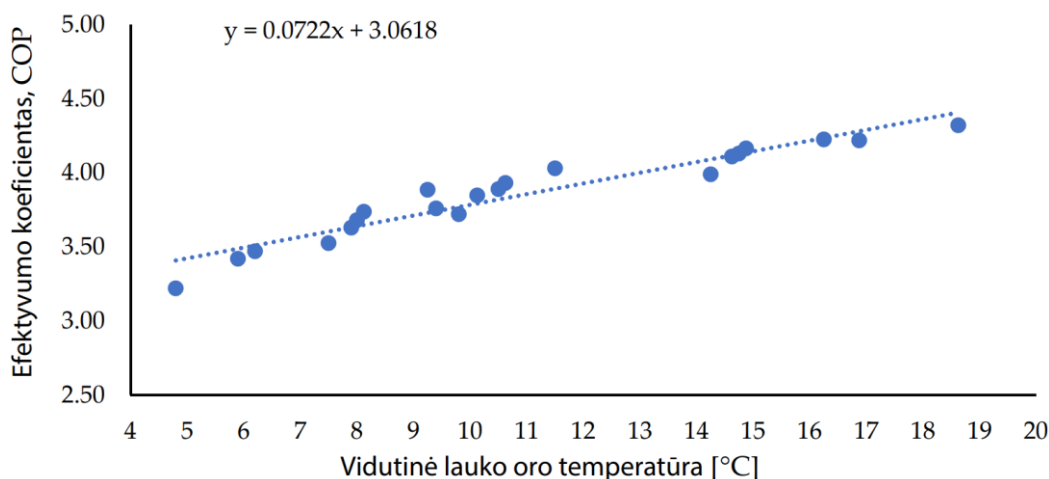
9 pav. Pirminės energijos suvartojimo priklausomybė nuo tiekiamo vandens temperatūros šilumos siurbliui ir katilui pagal šalį [33]

Gauti rezultatai rodo, kad daugumai scenarijų oro šilumos siurblio energijos kaina yra mažesnė nei dujų katilo, o šilumos siurblio energijos suvartojimas visiems scenarijams yra mažesnis nei katilo.

Taigi, energetiniu vertinimu, šilumos siurblio pirminės energijos suvartojimas dažnu atveju yra mažesnis nei katilo, o tai reiškia didesnę šilumos siurblio efektyvumą. Daugumos aukšto efektyvumo

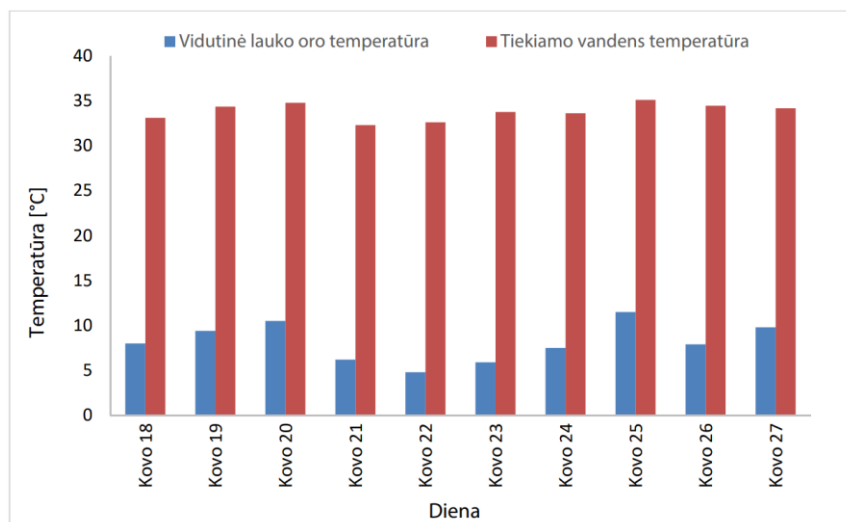
dujinių katilų naudingumo koeficientas siekia maksimaliai 90–94 %, nes nuolatos turimas šilumos praradimas per dūmtraukio vamzdį. Šilumos siurbliai pasižymi 300–400 % efektyvumu, todėl gaunama 3–4 kartus daugiau šilumos už kiekvieną įrenginio sunaudojamą elektros energijos kW. Dėl aukštesnės efektyvumo klasės galima sutaupyti eksploatacinių išlaidų, net ir elektros kainai esant didesnei nei gamtinių dujų [34, 35]. Atsižvelgiant į aplinkosauginį aspektą, šilumos siurbliai taip pat pasižymi mažesniu anglies dioksido emisijų kiekiu. Pavyzdžiui, 85 % naudingumo koeficiento dujinio katilo išmetamųjų teršalų koeficientas yra 0,215 kg CO₂ ekvivalentas 1 kilovatvalandei, t. y. daugiau nei 5 kartus didesnis nei šilumos siurblių [33, 36, 37].

Dar vienas tyrimas atliktas ekonominiu ir eksperimentiniu aspektais lyginant oro šaltinio šilumos siurblių ir dujomis kūrenamą katilą. Mokslininkai O. Kulas ir M. N. Uguralas šildymo sistemas pasirinko analizuoti ir palyginti realaus 2500 m² ploto komercinio pastato patalpose, Stambule, Turkijoje. Eksperimentiškai buvo nustatomas su radiatorių sistema sujungto šilumos siurblio efektyvumo koeficientas (COP), kuris svyravo nuo 3,22 iki 4,32, kai lauke temperatūra kito nuo 4,8 iki 18,6 °C [38]. COP priklausomybės nuo vidutinės lauko oro temperatūros grafikas pateikiamas 10 pav.



10 pav. Šilumos siurblio efektyvumo koeficiento COP priklausomybė nuo lauko oro temperatūros [38]

Paminėtina, kad tiekiamo vandens temperatūra svyravo nuo 32,2 iki 36,2 °C, priklausomai nuo vidutinės lauko oro temperatūros (žr. 11 pav.).



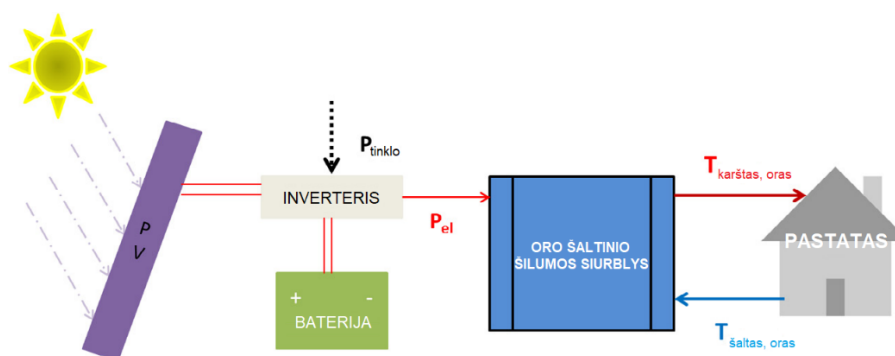
11 pav. Šilumos siurblio tiekiamo vandens temperatūros palyginimas su lauko oro temperatūra [38]

Ekonominės analizės rezultatai parodė, kad oro šilumos siurblio sistemos yra ekonomiškai konkurencingos dujinio katilo atžvilgiu, net ir įvertinus dideles pradines investicijas. Įvertinta, kad dujų katilo OPEX net ~64 % didesnės nei oro šilumos siurblio sistemos. Atsižvelgiant į bendras sąnaudas per 20 metų laikotarpį, ekonominiu požiūriu tyrime naudota oro šilumos siurblio sistema yra naudingesnė nei įprasta dujomis kūreno katilo sistema. Lyginant su dujų katilu, oro šilumos siurblys gali net iki 26,4% sumažinti visų gyvavimo ciklų sąnaudų (LCC) vertę, nes metinis energijos suvartojimas gerokai sumažinamas. Šio tyrimo išvadose minimas poreikis dėmesį skirti oro šilumos siurblių su radiatorinėmis vėsinimo sistemos efektyvumo vertinimui [38].

Vertinant sparčiai besivystantį vėsinimo sektorių, daroma išvada, kad dekarbonizacija jam yra itin aktuali. Siekiant sumažinti oro kondicionierių CO₂ emisijų poveikį, būtina elektros energiją gaminti taikant nulinės ar mažos CO₂ emisijos metodus. Decentralizuotam vėsinimui labai tinkamas ir efektyvus pasirinkimas išlieka naudoti šilumos siurblius, taikant atvirkštinį – šaldymo režimą [35]. Taigi, dėl aplinkosauginio ir ekonominio aspektų aktualu paanalizuoti atsinaujinančių išteklių elektrinių naudojimą su šilumos siurbliais.

1.4.2. Šilumos siurblių derinimas su AEI elektrinėmis

Analizuotuose moksliniuose tyrimuose daromos išvados, kad tikslinga šilumos siurblio įrengimą organizuoti kartu su elektrinėmis, kuriose elektros gaminama išgaunant saulės šviesos, vėjo ar geotermiņę energiją. Atkreiptas dėmesys, kad moksliniuose darbuose buvo vertinamos šildymo sistemos, susidedančios iš šilumos siurblio, kuriam elektros energija tiekama iš saulės šviesos elektrinės. Tokio tipo sistemos struktūra pavaizduota 12 pav.



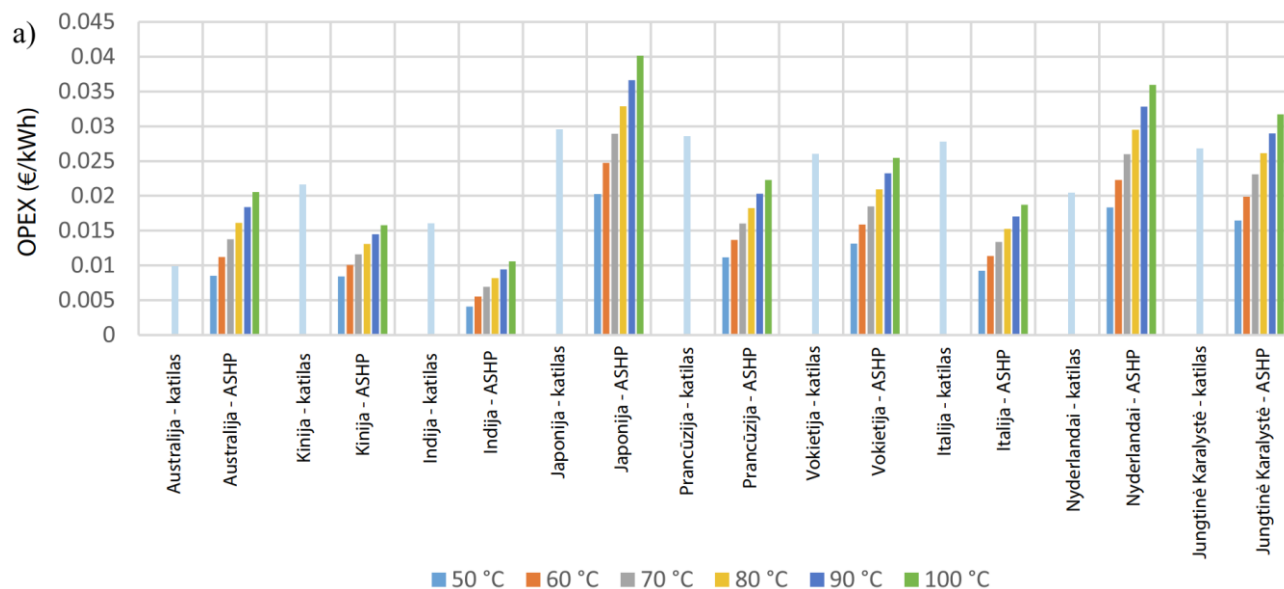
12 pav. Oro šaltinio šilumos siurblio sistemos derinys su PV moduliais [39]

Kaip parodyta, šilumos siurblio elektros energijos poreikio padengimas padalijamas tarp fotovoltinės plokštės ir elektros tinklo. Naudojamas inverteris įtampos konvertavimui ir reguliavimui, o kaupiklis skirtas momentiniam papildomos energijos kaupimui. Akivaizdu, kad didesnis PV modulių plotas sumažina poreikį elektros energiją tiekti iš tinklo ir padidina saulės energijos padengimą [39].

Atlikta energetinė ir ekonominė analizė derinant oro šilumos siurblius su PV elektrine ir lyginant atskirus scenarijus su vandens šilumos siurblio ir PV elektrinės, šiluminių ir plokščiųjų saulės kolektorių deriniais. Viena iš tyrimo išvadų yra, kad 20 m² ploto fotovoltinės elektrinės naudojimas su oro šilumos siurbliu Graikijoje buvo finansiškai efektyviausias, kai elektros kaina neviršijo 0,23 Eur/kWh. Tyrimo metu buvusiai kainai 0,2 Eur/kWh 20 m² ploto fotovoltinė elektrinė buvo pajėgi padengti oro šilumos siurblio elektros poreikius su 67 % metine saulės šviesos aprėptimi [39]. Taip pat apžvelgti dar vieno darbo oro šilumos siurblių atskirų tyrimo scenarijų rezultatai su saulės kolektorių, fotovoltine ir fotovoltine – kolektorių elektrinėmis. Gautos išvados, kad derinys su

fotovoltainė elektrinė pasižymėjo aukščiausiu našumo koeficientu COP – 3,75, tačiau įvertinti kainos ir atsipirkimo laiko rodikliai buvo vidutinio lygio [40].

Anksčiau minėtame Jungtinėje Karalystėje atliktame moksliniame darbe buvo įvertintos ir galimybės iš saulės šviesos energijos gaminti šilumos siurbliui reikiamą elektros energiją įvairiose pasaulio ir Europos Sąjungos šalyse. Atsižvelgiant į skirtingas vandens tiekimo temperatūras ir įvairių šalių skirtingas energijos kainodaras, dujų katilo ir oro šilumos siurblio operacinių išlaidų OPEX rezultatai matomi 13 pav.



13 pav. Operacinių išlaidų priklausomybės nuo tiekiamo vandens temperatūros šilumos siurbliui su saulės šviesos elektrine ir katilui pagal šalį [33]

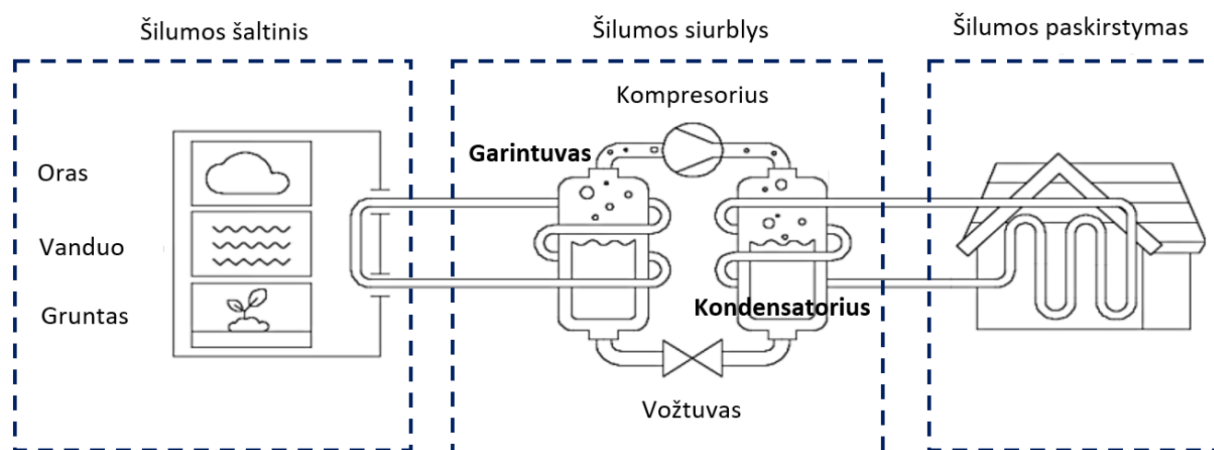
Gauti rezultatai rodo, kad elektros gamybai naudojant saulės šviesos elektrinę operacinės išlaidos šilumos siurblio naudojimo atveju mažesnės nei katilo daugumos tirtų šalių scenarijais. Be to, šilumos siurblių ir saulės elektrinės kombinavimu atveju gerokai mažesnės ir CO₂ emisijos. Taigi, ekonominiu ir aplinkosauginiu vertinimu, efektyvu naudoti šilumos siurbli su atsinaujinančios saulės energijos elektrine, ypač esant ne aukščiausiam tirtai, 50–70 °C tiekiamo vandens temperatūrai [33]. Kitame Jungtinėje Karalystėje atliktame moksliniame darbe nurodoma, kad oro šilumos siurblio naudojimas su PV elektrine sumažina 40% energijos kainos, lyginant su įprastu šildymu dujiniu katilu [41].

Apžvelgtas fotovoltinių saulės jėgainių integravimas ne tik padeda sumažinti eksploatacines išlaidas, bet ir didina sistemos ekologinį tvarumą, mažinant priklausomybę nuo iškastinio kuro, o tai atitinka pasaulinius energijos vartojimo efektyvumo ir tvarumo tikslus. Šios sistemos yra labai svarbus žingsnis į priekį šildymo ir vėsinimo technologijų srityje, nes užtikrina didesnę našumą ir naudą aplinkai [42, 43, 44].

1.5. Šilumos siurblių technologija

Šilumos siurbliai – tai energijos taupymui skirti įrenginiai, kurie šilumą tiekia iš žemos temperatūros šaltinio ir paverčia ją į aukštos temperatūros šilumą. Taigi, šilumos energija perduodama šildymo, vėdinimo ir karšto vandens sistemoms, naudojant elektros energiją ir oro, vandens, arba žemės grunto sukauptą šilumą [35, 45].

Toliau pateikiama šilumos siurblio šildymo sistemos schema (žr. 14 pav.).



14 pav. Šilumos siurblio šildymo sistemos struktūra [46]

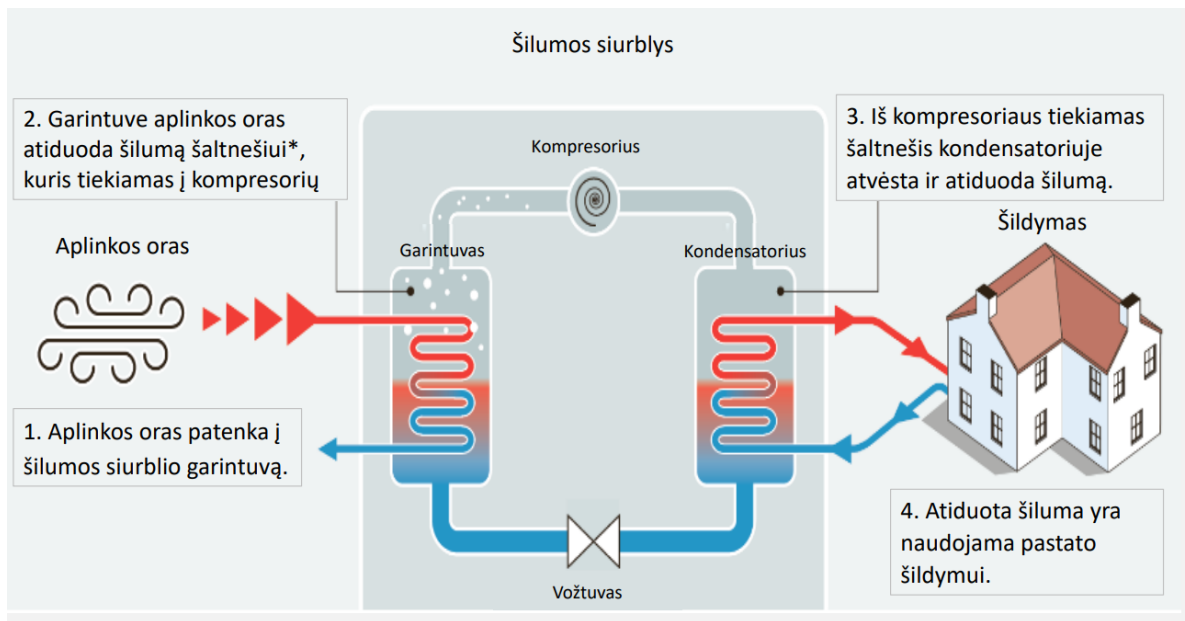
Šilumos siurblio veikimas paremtas tokiu principu, jog šilumos energija nesukuriama, o paimama iš aplinkos oro, žemės ar vandens ir perduodama į vidaus patalpas. Veikimo principas įgalinamas naudojant šiuos pagrindinius komponentus [46]:

1. šilumos šaltinį, iš kurio yra išgaunama šiluma (pvz., iš aplinkos oro, vandens, grunto ar gruntinio vandens);
2. šilumos siurblių, kuris geba pakelti žemą išgautos šilumos energijos temperatūrą ir patiekti ją šildymui;
3. šilumos saugojimo ir skirstymo sistemos, kai šiluma patenka į naudojimo vietą ar yra toliau paskirstoma po pastatą (pvz. per gyvatuką, radiatorių ar yra kaupiama boileriye).

Pagal nurodomą šilumos perdavimo terpę ir šaltinį šilumos siurbliai skirstomi į šiuos tipus [46]:

1. oras – oras, šilumos šaltinis – oras, skirtas patalpų šildymui ir vėsinimui;
2. oras – vanduo, šilumos šaltinis – oras, skirtas patalpų šildymui ir vėsinimui bei karšto vandens ruošimui;
3. vanduo – vanduo, šilumos šaltinis – vanduo, skirtas patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui;
4. žemė – vanduo, šilumos šaltinis – gruntas, skirtas patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui.

Toliau pateikiama šilumos siurblio veikimo principo schema (žr. 15 pav.).



15 pav. Šilumos siurblio veikimo principo schema [47]

Atvaizduojamas šaldymo ciklas, kurį sudaro 4 pagrindiniai komponentai: garintuvas, kompresorius, kondensatorius ir išsiplėtimo vožtuvas. Pagrindiniai ciklo etapai:

1. garavimas, kai garintuve šaltnešis absorbuoja šilumą iš aplinkos (oro, vandens ar žemės), todėl jis išgaruoja ir iš skysčio virsta garais esant mažam slėgiui;
2. suspaudimas, kai garai pereina per kompresorių, kuriame jie suspaudžiami, todėl padidėja jų temperatūra ir slėgis;
3. kondensacija, kai aukšto slėgio karšti garai teka per kondensatorių, kur sugertą šilumą atiduoda į šildymo grandinę arba išorinę aplinką ir vėl kondensuojasi į skystį;
4. išsiplėtimas, kai aukšto slėgio skystis teka per išsiplėtimo vožtuvą, kur sumažėja jo slėgis, jis atvėsta ir grįžta į garintuvą, kad vėl pradėtų ciklą [43, 44].

Siekiant įvertinti skirtingų šilumos perdavimo terpių ir aplinkos šilumos šaltinių siurblius, pateikiamos privalumų ir trūkumų lentelės pagal siurblio tipą (žr. 2 ir 3 lenteles).

2 lentelė. Šilumos siurblių privalumai pagal siurblio tipą [46]

ORAS – ORAS	ORAS – VANDUO	ŽEMĖ – VANDUO	VANDUO – VANDUO
Funkcijos Galima šildyti patalpas rudenį, žiemos metu ir anksti pavasarį, o vasaros metu vėsinti patalpas.	Funkcijos Galima šildyti patalpas, ruošti karštą vandenį, o vasaros metu vėsinti patalpas.	Funkcijos Galima šildyti patalpas, ruošti karštą vandenį.	Funkcijos Galima šildyti patalpas, ruošti karštą vandenį.
Paprastumas Nereikia įdiegti sudėtingų šilumos paskirstymo sistemų, tokių kaip radiatoriai arba grindinis šildymas, todėl gali būti įrengtas labai greitai.	Paprastumas Lengva prijungti prie naujos ar jau esamos grindinio, radiatorinio ar kombinuotos šildymo sistemos.	Efektyvumas Išlaiko aukštą efektyvumą net ir prie kritiškai šaltų lauko oro sąlygų, dėl to, kad visa reikiama šiluminė energija yra paimama iš grunto, per kolektorius, įkastus po žeme.	Efektyvumas Išlaiko aukštą efektyvumą net ir prie kritiškai šaltų lauko oro sąlygų, dėl to, kad visa reikiama šiluminė energija yra paimama vandens, per kolektorius įleistus giliai vandens telkiniuose.
Taupumas Pigesnė šilumos sistema nei šilumos siurblys žemė – vanduo, nes montuojant šią šildymo sistemą yra nereikalingi	Taupumas Pigesnė šilumos sistema nei šilumos siurblys žemė – vanduo, nes montuojant šią šildymo sistemą yra		

papildomi žemės kasimo ar gręžimo darbai.	nereikalingi papildomi žemės kasimo ar gręžimo darbai.		
	Efektyvumas Puikiai tinkamas integruoti ir efektyviausiai veikia su grindinio šildymo arba kita žemos temperatūros sistema.		

3 lentelė. Šilumos siurblių trūkumai pagal siurblio tipą [46]

ORAS – ORAS	ORAS – VANDUO	ŽEMĖ – VANDUO	VANDUO – VANDUO
Nėra galimybių integruoti į kitas sistemas Negali būti prijungti prie kitų patalpos šildymo sistemos įrenginių (grandinio šildymo arba kitų žemos temperatūros sistemų).	Triukšmas Gali skleisti garsą ir vibracijas.	Sudėtingas montavimas Montuojant šilumos siurblių reikalingi žemės kasimo ir gręžimo darbai. Šilumos siurblio įrengimui reikalingos didelės investicijos, nes naudojama brangi gręžimo technika ir technologija.	Temperatūra Optimaliam šilumos siurblio veikimui reikalinga pastovi 8–12 °C vandens temperatūra.
Ribotos galimybės Negali ruošti karšto vandens.		Reikalingas žemės plotas Jei pasirenkami horizontalūs kolektoriai, reikalingas 2–3 kartus didesnis žemės plotas nei šildomų patalpų plotas.	Sudėtingas montavimas Vamzdyną reikia pakloti vandens telkinyje, neužšalantiame vandens sluoksnyje.

Apibendrinant, orą kaip aplinkos šilumos šaltinį naudojantys šilumos siurbLIAI pasižymi mažiausia diegimo kaina, tačiau jų efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo lauko temperatūros – kuo žemesnė aplinkos oro temperatūra, tuo mažesnis šilumos siurblio efektyvumas. Vandens ar žemės aplinkos šilumos šaltinį naudojančios sistemos pasižymi stabiliu efektyvumu visus metus, tačiau jų diegimo kaštai yra gerokai aukštesni nei oro šaltinio siurblių. Taigi, dėl paprasto ir nebrangaus diegimo būdo bei pakankamai aukšto efektyvumo oras – oras ir oras – vanduo tipo siurbLIAI yra populiariausi [26, 46].

Pagrindiniai techninių specifikacijų parametrai, kuriais įvertinamas šilumos siurblių efektyvumas:

- nominali lauko temperatūra – tai šilumos siurblio gamintojo nustatyta darbinė temperatūra, kurioje įrenginys gali veikti. Visgi, vien tik nominalia temperatūra negalima įvertinti šilumos siurblio našumo ir ji negarantuoja efektyvaus veikimo toje temperatūroje;
- COP – naudingumo koeficientas, rodantis iš vieno vieneto elektros energijos pagaminamą šilumos kiekį. Pavyzdžiui, jei COP yra 4, vadinasi elektros sąnaudų ir šilumos santykis yra 1:4, tad sunaudojus 1 kWh elektros energijos bus pagamintos 4 kWh šilumos. Taigi, kuo didesnis COP, tuo didesnis šilumos siurblio efektyvumas, bet rekomenduojama rinktis siurblių, kurio COP ne mažesnis nei 3.

Visgi, įrenginių efektyvumą tiksliau įvertina sezoniniai energijos vartojimo efektyvumo koeficientai, kurie nustatomi keturiuose temperatūrinuose taškuose ir yra vidutiniai dydžiai. Toliau pateikiamos jų sąvokos:

- SCOP – bendras įrenginio veiksmingumo koeficientas, kuris atitinka viso šildymo sezono temperatūras. Gaunamas pagal norminio metinio šildymo poreikio santykį su metinėmis elektros energijos sąnaudomis šildymui;
- SEER – bendras įrenginio energijos suvartojimo koeficientas per visą vėsinimo sezoną. Įvertinamas pagal norminio metinio vėsinimo poreikio santykį su metinėmis elektros energijos sąnaudomis vėsinimui. Kuo didesnis SEER koeficientas, tuo šilumos siurblys yra efektyvesnis, t.y. tuo daugiau elektros energijos sutaupoma [46].

1.6. Energinio efektyvumo ir Pastatų duomenų banko sąsaja

Akcentuojant siektiną esamų Lietuvos pastatų analizę dėl potencialių naujinimo darbų, verta sieti planuojamą Pastatų duomenų banko projektą su šildymo ir oro kondicionavimo sistemų energinio efektyvumo vertinimu.

Projekto kontekstas ir aktualumas

Žemiausio energinio efektyvumo segmentas, suvartojantis daugiausiai energijos yra žemesnės nei C energinio naudingumo klasės pastatai. Jis laikomas aukščiausio prioriteto segmentu ilgalaikės renovacijos strategijoje, kurioje numatomas siekimas transformuoti esamą pastatų fondą ir sumažinti pastatų energijos sąnaudas bei išmetamų CO₂ emisijų kiekį.

Esama situacija

Šiuo metu nėra informatyvių ir patogių skaitmenizuotų pastatų energinio efektyvumo, renovacijos stebėsenos ir planavimo įrankių. Nėra skaitmeninės duomenų bazės, kurioje būtų kaupiama centralizuota ir struktūrizuota informacija apie pastatų būklę ir jų techninę priežiūrą [48].

Projekto tikslai ir naudos

Pastatų duomenų bankas užtikrintų centralizuotų duomenų pasiekiamumą, duomenų analizės priemones, padedančias tobulinti pastatų energinio efektyvumo didinimo, renovacijų planavimo ir atlikimo procesus bei planuoti pastatų priežiūros darbus [49].

Energinio efektyvumo vertinimas

Analizuojant pastatų energinio efektyvumo poreikį būtų galima apibrėžti prioritėtines ar tikslines teritorijas ir joms parinkti energinio efektyvumo didinimo paketus. Pagal sudarytus paketus būtų galimybė apskaičiuoti potencialiai pasiektinus energijos vartojimo efektyvumo rodiklius, finansinius sutaupymus bei įvertinti CO₂ emisijos sumažinimą.

Pastatų energetinio efektyvumo renovacijos poreikio analizę siekiama atlikti naudojant pastatų duombazėje kaupiamus duomenis, gautus iš išorinių šaltinių, pastatų priežiūros ir rizikingumo vertinimo rezultatų.

Taigi, pastatų duomenų banko duomenų analizei ir apdorojimui reikalinga energinio efektyvumo vertinimo ir didinimo bei AEI panaudojimo techninė – ekonominė skaičiuoklė [48].

2. Metodinė dalis

2.1. Tyrimo objektas

Atlikus jau mokslinių darbų, esamų ES ir Lietuvos direktyvų, strategijų bei studijų apžvalgą, nuspręsta tyrimo metu orientuotis į decentralizuoto šildymo tipo pastatus su žema energinio naudingumo klase – C ir žemesne. Remiantis Pastatų duomenų banko projektu, žemesnio nei C energinio naudingumo klasės pastatai yra daugiausiai energijos vartojantis segmentas [48].

Siekiant parengti pastatų šildymo ir oro kondicionavimo sistemų energinio efektyvumo vertinimo ir techninio bei ekonominio tobulinimo tyrimo metodologiją ir vėliau atlikti patį tyrimą, kaip objektas pasirenkamas pastatas Lietuvoje:

- Administracinės paskirties, esantis Kauno rajono savivaldybėje, D energinio naudingumo klasės. Šio pastato šilumos generavimo sistema kaip kurą naudoja gamtines dujas.

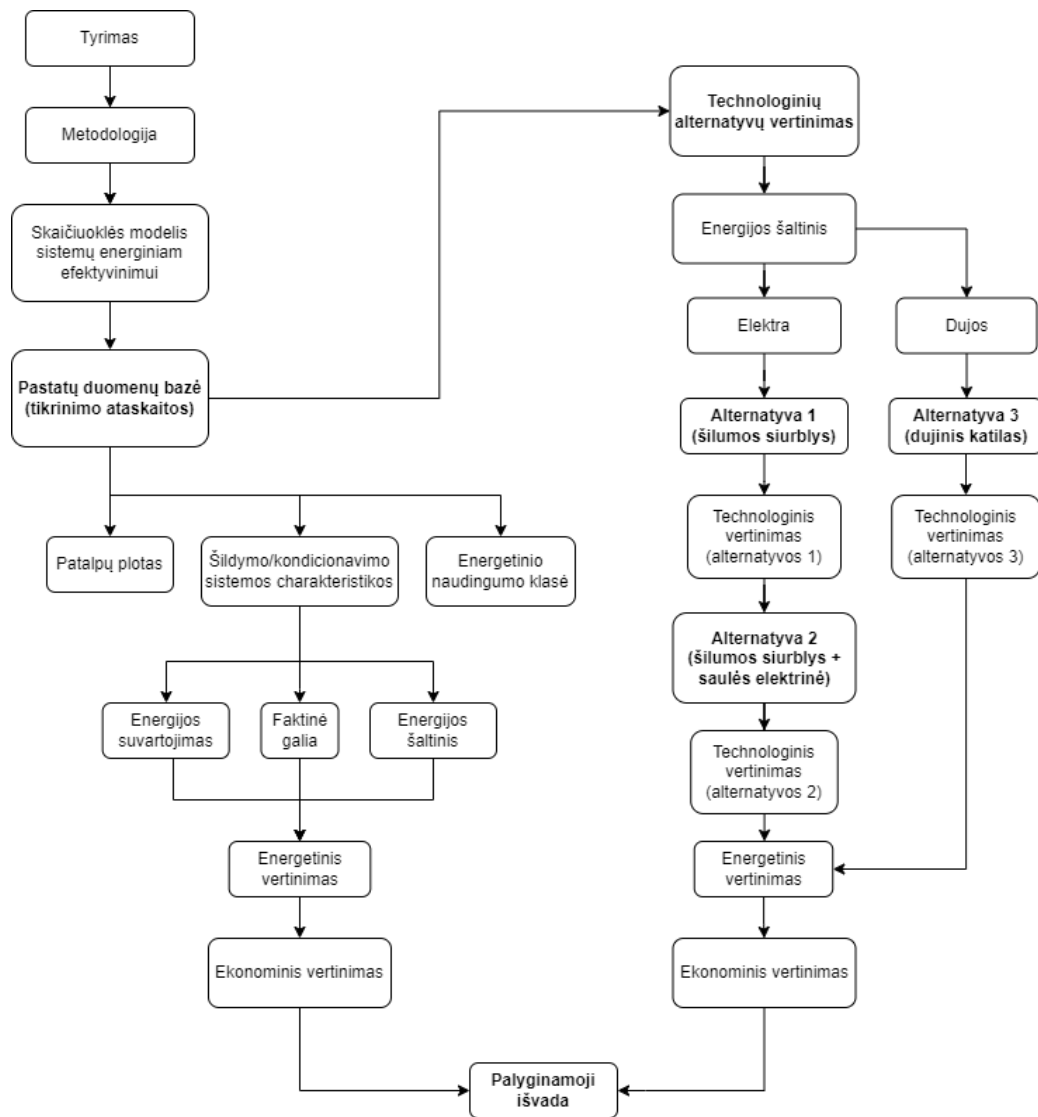
2.2. Tyrimo metodika

Pateikus duomenis apie pasirinktus tyrimo objektus, reikalingas modelis energinio efektyvumo įvertinimui ir potencialių technologinių patobulinimų ekonominiam vertinimui.

Tyrimo vykdymas numatomas remiantis šildymo ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos bei oro kondicionavimo ir kombinuotosios kondicionavimo ir vėdinimo sistemos tikrinimo ataskaitų formų pavyzdžiais, kurie yra nurodomi 2020 m. rugsėjo 25 d. Nr. 1-312 Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymo „Dėl metodikų patvirtinimo“ pakeitime [50]. Šis pakeitimas buvo priimtas dėl Europos Parlamento ir Tarybos *direktyvos 2018/844*, kurioje atnaujinti nurodymai dėl pastatų energinio naudingumo ir energijos vartojimo efektyvumo. Jame numatomos būtinos priemonės, siekiant užtikrinti, kad būtų reguliariai tikrinamos šildymo ir oro kondicionavimo sistemų, kurių vardinė atiduodamoji galia yra didesnė kaip 70 kW, dalys, naudojamos pastatams šildyti. Patikrinimo metu įvertinamas šilumos generatoriaus ir (ar) oro kondicionavimo sistemos naudingumo koeficientas ir dydis, specifiniais atvejais atsižvelgiant į šildymo ar kondicionavimo sistemos pajėgumus optimizuoti savo naudingumą tipinėmis arba vidutinėmis eksploataavimo sąlygomis [51].

Taigi, atitinkamai 1 ir 2 prieduose pateikiamos detalios šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos bei oro kondicionavimo ir kombinuotosios kondicionavimo ir vėdinimo sistemos tikrinimo ataskaitų formos, kurios bus naudojamos energinio efektyvumo ir technologiniam – ekonominiam vertinimui atlikti. Daroma prielaida, kad duomenys apie pastatų šildymo ir oro kondicionavimo sistemas galėtų būti talpinami į pastatų duomenų bazę, periodiškai atliekant auditus pagal minėtas ataskaitų formas.

Sukuriamas tyrimo metodikos algoritmas, kuris pateikiamas 16 pav.



16 pav. Tyrimo metodikos algoritmas (sudaryta autoriaus)

Taigi, tyrimas atliekamas remiantis pastatų šildymo ir kondicionavimo sistemų tikrinimo ataskaitų duomenimis. Numatoma vertinti šildomų ar vėsinamų patalpų plotą, paties pastato energinio naudingumo klasę, esamos šildymo ir vėsinimo charakteristikas: faktinę galią, energijos šaltinį ir energijos sąnaudas. Minėti esami pastato ir jo sistemų parametrai vertinami energetiškai ir ekonomiškai. Tuomet siekiama technologiškai įvertinti šildymo ir vėsinimo sistemų alternatyvą nr. 1 – šilumos siurblių. Ši alternatyva parenkama pagal aplinkos šilumos šaltinį, nominalią palaikomą lauko temperatūrą, pastato energijos poreikį šildymui ir vėsinimui, o tai leidžia apytiksliai apskaičiuoti šildymo galios dydį. Alternatyva nr. 2 yra paremta alternatyvos nr. 1 šilumos siurbliu, kuris derinamas su saulės šviesos elektrine. Saulės elektrinės galiai parinkti reikalinga žinoti šilumos siurblio elektros energijos vartojimo poreikį. Alternatyva nr. 3 yra dujinis katilas, derinamas su pastate jau esama oro kondicionavimo sistema. Dujinio katilo tipas numatomas kondensacinis dėl aukštesnio naudingumo koeficiento nei nekondensacinio tipo atveju. Dujiniui katilui parinkti įvertinamas šilumos poreikis pastate ir nustatoma šildymui reikalinga katilo galia. Tada apskaičiuojamos technologiškai parinktų alternatyvių sistemų energijos sąnaudos ir atliekamas ekonominis vertinimas. Skaičiuojami pagrindiniai rodikliai: sutaupyta energijos kaina SEK, grynoji dabartinė vertė GDV, vidinė grąžos norma VGN, tikrasis atsipirkimo laikas TAL ir paprastas atsipirkimo laikas PAL. Galiausiai technologiniu, energetiniu ir ekonominiu aspektais vykdomas esamų sistemų palyginimas su alternatyvomis.

2.2.1. Technologinis ir energetinis vertinimas

Šilumos siurblys

Technologinei analizei atlikti atsižvelgiama VŠĮ Lietuvos energetikos agentūros pateikiamos rekomendacijos tinkamam šilumos siurbliui pasirinkti, pagal kurias nurodoma pastate įvertinti:

- šilumos poreikius;
- esamos šildymo sistemos savybes ir tipą. Naudojantis radiatoriais rekomenduojama rinktis aukštos temperatūros šilumos siurblių, ypač senuose pastatuose, nes juose radiatoriai dažniausiai pritaikyti aukštai darbinei temperatūrai. Kitu atveju, jei naudojamas grindinis šildymas, patariama rinktis žemos temperatūros šilumos siurblių, nes jie įprastai yra pigesni;
- patalpų plotą ir energinio naudingumo klasę. Kuo didesnis plotas ir mažesnė naudingumo klasė, tuo didesnio galimumo šilumos siurblys yra reikalingas;
- karšto vandens poreikius, jei planuojama kompleksiskai ruošti ir karštą vandenį;
- langų dydį ir kryptis. Kuo didesni langai, tuo mažesnė jų šiluminė varža, todėl tuo didesnės galios šilumos siurblys yra reikalingas [46].

Taip pat rekomenduojama atkreipti dėmesį į šiuos šilumos siurblio parametrus:

- COP ir SCOP efektyvumo koeficientus. Kuo aukštesni šie rodikliai, tuo elektros energijos suvartojimas bus mažesnis. Taip pat, kuo žemesnė aplinkos oro temperatūra, prie kurios įvertinti efektyvumo koeficientai, tuo žemesnis yra efektyvumo lygis;
- jei planuojama ruošti ir karštą vandenį, tuomet reikia pasirinkti 2–4 kW galingesnį įrenginį [46].

Įvertinus rekomendacijas, toliau pateikiami šilumos siurblio pasirinkimo žingsniai.

1. Nominali lauko temperatūra parenkama pagal objekto lokacijos, t.y. Lietuvos, klimato sąlygas. Nustatoma žemiausia ir aukščiausia vidutinė paros temperatūros Lietuvoje, pagal kurią priimamos prietaisui reikiamos nominalios lauko temperatūros palaikymo ribos;
2. Pasirenkamas šilumos siurblio tipas:
 - įprasta rekomendacija yra rinktis iš oras – oras arba oras – vanduo tipo siurblių dėl paprasto įrengimo ir mažesnių investicijų, lyginant su žemė – vanduo arba vanduo – vanduo tipu;
 - jeigu esamoje šildymo sistemoje įdiegtas radiatorinis arba grindinis šildymas, tuomet pasirenkamas oras – vanduo tipas;
 - jeigu reikia numatyti galimybę šilumos siurbliu ruošti karštą vandenį, tuomet taip pat pasirenkamas oras – vanduo tipo siurblys;
 - jeigu nereikia ruošti karšto vandens ir nėra įdiegto radiatorinio arba grindinio šildymo, tuomet pasirenkamas oras – oras tipas.
3. Pagal pastato energinę naudingumo klasę priimami šilumos nuostoliai W/m^2 , kurie apibendrintai pateikiami 4 lentelėje. Šie nuostoliai priimami įvertinus, kad tyrimo objektais laikomos negyvenamos (administracinės) patalpos, kurioms keliami mažesni reikalavimai šildymui palaikyti.

4 lentelė. Pastatų šilumos nuostoliai pagal energinio naudingumo klasę [52]

Pastato energinio naudingumo klasė	Šilumos poreikis šildymui, W/m ²
A++	~10
A+	~20
A	~30
B	~40
C	~50
D	~60

4. Nominali šildymo galia, skirta didžiausioms apkrovoms padengti, apskaičiuojama parinkus šildymo poreikio vertę pagal pastato energinio naudingumo klasę (žr. 4 lentelę) ir šildomų patalpų plotą (1 formulė):

$$\text{Šildymo galia (kW)} = \frac{\text{šilumos poreikis} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)}{10^3} \cdot \text{patalpų plotas (m}^2\text{)} \quad (1)$$

5. Šilumos siurblys pasirenkamas pagal apskaičiuotą nominalią šildymo galios ribą, vertinant, kad suminė diegiamų siurblių galia būtų apytiksliai lygi ar didesnė nei apskaičiuota.
6. Nustatomas pastato metinis energijos poreikis šildymui, remiantis šildymo sistemos tikrinimo ataskaitos metiniu kuro suvartojimu šildymui ir esamos šildymo įrangos naudingumo koeficientu (2 formulė):

$$\text{Šildymo energijos poreikis (MWh)} = \text{suminis kuro suvartojimas (MWh)} \cdot \text{naudingumo koeficientas} \quad (2)$$

7. Įvertinamas pastato metinis vėsinimo energijos poreikis. Atsižvelgiant į Lietuvos pastatų duomenų prieinamumą ir apribojimus, vertinama, kad metinis vidutinis administracinių pastatų vėsinimo poreikis Lietuvoje yra 59 kWh/m² [27]. Taigi, apskaičiuojamas vėsimo poreikis visam pastato plotui (3 formulė):

$$\text{Vėsinimo energijos poreikis (MWh)} = \frac{59}{10^3} \cdot \text{patalpų plotas (m}^2\text{)} \quad (3)$$

8. Nustatomas kiekvieno šilumos siurblio suminis energijos (elektros) suvartojimas šildymui. Tuomet metinis energijos suvartojimas kiekvienam siurbliui gaunamas pagal (4) formulę [53, 54]:

$$\text{Metinis energijos suvartojimas (MWh)} = \frac{\text{Šildymo energijos poreikis (MWh)}}{\text{SCOP naudingumo koeficientas}} + \frac{\text{Vėsinimo energijos poreikis (MWh)}}{\text{SEER naudingumo koeficientas}} \quad (4)$$

Šilumos siurblys + saulės šviesos elektrinė

Derinimui su šilumos siurbliais toliau pateikiami saulės šviesos elektrinės parinkimo metodikos žingsniai.

1. Daroma prielaida, kad saulės šviesos elektrinė naudojama tik šilumos siurblio elektros energijos poreikiui padengti. Nustatoma reikiama elektrinės galia, remiantis sąlyga, kad 10 kW saulės elektrinės galios užtenka metiniams 10 MWh energijos elektros energijos poreikiams patenkinti [55, 56].

2. Parenkamas saulės modulių modelis bei pagal galią nustatomas reikiamas jų kiekis (5 formulė):

$$\text{Saulės modulių kiekis} = \frac{\text{Bendra elektrinės galia}}{\text{Vieno modulio galia}} \quad (5)$$

Dujinis katilas + oro kondicionierius

Remiantis VŠĮ Lietuvos energetikos agentūros energijos taupymo gairėmis bei Lietuvos ilgalaikę renovacijos strategija, norima įvertinti galimybes diegti aukšto naudingumo koeficiento kondensacinius dujinius katilus. Taigi, siekiant išlaikyti panašią šildymo ir kondicionavimo sistemų struktūrą, bet atnaujinti šildymo sistemą, vertinama naujo dujinio katilo alternatyva.

Parenkamas kondensacinio tipo katilas, kurs pasižymi aukštesniu naudingumo koeficientu nei įprastas nekondensacinis. Aukštas efektyvumas išgaunamas šildymo dujų neišleidžiant tiesiai į orą per kamina, o leidžiant joms tekėti per šilumokaitį ir atvėsti, sudarant kondensacijos reiškinių išskiriant papildomą šilumą [57].

Toliau pateikiami dujinio katilo pasirinkimo žingsniai.

1. Laikoma, kad dujinio katilo šildymo galia apskaičiuojama įvertinus pastato šilumos nuostolius W/m^2 pagal energinio naudingumo klasę (žr. 4 lentelę). Kaip ir šilumos siurblių atveju, šildymo galiai nustatyti naudojama 1 formulė [58].
2. Kaip ir šilumos siurblys, dujinis katilas pasirenkamas pagal apskaičiuotą nominalią šildymo galios ribą, vertinant, kad suminė diegiamų katilų galia būtų apytiksliai lygi ar didesnė nei apskaičiuota.
3. Metinis energijos (gamtinių dujų) suvartojimas šildymo poreikiams nustatomas pagal (6) formulę, pastato poreikius priimant tuos pačius, kaip ir šilumos siurbliui:

$$\text{Metinis energijos suvartojimas šildymui (MWh)} = \frac{\text{Šildymo energijos poreikis (MWh)}}{\text{Katilo naudingumo koeficientas}} \quad (6)$$

4. Vėsinimo energijos poreikiams įvertinti laikoma, kad dujinis katilas eksploatuojamas kartu su jau esamu oro kondicionieriumi. Pastato vėsumo poreikiai priimami tie patys kaip ir šilumos siurblio atveju (pagal 3 formulę), o metinis elektros energijos suvartojimas vėsinimui nustatomas pagal (7) formulę:

$$\text{Metinis energijos suvartojimas vėsinimui (MWh)} = \frac{\text{Vėsinimo energijos poreikis (MWh)}}{\text{SEER naudingumo koeficientas}} \quad (7)$$

5. Tuomet suminis metinis energijos suvartojimas kiekvienai katilinei šildymo ir oro kondicionieriaus vėsinimo sistemoms gaunamas pagal (8) formulę:

$$\begin{aligned} \text{Metinis energijos suvartojimas (MWh)} = \\ \text{Metinis energijos suvartojimas šildymui (MWh)} + \\ \text{Metinis energijos suvartojimas vėsinimui (MWh)} \end{aligned} \quad (8)$$

Dujinio katilo suvartojama elektros energija nevertinama, nes ji turi nedidelę reikšmę suminio suvartojamo kuro kiekio sudėtyje, lyginant su dujomis.

2.2.2. Ekonominis vertinimas

Atlikus pasirinktų tyrimo objektų energinio efektyvumo analizę, reikia nustatyti ir jiems įmanomų alternatyvių energiška efektyvesnių šildymo ar oro kondicionavimo sistemų įdiegimo galimybes. Dėl šios priežasties reikalingas potencialių alternatyvių technologijų įvertinimas energinio efektyvumo ir ekonominiu aspektais. Ekonominiam vertinimui atsižvelgiama į investicijas ir vertinami grynoji dabartinė projekto vertė, vidinė gražos norma, paprastasis ir tikrasis atsipirkimo laikotarpiai bei sutaupyta energijos kaina.

Paprastasis atsipirkimo laikas

Remiantis Lietuvos Respublikos energetikos ministro patvirtinta energijos vartojimo audito atlikimo pastatuose metodika, planuojamos investicijos energijos taupymo priemonėms įdiegti vertinamos pagal paprastąjį atsipirkimo laiką PAL, kuris nustatomas pagal (9) formulę:

$$PAL = \frac{I_0}{\Delta S} \quad (9)$$

čia PAL – paprastasis atsipirkimo laikas, metais;

I_0 – investicijos į planuojamą energijos taupymo priemonę, ar jų rinkinį, Eur;

ΔS – planuojami metiniai sutaupymai, įdiegus energijos taupymo priemonę, ar jų rinkinį, Eur.

Pagal Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimą dėl energijos efektyvaus vartojimo stebėsenos, šildymo įrangos atsipirkimo laikas, ilgesnis nei 20 metų, laikomas ekonomiškai neefektyviu [59].

Tikrasis atsipirkimo laikas

Energijos taupymo priemonių diegimui apskaičiuotos investicijos vertinamos nustatant tikrąjį atsipirkimo laiką TAL, kuris apskaičiuojamas pagal (10) formulę [60]:

$$TAL = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_0}{\Delta S})}{\ln(1+d)} \quad (10)$$

čia TAL – tikrasis atsipirkimo laikas, metais;

d – metinė diskonto norma, įvertinus planuojamą energijos pabrangimą, išreikšta vieneto dalimis;

I_0 – investicijos į planuojamą energijos taupymo priemonę, ar jų rinkinį, Eur;

ΔS – planuojami metiniai sutaupymai, įdiegus energijos taupymo priemonę, ar jų rinkinį, Eur.

Grynoji dabartinė vertė

Energijos taupymo priemonių, ar jų paketo, finansiniam patrauklumui nustatyti pasitelkiama grynoji dabartinė vertė GDV, kuria įvertinama esama pinigų vertė, skaičiuojama pagal (11) formulę:

$$GDV = DV_S - I - \sum_{i=1}^N DV_n(RI) + DV_N(LV) \quad (11)$$

čia DV_S – sutaupyto piniginių srautų dabartinė vertė per visą vertinamąjį laikotarpį N , Eur;

I – investicijos į planuojamą energijos taupymo priemonę, ar jų rinkinį, Eur;

$DV_n(RI)$ – reinvesticijų į energijos taupymo priemonę, ar jų rinkinį, dabartinė vertė, Eur;

$DV_N(LV)$ – energijos taupymo priemonės, ar jų rinkinio, likutinės vertės vertinamojo laikotarpio N pabaigoje dabartinė vertė, Eur.

Nepasikartojančių piniginių srautų dabartinei vertei DV_n nustatyti naudojama (12) formulė:

$$DV_n = PS(1 + d)^{-n} \quad (12)$$

čia DV_n – dabartinė vertė n-ųjų vertinamojo laikotarpio N metų piniginių srautų, Eur;
PS – piniginiai srautai n-ųjų vertinamojo laikotarpio N metų, Eur;
n – metai, kuriais atsiranda piniginiai srautai.

Vienodų metinių sutaupyta energijos kiekių per visą priemonės ar jų rinkinio gyvavimo laikotarpį sąlygos atveju, dabartinė vertė DV_S apskaičiuojama pagal (13) formulę:

$$DV_S = S \cdot \frac{1-(1+d)^{-N}}{d} \quad (13)$$

čia DV_S – dabartinė vertė sutaupyta energijos kiekių per visą vertinamąjį laikotarpį N, Eur;
S – metiniai sutaupyti energijos kiekiai per vertinamąjį laikotarpį N, Eur;
N – vertinamasis laikotarpis, metais.

Pažymėtina, jog investicija į taupymo priemonių ar jų rinkinį yra ekonomiškai efektyvi tik tada, jei grynoji dabartinė vertė GDV didesnė už 0. Skirtingų investicijų lyginimo atveju priimtinausia yra ta, kurios GDV didžiausia [61].

Norint patikrinti investicijų pelningumą taip pat svarbu įvertinti vidinės gražos normos (VGN) rodiklį. VGN yra diskonto norma, kuriai esant energijos taupymo priemonės ar jų rinkinio grynoji dabartinė vertė GDV yra 0 [61]. Jos apskaičiavimui naudojama (14) formulė:

$$GDV = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{PS_t}{(1+VGN)^t} = 0 \quad (14)$$

čia PS_t – norimas pinigų srautas pelningumo normos t laiko momentu, Eur;
t – norima pelningumo norma, kurią apytiksliai galima nustatyti iš rinkos palūkanų normos atėmus prognozuojamą bendros infliacijos normą [61, 62, 63].

Taigi, VGN esant aukštesnei už minimalią reikalaujamą pelningumo normą, investicija yra ekonomiškai efektyvi, o lyginant kelias investicijas, efektyviausia yra turinti didžiausią VGN reikšmę. Ekonominio efektyvumo analizės metu nustačius, jog VGN ir GDV vertės prieštarauja viena kitai, rekomenduojama remtis GDV rezultatu [60].

Sutaupyta energijos kaina

Investicinių projektų, susijusių su energijos taupymu, vertinimui rekomenduojama PAL, GDV ir VGN finansinius rodiklius naudoti tik kaip pagalbinius. Energijos taupymo priemonių ir jų rinkinių ekonominio efektyvumo nustatymui pagrindinis rodiklis yra sutaupyta energijos kaina SEK, gaunama pagal (15) formulę [61, 64]:

$$SEK = \frac{I \cdot KGF}{Q_S} \quad (15)$$

čia SEK – sutaupyta energijos kaina, Eur/MWh;
I – investicijų vertė (pradinė investicija + papildomų eksploatacijos išlaidų dabartinė vertė), Eur;

KGF – kapitalo gražos faktorius investicijų vertės paskirstymui metams;
Q_s – sutaupyta energijos kiekis per metus, MWh.

Jeigu priimama, kad sutaupymai ET kiekvienais metais yra vienodi, o investicijos reikalingos tik pirminiame projekto etape, tuomet kapitalo gražos faktorius KGF yra nustatomas pagal (16) formulę [64]:

$$KGF = \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} \quad (16)$$

čia d – metinė diskonto norma, vieneto dalimis;

n – numatomų įdiegti energijos taupymo priemonių gyvavimo laikas, metais.

Investicijų analizės metu sutaupyta energijos kaina SEK yra lyginama su energijos išteklių kaina, pavyzdžiui šilumos tarifu:

- jeigu SEK vertė yra mažesnė už energijos išteklių kainą, tuomet laikoma, jog investicija yra ekonomiškai efektyvi;
- jeigu SEK vertė yra didesnė už energijos išteklių kainą, tuomet priimama, jog investicija nėra ekonomiškai efektyvi.

Vertinant paprastai, SEK parodo, kas pigiau – energiją taupyti, ar ją vartoti. Pavyzdžiui, jei naudojant taupymo priemonę ar jų rinkinį sutaupyta energijos kaina yra 100 Eur/MWh, o šilumos tarifas – 110 Eur/MWh, tuomet žinoma, kad pigiau yra energiją taupyti, nei ją vartoti. Skirtingų investicinių galimybių lyginimo atveju, ekonomiškai efektyviausia investicija yra turinti didžiausią grynąją dabartinę vertę GDV, o SEK reikšmei pakanka turėti ne didesnę vertę nei faktinė energijos išteklių kaina.

Vienas iš sutaupyta energijos kainos skaičiavimo privalumų yra tai, jog esama ar būsima ateityje energijos kaina nedaro įtakos SEK skaitinei vertei. Pavyzdžiui, jeigu taupymo priemonės vertinimo metu gauta SEK vertė yra didesnė nei esama šilumos tarifo kaina, bet mažesnė nei ateityje numatoma šilumos kaina, tuomet teigiama, kad priemonę įgyvendinti apsimoka.

Sutaupyta energijos kainos rodiklį verta naudoti ir tada, kai energijos taupymo priemonės kombinuojamos į rinkinius, nes atsižvelgiant į jį galima įvertinti ne tik kokias priemonės įgyvendinti, bet ir kokia tvarka. Tokiu atveju reikia atkreipti dėmesį į tai, kad naudojant tam tikrą taupymo priemonę, energijos sutaupymai priklausys ir nuo prieš tai buvusios priemonės, t.y. negalima tiesiogiai susumuoti atskirų priemonių teikiamos naudos. Iš daugiau nei vienos priemonės susidedančio rinkinio suminė SEK reikšmė skaičiuojama pagal (17) formulę [61, 64]:

$$SEK_R = \frac{\sum_{i=1}^N (SEK_{R_i} \cdot Q_{SR_i})}{Q_{SR}} \quad (17)$$

čia SEK_R – energijos taupymo priemonių rinkinio sutaupyta energijos kaina, Eur/MWh;

SEK_{R_i} – i-osios taupymo priemonės SEK reikšmė, Eur/MWh;

Q_{SR_i} – i-osios taupymo priemonės sutaupyti metiniai energijos kiekiai, MWh;

Q_{SR} – taupymo priemonių rinkinio sutaupyti metiniai energijos kiekiai, MWh.

Vidutinė svartinė kapitalo kaina

Finansinėje analizėje plačiai naudojama vidutinė svartinė kapitalo kaina (WACC), parodanti kapitalo kaštus, vertinant skolintą ir nuosavą kapitalus. WACC naudojama kaip diskonto norma pinigų srautų diskontavimui ir yra apskaičiuojama pagal (18) formulę [65, 66].

$$WACC = \frac{E}{D+E} \cdot R_E + \frac{D}{D+E} \cdot R_D(1 + T) \quad (18)$$

čia WACC – vidutinė svartinė kapitalo kaina;

- E – nuosavo kapitalo kaina;
- D – skolinto kapitalo kaina;
- R_E – nuosavo kapitalo grąža;
- R_D – skolinto kapitalo kaina (palūkanų norma);
- T – pelno mokesčio tarifas.

Operacinės išlaidos

Siekiant tiesiogiai palyginti katilų ir šilumos siurblių naudingumo lygius ekonominiu aspektu, galima naudoti koreliacijas vertinant eksploatavimo kainas ir numatant metines operacines išlaidas OPEX, kurių skaičiavimo būdai pateikti atitinkamai (19) ir (20) formulėse [33]:

$$OPEX_{katilo} = Q_{šild} \cdot d \cdot \frac{c_{kuro}}{\varepsilon_{term}} \quad (19)$$

čia $OPEX_{katilo}$ – metinė katilo veiklos kaina;

- $Q_{šild}$ – šildymo galia, kW;
- d – metinės veikimo valandos;
- c_{kuro} – katilo kuro kaina, Eur/kWh;
- ε_{term} – katilo terminis koeficientas.

$$OPEX_{šilumos\ siurblio} = Q_{šild} \cdot d \cdot \frac{c_{elektros}}{SCOP} \quad (20)$$

čia $OPEX_{šilumos\ siurblio}$ – metinė šilumos siurblio veiklos kaina;

- $c_{elektros}$ – elektros energijos kaina, Eur/kWh;
- SCOP – šilumos siurblio sezoninis našumo koeficientas.

Vėsinimo režimo atvejais šilumos siurblių ar oro kondicionierių (šalčio mašinų) sistemoms taikomas toks pat kaip ir šilumos siurblio OPEX skaičiavimo metodas, tik naudojama vėsinimo galia ir vėsinimo efektyvumo koeficientas SEER.

3. Tiriamoji dalis

Pagal pastato šildymo ir vėdinimo sistemų tikrinimo ataskaitos formą (žr. 1 priedą) surenkami ir identifikuojami bei apibendrintai 5 lentelėje pateikiami svarbiausi pastato šildymo sistemos techniniai duomenys technologiniam ir ekonomiam vertinimams atlikti.

5 lentelė. Apibendrinti tyrimo objekto šildymo sistemos duomenys

Šildymo sistemos pastato duomenys	
Pastato, kuriame įrengta šildymo sistema ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistema, adresas	Administracinis paslaugų sektoriaus pastatas Kauno rajone
Pastato kategorija pagal naudojimo paskirtį	Paskirtis: administracinė, pastato energinio naudingumo klasė D
Pastato bendrasis ir šildomasis plotai ir (arba) tūriai	Šildomas plotas 1600,00 m ²
Kuro ir elektros naudojimas	
Suminis kuro sunaudojimas per metus	2021 m. 313,07 MWh
Kuro sunaudojimas šildymui ir vėdinimui	2021 m. 313,07 MWh
Šildymo sistemos prietaisai	
Šildymo prietaisų tipas	Radiatoriai, konvektoriai
Šildymo katilas ar kitas šilumos generatorius	
Paskirtis (šildymas ir (arba) karšto vandens ruošimas)	Šildymas
Pavadinimas (katilas, šilumos siurblys ar kt.)	Dujinis katilas
Gamintojas	Kalard
Modelis, serijos Nr.	VR10 + VR12, Nr. 24157587490
Katilo tipas (kondensacinis ar nekondensacinis)	Nekondensacinis
Pagaminimo, įrengimo ir eksploatacijos pradžios datos	2001 m.
Šiluminio naudingumo koeficientas ir dydis palyginti su pastato šildymo poreikiais	93 %
Naudojamo kuro tipas ir rūšys	Gamtinės dujos
Šildymo katilo ar kito šilumos generatoriaus galios atitiktis pastato šildymo poreikiams	
Faktinė vidutinė galia šildymui ir kombinuotajam šildymui ir vėdinimui	2021 m. – 53,96 kW
Vidutiniai pastato šilumos nuostoliai	2021 m. – 195,67 kWh/m ²
Vidutinė išorės temperatūra	2021 m. šildymo sezono metu +3,17 °C
Projektinė išorės temperatūra	-22 °C

Vertinant oro kondicionavimo sistemos informaciją pagal tikrinimo ataskaitos formą (žr. 2 priedą), matoma, kad pasirinktam tyrimo objektui gauti duomenys neapibrėžia energijos projekcinio ir suminio suvartojimų. Pastebima, kad suminio energijos suvartojimo apskaičiuoti tiksliai neįmanoma, nes tikrintai sistemai nėra sumontuotas atskiras elektros apskaitos prietaisas. Dėl šios priežasties priimama, kad tipinis įdiegtos šalčio mašinos (oro kondicionieriaus) naudingumo koeficientas SEER yra 14 [67].

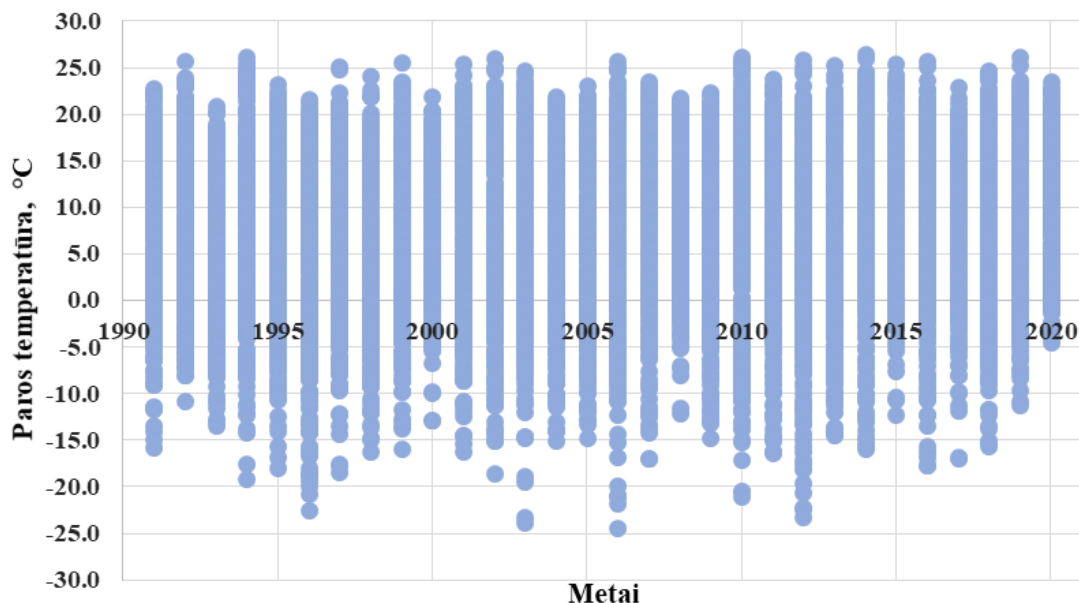
3.1. Technologinis ir energetinis vertinimas

3.1.1. Alternatyva 1: šilumos siurblys

Remiantis šildymo sistemos tikrinimo ataskaitos duomenimis ir VŠĮ Lietuvos energetikos agentūros gairėmis, siekiama esamą šildymo sistemą modernizuoti šilumos siurbliais, skirtais šildymui ir vėsinimui.

Toliau pateikiami konkretaus šilumos siurblio modelio pasirinkimo kriterijai ir žingsniai, įvertinant 5 lentelėje pateiktas esamos šildymo ir vėdinimo sistemos ypatybes.

1. Šilumos siurblio darbinės lauko temperatūros nustatymui pasitelkiamas vidutinės paros temperatūros išsibarstymas Lietuvoje 1990–2020 metais, vertinant kiekvieną metų dieną (žr. 17 pav.).



17 pav. Vidutinės paros oro temperatūros išsibarstymas Lietuvoje 1990–2020 metais, vertinant kiekvieną metų dieną [68]

Pažymėtina, jog Lietuvoje 1990–2020 metų laikotarpiu žemiausia vidutinė paros temperatūra buvo užfiksuota $-24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, o aukščiausia $+26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pagal esamos šildymo sistemos tikrinimo ataskaitą įvertinama jos projektinė išorės temperatūra – iš eilės 5-ių šalčiausių parų išorės oro vidutinė temperatūra, išrinkta iš 8 šalčiausių penkiadienių per praėjusius 50 metų [69]. Tyrimo objektui ši temperatūra nurodyta $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dėl minėtų priežasčių priimama, kad Lietuvoje bent $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ minimali ir $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ maksimali lauko temperatūros specifikacijos šilumos siurbliui yra pakankamos.

2. Renkamasi iš oras – vanduo tipo šilumos siurblių dėl galimybės ne tik šildyti, vėsinti patalpas, bet ir ruošti karštą vandenį. Taip pat tik oras – vanduo tipo šilumos siurbLIAI gali būti prijungti prie jau esamos, šiuo atveju radiatorinio šildymo sistemos.
3. Priimamas standartas, kad pagal pastato energinio naudingumo klasę (D) nuostoliai šildymui yra 60 W/m^2 .
4. Tuomet apskaičiuojama reikalinga šilumos siurblių suminė galia:

$$\text{Šildymo galia} = 60 \cdot 1600 = 96\text{ kW}.$$

5. Reikalinga 96 kW suminė šildymo galia, todėl galima naudoti 6 šilumos siurblius, palaikančius po 16 kW šildymo galią arba pasirinkti 4 siurblius po 24 kW.

Pirmasis pasirinktas modelio variantas yra *NORDIS Optimus PRO Split HOP16WODU3* 16 kW oras – vanduo tipo (žr. 18 pav.).



18 pav. *NORDIS Optimus PRO Split HOP16WODU3* oras – vanduo šilumos siurblys [70]

Antrasis pasirinktas modelis yra modelis yra *Hitachi Yutaki S10* 24kW oras – vanduo tipo monoblokas (žr. 19 pav.).



19 pav. *Hitachi Yutaki S10* 24kW oras – vanduo šilumos siurblys [71]

Svarbiausi šilumos siurblių pasirinkimo kriterijai – parametrai apibendrintai pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Svarbiausios pasirinktų šilumos siurblių techninės specifikacijos [70–73]

Modelis	Nominali šildymo galia, kW	Darbo aplinkos temp. °C			COP	SCOP	SEER	Vnt. kaina, EUR	Reikiamas kiekis, vnt
		Šildymui	Šaldymui	Vandens ruošimui					
<i>NORDIS Optimus PRO Split HOP16 WODU3</i>	16	-25 ~ +35	-5 ~ +43	-25 ~ +43	4,5 @A7 W35 3,6 @A7 W45 2,9 @A7 W55	4,62 @35 °C 3,41@ 55 °C	4,67 @7 °C 6,71@ 18 °C	4537	6
<i>Hitachi Yutaki S10</i>	24	-25 ~ +25	10 ~ +46	-25 ~ +35	4,29 @ A7W 35	3,6 @35 °C 2,98@ 55 °C	5,37 @7 °C	7562	4

Lyginant pasirinktų šilumos siurblių technines specifikacijas, *Nordis Optimus* modelis palaiko žemesnę nominalią šildymo galią (16 kW prieš 24 kW), tačiau turi aukštesnius naudingumo COP, sezoninį naudingumo koeficientą SCOP ir sezoninį energinio efektyvumo SEER koeficientus nei *Hitachi Yutaki* modelis.

6. Apskaičiuojamas pastato metinis energijos poreikis šildymui:

$$\text{Šildymo energijos poreikis} = 313,07 \cdot 0,93 = 291,16 \text{ MW}$$

7. Gaunamas pastato metinis energijos poreikis vėsinimui:

$$\text{Vėsinimo energijos poreikis} = \frac{59}{10^3} \cdot 1600 = 94,4 \text{ MW}$$

8. Priimama, jog abiem šilumos siurblių modeliams energijos suvartojimas bus apskaičiuotas įvertinant SCOP esant 55 °C vandens šildymo režimui, o SEER – 7°C vandens vėsinimo režimui. Tuomet metinis elektros energijos suvartojimas kiekvienam siurbliui:

$$1) \text{ Metinis energijos suvartojimas (Nordis Optimus)} = \frac{291,16}{3,41} + \frac{94,4}{4,67} = 105,6 \text{ MWh};$$

$$2) \text{ Metinis energijos suvartojimas (Hitachi Yutaki)} = \frac{291,16}{2,98} + \frac{94,4}{5,37} = 115,28 \text{ MWh};$$

3.1.2. Alternatyva 2: šilumos siurblys + saulės šviesos elektrinė

Derinimui su šilumos siurbliais parenkami 2 saulės šviesos elektrinės variantai dėl skirtingo energijos poreikio kiekvieno šilumos siurblio modelio naudojimo atveju:

1. Reikiama saulės elektrinės galia:

- 1) šilumos siurblių *Nordis Optimus* naudojimo atveju saulės elektrinė metiniams 105,6 MWh elektros energijos poreikiams padengti;
- 2) šilumos siurblių *Hitachi Yutaki* naudojimo atveju saulės elektrinė metiniams 115,28 MWh elektros energijos poreikiams padengti.

2. Priimama tyrime naudoti saulės modulius *SoliTek BlackStar*, palaikančius 420W maksimalią galią, darbo temperatūrą nuo -40 iki 85 °C ir IP68 atsparumo vandeniui klase [74]. Toliau apskaičiuojamas reikiamas modulių kiekis ir tiksli elektrinės galia:

$$1) \text{ Saulės modulių kiekis (Nordis Optimus)} = \frac{105,6}{0,42} = 252 \text{ vnt (105,84 kW)};$$

$$2) \text{ Saulės modulių kiekis (Hitachi Yutaki)} = \frac{115,28}{0,42} = 275 \text{ vnt (115,5 kW)}.$$

3.1.3. Alternatyva 3: dujinis katilas + oro kondicionierius

Siekiant išlaikyti panašią šildymo ir kondicionavimo sistemų struktūrą, bet atnaujinti šildymo sistemą, vertinama naujo dujinio katilo alternatyva.

Pasirenkant alternatyvų katilą atkreipiamas dėmesys į šiuo metu naudojamos šildymo sistemos duomenis (žr. 5 lentelę).

Toliau pateikiami dujinio katilo pasirinkimo žingsniai.

1. Kaip ir šilumos siurblių atveju, šildymo galia nustatoma pagal (1) formulę:

$$\text{Šildymo galia} = \frac{60}{10^3} \cdot 1600 = 96 \text{ kW}.$$

2. Šiuo atveju vertinama, kad būtų pakankama naudoti vieną bent ~96 kW galios dujinį katilą.

Dėl ženklaus naudingumo koeficiento sumažėjimo esant didesnėms apkrovoms priimama atskirai vertinti vieno 99 kW galios *VISSMANN Vitodens 200-W* ir vieno 100 kW galios *Bosch Condens 7000 WP* kondensacinių katilų įdiegimo atvejus (žr. 20 ir 21 pav.).



20 pav. Kondensacinis dujinis katilas *VISSMANN Vitodens 200-W*, 99 kW vardinės galios [75]



21 pav. Kondensacinis dujinis katilas *Bosch Condens 7000 WP*, 100 kW vardinės galios [76]

3. Apskaičiuojamas metinis gamtinių dujų suvartojimas šildymui [75, 76]:

$$1) \text{ Metinis energijos suvartojimas šildymui (VIESMANN Vitodens 200 – W) } = \frac{291,16}{0,95} = 306,48 \text{ MWh};$$

$$2) \text{ Metinis energijos suvartojimas šildymui (Bosch Condens 7000 WP) } = \frac{291,16}{0,94} = 309,74 \text{ MWh}.$$

4. Gaunamas metinis oro kondicionieriaus elektros energijos suvartojimas vėsinimui:

$$\text{Metinis energijos suvartojimas vėsinimui} = \frac{94,4}{14} = 6,74 \text{ MWh}.$$

9. Tuomet nustatomas suminis metinis suvartojimas kiekvienos sistemos atveju (dujinio katilo su jau esamu oro kondicionieriumi):

$$1) \text{ Metinis energijos suvartojimas (VIESMANN Vitodens 200 – W) } = 306,48 + 6,74 = 313,22 \text{ MWh};$$

$$2) \text{ Metinis energijos suvartojimas (Bosch Condens 7000 WP) } = 309,74 + 6,74 = 316,48 \text{ MWh}.$$

3.2. Ekonominis vertinimas

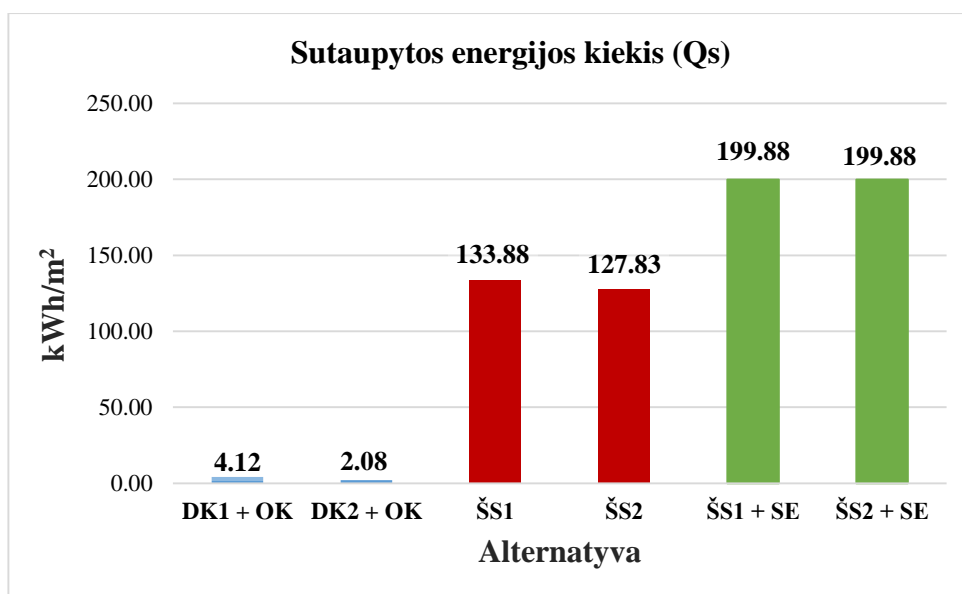
Tolimesnis alternatyvų vertinimas atliekamas sukurta *Excel* skaičiuokle (žr. 3 priedą), skirta energetinių ir ekonominių bei finansinių rodiklių nustatymui, grafinių priklausomybių braižymui ir jautrumo analizei.

Siekiant atlikti ekonominį vertinimą, sudaroma energijos poreikių ir sutaupytos energijos kiekio per metus palyginamoji lentelė (žr. 7 lentelę).

7 lentelė. Technologinių alternatyvų energijos poreikiai ir sutaupytos energijos kiekiai

Technologinė alternatyva	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
Energijos poreikiai esamai technologijai, kWh/m ² /metus	199,88					
Energijos poreikiai naujai technologinei alternatyvai, kWh/m ² /metus	195,76	197,8	66	72,05	0	0
Metinis sutaupytos energijos kiekis, %	2,06	1,04	66,98	63,95	100	100

Kaip parodyta 7 lentelėje, didžiausi metiniai energijos sutaupymai galimi esant šilumos siurblių alternatyvoms su saulės šviesos elektrinėmis, nes priimta laikyti, jog pagaminta elektros energija pilnai patenkina šilumos siurblių poreikius. Vertinant tik šilumos siurblius, ŠS1 scenarijui sutaupymas yra didžiausias. Remiantis apskaičiuotais energijos poreikiais kiekvienai technologinei alternatyvai, sudaromas priklausomybės grafikas (žr. 22 pav.).



22 pav. Metinis sutaupyta energijos kiekis pagal technologinę alternatyvą

Nors sutaupyta energijos kiekis didžiausias šilumos siurblių alternatyvoms su saulės šviesos elektrinėmis, svarbu įvertinti ir investicijų atsipirkimo laikus bei kitus ekonominio efektyvumo vertinimui skirtus rodiklius.

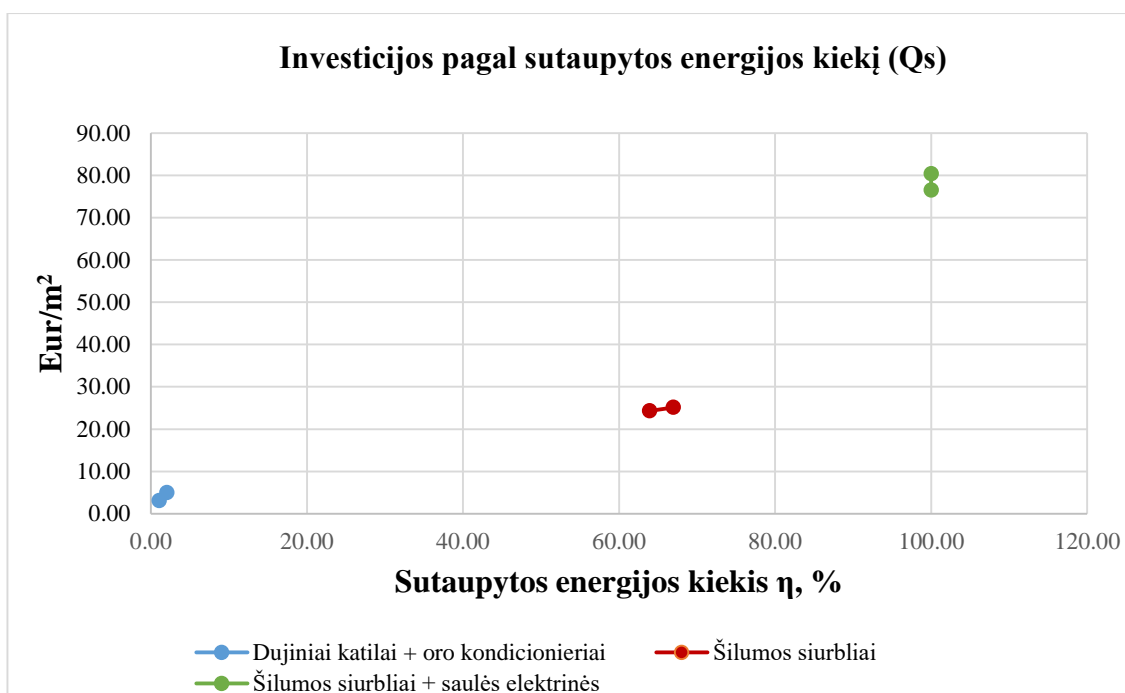
3.2.1. Ekonominis efektyvumas

Norint įvertinti ekonominį efektyvumą, kiekvienai alternatyvai surenkami orientaciniai pradinė investicijų duomenys, kurie toliau bus naudojami vertinant išlaidas už 1 m² (žr. 8 lentelę). Saulės šviesos elektrinių kiekis vertinamas kW vienetais, o įrenginio, montavimo ir papildomų detalių kainos nurodomos už 1 kW. Scenarijų su dujiniais katilais atveju oro atsižvelgiama tik į investicijas dujiniams katilams ir vertinama, kad vėsinimui naudojamas esamas oro kondicionierius (šalčio mašina).

8 lentelė. Technologinių alternatyvų pradinės investicijos [72, 73, 77–81]

Technologinė alternatyva	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
Reikiamas įrenginių kiekis	1	1	6	4	6 + 105,84	4 + 115,5
Įrenginio kaina, Eur/vnt	7053	4080	4537	7562	4537 + 331	7562 + 331
Montavimo kaina, Eur/vnt	450	450	1250	1250	1250 + 100	1250 + 100
Papildomų detalių ir medžiagų kaina, Eur	550	550	910	910	910 + 347	910 + 347
Suminės pradinės investicijos, Eur	8053	5080	40182	38888	122525,52	128747
Suminės pradinės investicijos, Eur/m²	5,03	3,18	25,11	24,31	76,58	80,47

Kaip matoma 23 pav., investicijų dydžio reikšmė glaudžiai susijusi su sutaupyta energijos kiekiu. Kuo didesnė investicija, tuo didesnė sutaupyta energijos kiekio vertė gaunama. Lyginant skirtingas technologines alternatyvas, šilumos siurblių ir šilumos siurblių su saulės elektrinėmis vidutinės investicijos atitinkamai 6 ir 19 kartų viršija dujinių katilų vidutinės investicijas. Vis dėlto, didelės investicijos šilumos siurblių ir šilumos siurblių su elektrinėmis atveju lemia atitinkamai 42 ir net 64 kartus didesnę sutaupyta energijos kiekį, nei dujinių katilų diegimo scenarijumi (žr. 7 lentelę).



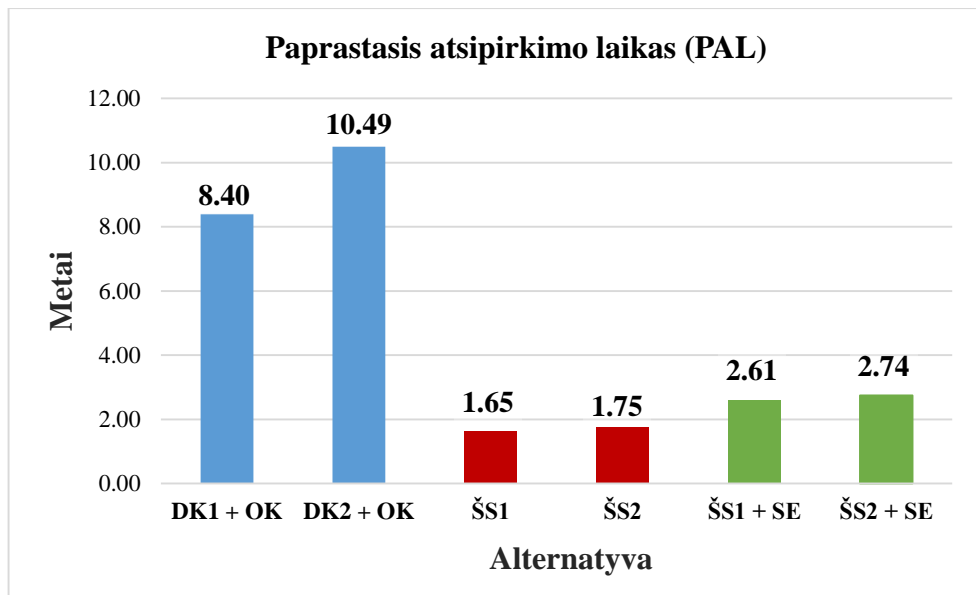
23 pav. Investicijų dydis pagal sutaupyto energijos kiekį

Technologinių alternatyvų investicijas būtina įtraukti į ekonominio efektyvumo analizę, kurioje vertinami šie pagrindiniai rodikliai: paprastas atsipirkimo laikas, tikrasis atsipirkimo laikas, metiniai sutaupymai ir sutaupyto energijos kiekis (žr. 9 lentelę). Diskontuojamų rodiklių rezultatai gauti imant pastovią diskonto normą (WACC) – 5,06 %, kuri paimta kaip Lietuvos elektros ir gamtinių dujų sektorių 2024 m. vidurkis [82]. Metiniai sutaupymai apskaičiuoti atsižvelgiant į dujų ir elektros rinkos kainas. Šiuo metu elektros energijos kaina rinkoje su PVM yra 0,2142 Eur/kWh, o gamtinių dujų – 0,1454 Eur/kWh [83, 84]. Detalus skaičiavimai šilumos siurblių scenarijams pateikiami 4 priede.

9 lentelė. Technologinių alternatyvų ekonominiai rodikliai

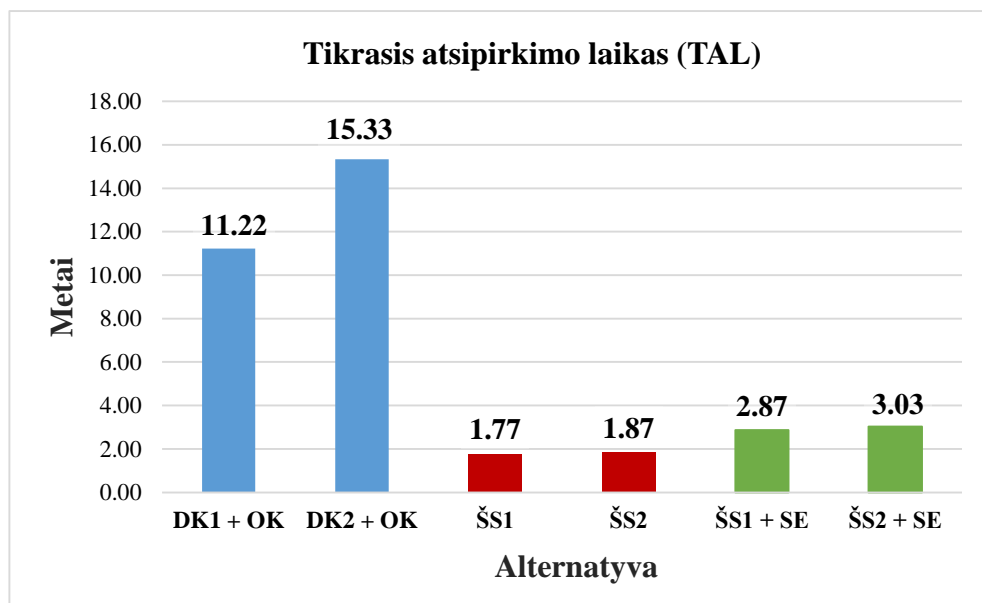
Technologinė alternatyva	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
Paprastasis atsipirkimo laikas PAL, metai	8,4	10,49	1,65	1,75	2,61	2,74
Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	11,22	15,33	1,77	1,87	2,87	3,03
Metiniai sutaupymai, Eur/metus/m ²	0,6	0,3	15,22	13,92	29,35	29,35
Sutaupyto energijos kaina SEK, Eur/MWh	98,54	123,02	15,13	15,33	30,9	32,47

Paprastasis atsipirkimo, kaip aprašyta metodologinėje dalyje, vertinamas pagal Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimą dėl energijos efektyvaus vartojimo stebėsenos. Rezultatai rodo, kad visų analizuotų technologinių alternatyvų atsipirkimo laikai yra ekonomiškai efektyvūs, nes neviršija 20 metų (žr. 24 pav.).



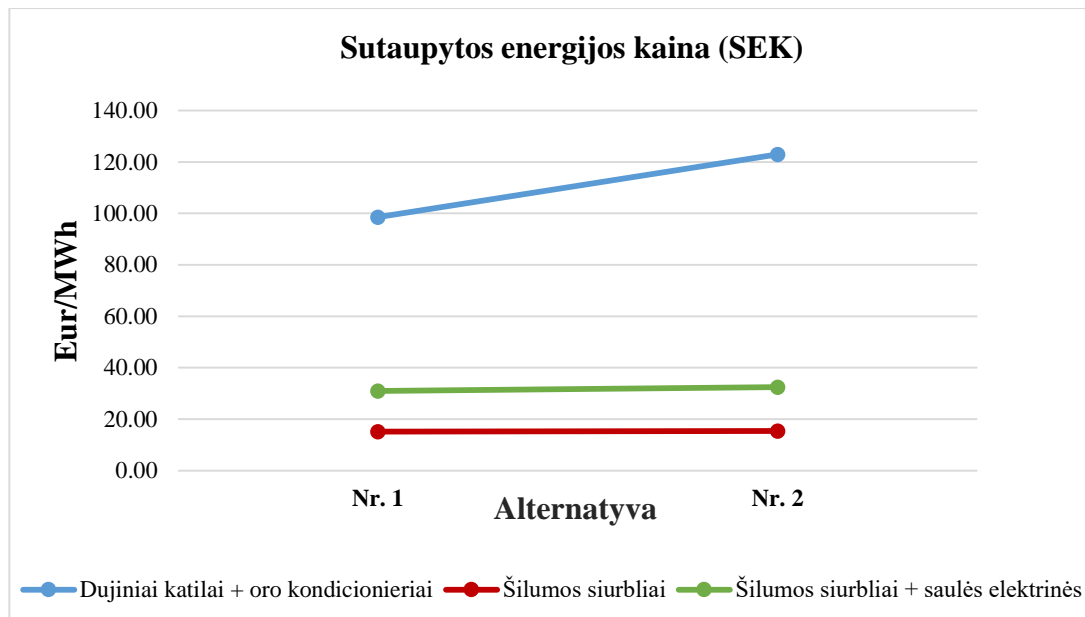
24 pav. Paprastasis atsipirkimo laikas pagal technologinę alternatyvą

Atsipirkimo laiko vertinimui, įvedant diskonto normą, skaičiuojamas tikrasis atsipirkimo laikas, o jo priklausomybė nuo technologinės alternatyvos matoma 25 pav. Galima įžvelgti, kad šiuo atveju DK1 + OK atsiperka po 11, o DK2 + OK tik po 15 metų. Vėlgi, greičiausiai atsiperks šilumos siurbliai, nes ŠS1 ir ŠS2 TAL rodikliai yra mažesni už 2 metus, o ŠS + SE atvejais siekia iki 3 metų.



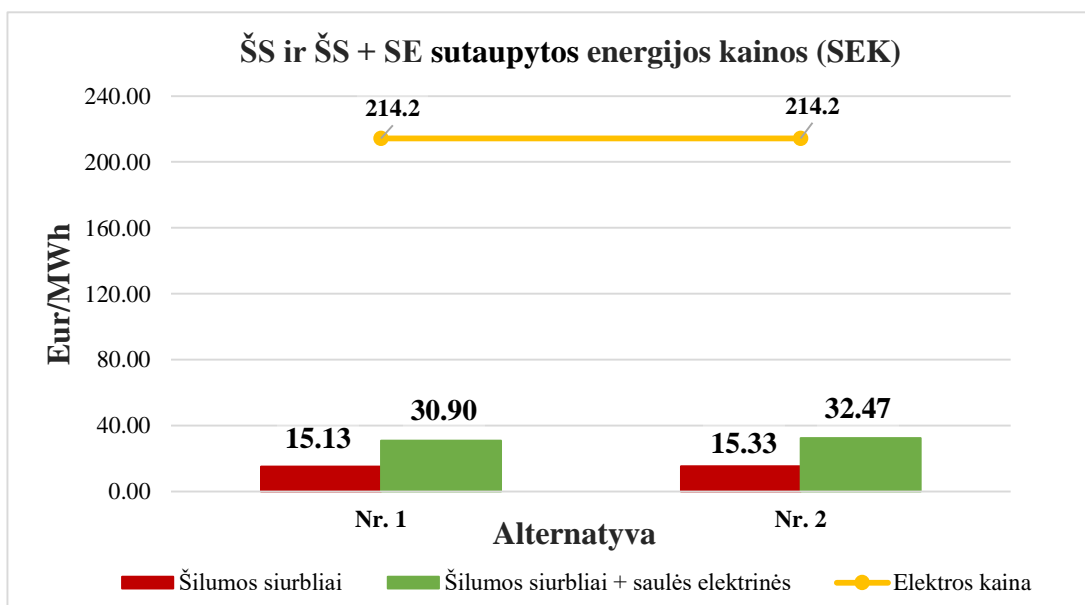
25 pav. Tikrasis atsipirkimo laikas pagal technologinę alternatyvą

Toliau pateikiamas sutaupytos energijos kainos priklausomybės nuo technologinės alternatyvos grafikas (žr. 26 pav.). Kaip pastebima, dujinių katilų sutaupyta energija buvo net 6–8 kartus brangesnė nei šilumos siurblių. Pažymėtina, kad šilumos siurblių su saulės šviesos elektrinėmis scenarijais gaunamas didesnė SEK dėl didesnių pradinių investicijų nei pavienių šilumos siurblių atvejais (žr. 8 lentelę).



26 pav. Sutaupytos energijos kaina pagal technologinę alternatyvą

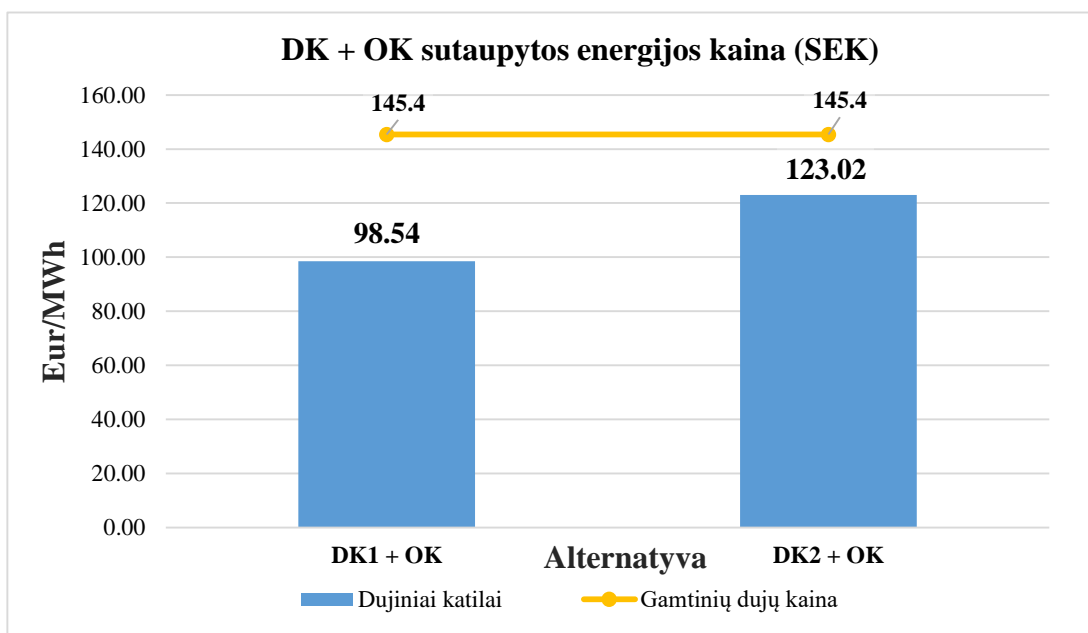
Visgi, svarbiausia SEK analizės atveju yra palyginimas su faktiniu energijos tarifu. Šilumos siurblių tyrimo atveju, SEK priklausomybės nuo elektros energijos tarifo grafikas pavaizduotas 27 pav. Kaip minėta metodikos dalyje, SEK esant mažesnei už energijos tarifą, laikoma, kad alternatyva yra ekonomiškai efektyvi. Šiuo atveju ŠS1 ir ŠS2 technologijos pasižymi dideliu ekonominiu efektyvumu, nes jų sutaupytos energijos kaina daugiau nei 13 kartų mažesnė už elektros energijos kainą rinkoje, kuri siekia 214,2 Eur už 1 MWh. ŠS1 + SE ir ŠS2 + SE scenarijais SEK dvigubai viršija atskirai vertinamų šilumos siurblių scenarijus dėl 3 kartus didesnių pradinių investicijų.



27 pav. Šilumos siurblių ir šilumos siurblių su saulės elektrinėmis sutaupytos energijos kainų palyginimas su elektros kaina rinkoje

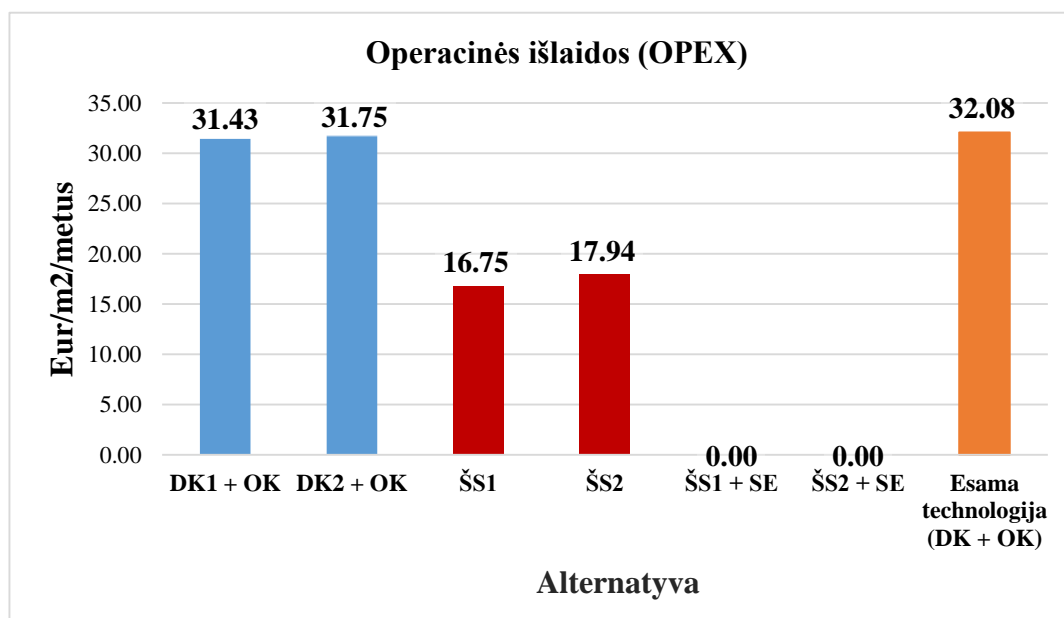
Dujinių katilų atveju SEK lyginama su gamtinių dujų rinkos kaina, o kondicionavimo sistemoms sutaupymai nenumatomi, nes naudojama esama sistema ir jos energijos suvartojimas nekinta. Lyginant dujinių katilų šildymui sutaupytos energijos kainą su gamtinių dujų rinkos kaina, situacija yra arčiau ribinės (žr. 28 pav.). DK1 išlaiko ekonominį efektyvumą, nes jo scenarijumi neviršijama

dujų rinkos kaina. Atkreipiant dėmesį į DK2, matoma iki gamtinių dujų tarifo ribos trūksta apie 22 Eur/MWh, tačiau technologija vis dar ekonomiškai efektyvi.



28 pav. Dujinių katilų su oro kondicionieriais sutaupyta energijos kainos palyginimas su dujų kaina rinkoje

Technologijų eksploatacijos ekonominiam vertinimui pasitelkiami operacinių išlaidų skaičiavimai, kurie atsispindi 29 pav. pavaizduotame grafike. Kaip matoma, visos DK + OK technologijos, įskaitant ir esamą, pasižymi panašiomis operacinėmis išlaidomis. Šilumos siurblių atvejais šios išlaidos yra beveik dvigubai mažesnės, o derinimo su saulės elektrinėmis scenarijais operacinių išlaidų nėra, nes vertinama, kad pagaminama pakankamai elektros energijos ir jos nereikia pirkti iš rinkos.



29 pav. Esamos ir alternatyvių technologijų 1 m² operacinių išlaidų palyginimas

3.2.2. Finansiniai rodikliai

Toliau apskaičiuojami finansiniai rodikliai, tinkami investicijų į projektus vertinimui (žr. 10 lentelę).

Skaičiavimai atliekami esant jau anksčiau priimtai 5,06 % diskonto normai (WACC). Detalesnis skaičiavimo pavyzdys pateikiamas 4 priede.

10 lentelė. Technologinių alternatyvų GDV ir VGN

Technologinė alternatyva	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
Grynoji dabartinė vertė GDV, Eur	-605438,29	-615169,32	-17041,79	-71343,12	506756,96	500535,48
Vidinė gražos norma VGN, %	–	–	-5,77	–	54,34	49,84

Kaip nurodoma metodinėje dalyje, GDV vertei esant daugiau už 0, technologinė alternatyva laikoma efektyvi. Atsižvelgiant į 10 lentelę pastebima, kad DK su OK nėra tinkami investicijoms, nes jų GDV yra mažiau už 0 dėl labai didelio metinio energijos suvartojimo, lyginant su sutaupomomis išlaidomis. Šilumos siurblių ŠS1 scenarijumi metiniai sutaupymai yra didesni, nei išlaidos energijai, tačiau per projekto gyvavimo laikotarpį (20 metų) reikiamos investicijos neatsiperka. ŠS2 scenarijaus rezultatai rodo, kad metinės išlaidos energijai yra didesnės nei sutaupymai, todėl ši alternatyva turi dar labiau neigiamą GDV.

Gauta, kad galima investuoti į alternatyvas su ŠS ir SE, nes abiem atvejais turima GDV yra didesnė už 0. Vertinama, kad saulės elektrinėmis padengiami elektros energijos poreikiai, todėl nėra išlaidų energijai. Pagal aprašytą metodiką pasirenkama alternatyva, kurios VGN vertė yra didžiausia. Šiuo atveju net 54,34 % vidinė gražos norma gauta ŠS1 + SE deriniui, kuris priimamas kaip labiausiai patrauklus investicijoms.

3.2.3. Jautrumo analizė

Norint įvertinti potencialius pokyčius energijos rinkoje, atliekama jautrumo analizė šiems scenarijams:

- 1) diskonto normos pokyčiams;
- 2) elektros energijos rinkos kainos pokyčiams;
- 3) gamtinių dujų rinkos kainos pokyčiams;
- 4) investicijų technologinėms alternatyvoms pokyčiams.

Jautrumo analizė: diskonto normos pokyčių įtaka

Tiriant diskonto normos įtaką ekonominiam efektyvumui, apskaičiuojami disko normai jautrūs rodikliai apibendrintai pateikiami 11 lentelėje, įtraukiami ir jau anksčiau apskaičiuoti rezultatai, esant 5,06 % diskonto normai. Jautrumo analizei atlikti diskonto normos (WACC) didėjimas remiamas prognozuojamu skolinto ir nuosavo kapitalų kainos didėjimu [85, 86]. Kita prielaida daroma šių kapitalų kainų mažėjimui, tad tikrasis atsipirkimo laikas bei sutaupytos energijos kaina įvertinami ir esant diskonto normos sumažėjimui [87].

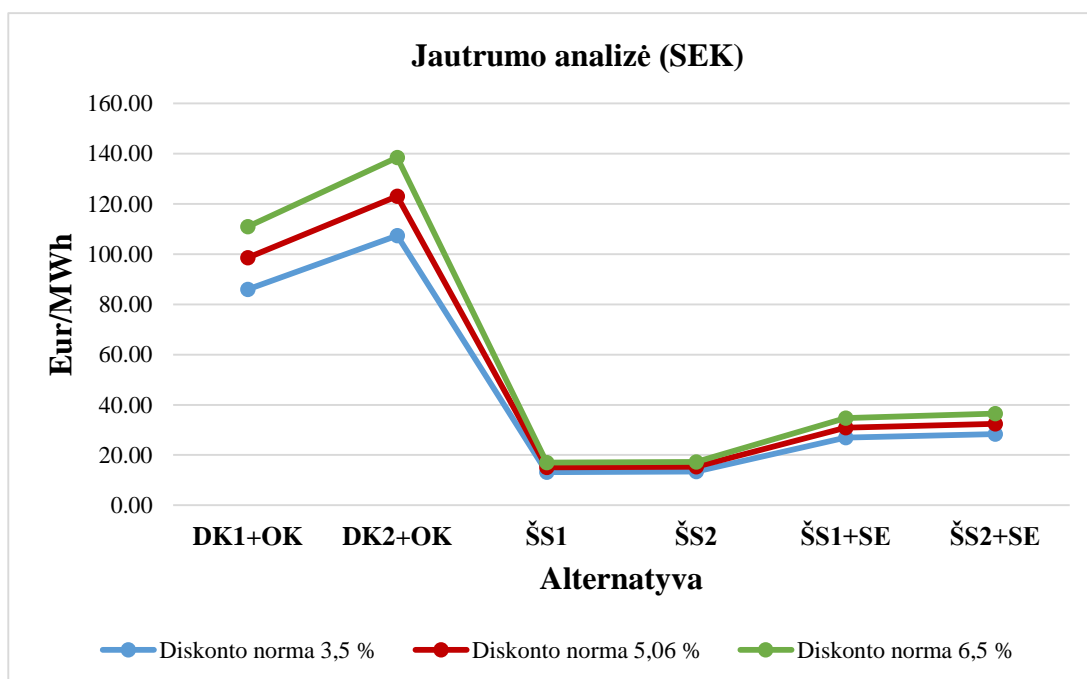
11 lentelė. Diskonto normos pokyčių įtaka: atsipirkimo laikai ir sutaupytos energijos kainos

Technologinė alternatyva	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
Diskonto norma 3,5 % Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	10,12	13,3	1,73	1,83	2,78	2,93

	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	85,97	107,32	13,2	13,38	26,96	28,33
Diskonto norma 5,06 %	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	11,22	15,33	1,77	1,87	2,87	3,03
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	98,54	123,02	15,13	15,33	30,9	32,47
Diskonto norma 6,5 %	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	12,55	18,19	1,8	1,91	2,95	3,12
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	110,89	138,43	17,02	17,26	34,77	36,54

Kaip matoma 11 lentelėje, padidėjus diskonto normai stebimas technologijos atsipirkimo laiko ilgėjimas ir sutaupytos energijos kainos didėjimas.

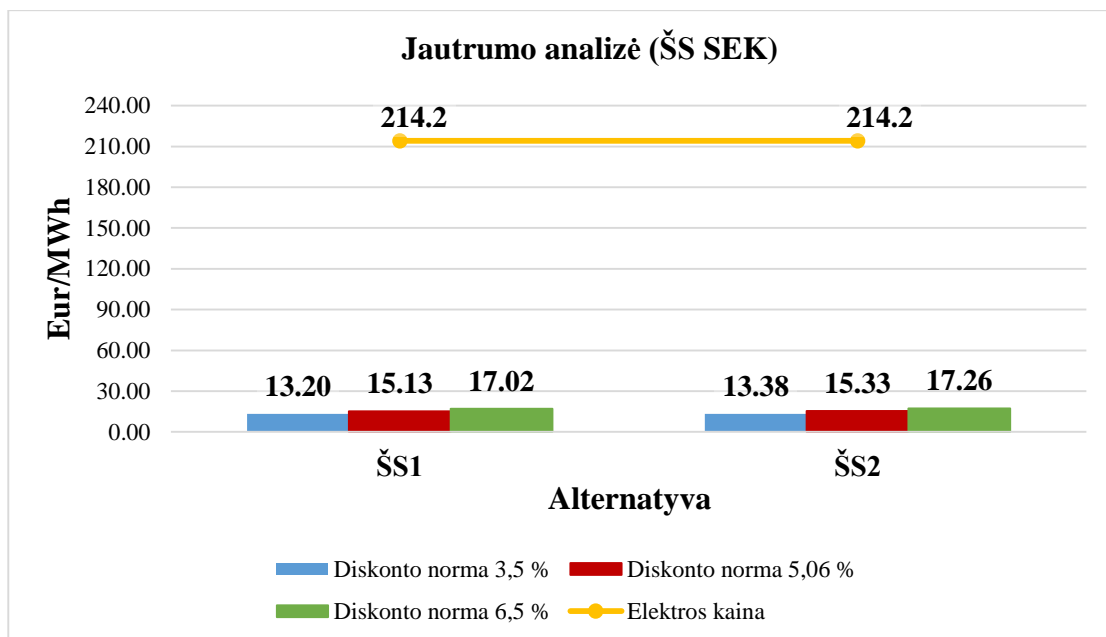
Sutaupytos energijos kainos priklausomybės nuo skirtingų diskonto normų visoms tiriamoms technologinėms alternatyvoms pateikiamos 30 pav. Kaip galima pastebėti, kuo didesnė diskonto norma, tuo labiau padidėjusi ir SEK, o kuo didesnė pirminė SEK reikšmė, tuo didesnis jos prieaugis kylant diskonto normai. Taigi, dujinių katilų atveju turimas didžiausias jautrumas diskonto normos didėjimui.



30 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: sutaupytos energijos kaina pagal technologinę alternatyvą

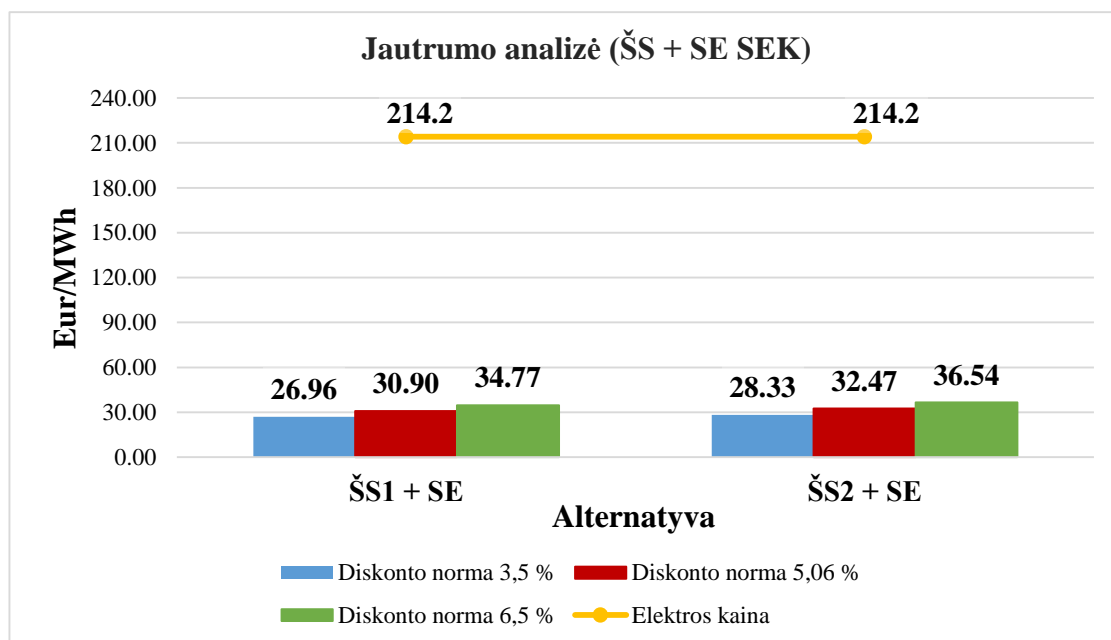
Toliau atliekama svarbiausia SEK analizė: palyginimas su energijos (elektros) rinkos kaina šilumos siurbliams (žr. 31 pav.). Kaip matoma, tolygiai didinant diskonto normą atsiranda vis reikšmingesnis

SEK padidėjimas. Visgi, abiejų ŠS atvejais, net ir prie didžiausios analizuotos diskonto normos (6,5 %) SEK išlieka apie 12 kartų mažesnė už rinkos kainą, todėl šilumos siurblių technologijos vertinamos kaip labai efektyvios ekonomine prasme.



31 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: šilumos siurblių SEK palyginimas su elektros rinkos kaina

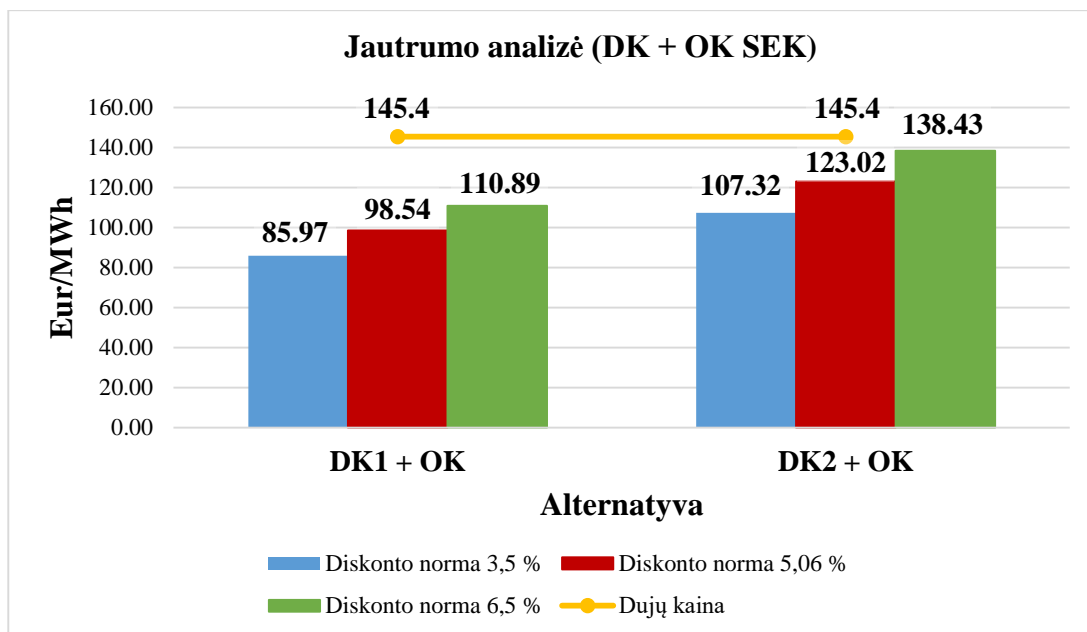
Kaip matoma 11 lentelėje, šilumos siurblių kombinavimo su saulės šviesos elektrinėmis sutaupyta energijos kaina taip pat didėja, esant diskonto normos didėjimui. Šiuo atveju dėl daugiau nei 3 kartus didesnių pradinių investicijų, lyginant su šilumos siurbliais be saulės elektrinių, gaunama aukštesnė SEK. Grafinė priklausomybė pateikiama 32 pav.



32 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: šilumos siurblių su saulės elektrinėmis SEK palyginimas su elektros rinkos kaina

Remiantis 2-ojo dujinio katilo SEK, esančia netoli gamtinių dujų kainos rinkoje ribos, galima paanalizuoti jos kitimą ir prie skirtingų diskonto normų (žr. 33 pav.). Prie 6,5 % diskonto normos

pastebimas jau mažesnis nei 5 % skirtumas tarp gamtinių dujų ir SEK kainų. Vadinasi, didinant diskonto normą, fiksuojamas reikšmingas SEK prieaugis. DK1 scenarijui su 6,5 % diskonto norma dar matoma ~24 % už rinkos kuro kainą mažesnė SEK.



33 pav. Diskonto normos pokyčių įtaka: dujinių katilų su oro kondicionieriais SEK palyginimas su elektros rinkos kaina

Finansinių rodiklių vertės kintant diskonto normai pateikiamos 12 lentelėje. Pastebima, kad esant diskonto normos didėjimui GDV ir VGN reikšmės visų alternatyvų atvejais mažėja.

12 lentelė. Diskonto normos pokyčių įtaka: GDV ir VGN

Technologinė alternatyva		DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
Diskonto norma 3,5 %	Grynoji dabartinė vertė GDV, Eur	-686284,95	-697735,27	-	-	591920,41	585698,93
	Vidinė gražos norma VGN, %	-	-	-4,35	-	56,67	52,10
Diskonto norma 5,06 %	Grynoji dabartinė vertė GDV, Eur	-605438,29	-615169,32	-	-	506756,96	500535,48
	Vidinė gražos norma VGN, %	-	-	-5,77	-	54,34	49,84
Diskonto norma 6,5 %	Grynoji dabartinė vertė GDV, Eur	-543887,83	-552309,93	-	-	441920,04	435698,56
	Vidinė gražos norma VGN, %	-	-	-7,04	-	52,25	47,81

Jautrumo analizė: elektros kainos pokyčių įtaka

Tolimesnei jautrumo analizei skaičiuojami tikrojo atsipirkimo laikai ir metiniai piniginiai sutaupymai, esant skirtingoms elektros energijos kainoms. Remiantis Lietuvos energijos rinkos analizės duomenimis, elektros suvartojimo ir energijos intensyvumo bendrajam vidaus produktui

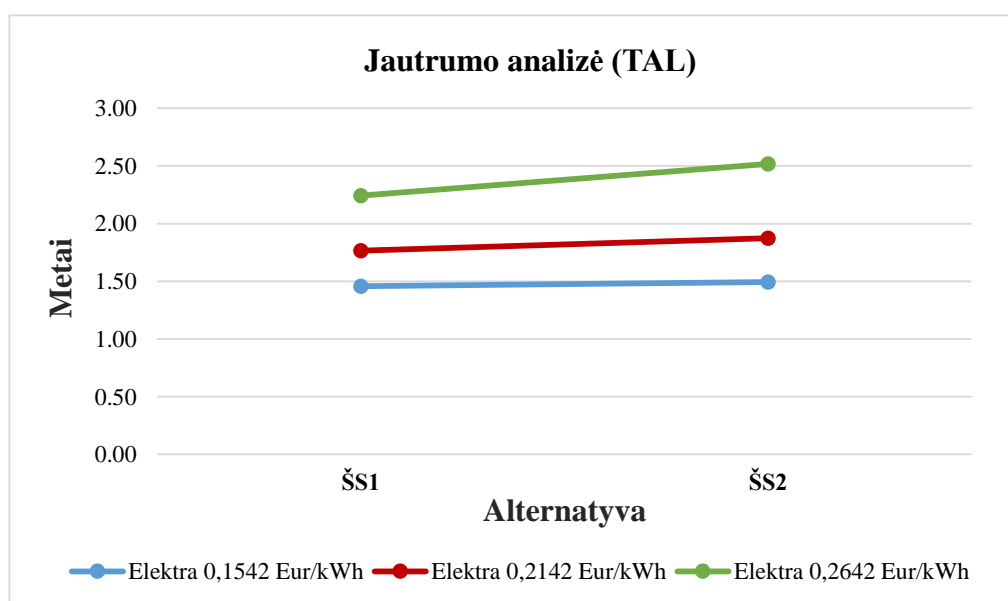
(BVP) rodikliai mažėjo dėl energinio efektyvumo didėjimo, o tai turėtų stabilizuoti ar sumažinti elektros kainą ateityje [88]. Dėl šių priežasčių atliekama atliekam jautrumo analizė 5 centais mažesniai (0,1542 Eur/kWh) elektros kainos tarifui ir palyginima su esamu elektros kainos tarifu (0,2142 Eur/kWh). Siekiant praplėsti analizę, įvertinama ir rizika tarifui kilti dėl didėjančios paklausos, augančios infliacijos ir ekonomikos bei reguliavimo ir aplinkosaugos politikų [89]. Taigi, priimama vertinti ir 5 centais didesnę tarifą (0,2642 Eur/kWh), o visi skaičiavimų rezultatai apibendrinami 13 lentelėje.

Pažymėtina, kad šilumos siurblių su saulės elektrinėmis scenarijams rinkos elektros kaina įtakos nedaro, nes laikoma, kad visas siurblių energijos poreikis yra pilnai kompensuojamas elektrinės pagaminta elektros energija.

13 lentelė. Elektros kainos pokyčių įtaka: atsipirkimo laikai ir metiniai sutaupymai

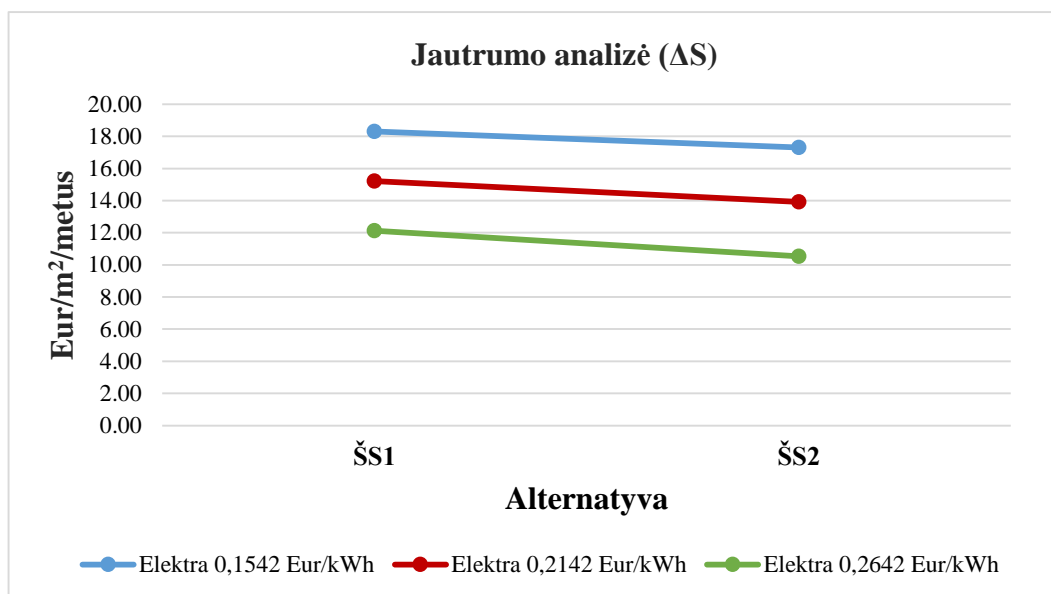
Technologinė alternatyva		ŠS1	ŠS2
Elektros kaina 0,1642 Eur/kWh	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	1,46	1,49
	Metiniai sutaupymai ΔS , Eur/metus	18,31	17,31
Elektros kaina 0,2142 Eur/kWh	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	1,77	1,87
	Metiniai sutaupymai ΔS , Eur/metus	15,22	13,92
Elektros kaina 0,2642 Eur/kWh	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	2,24	2,52
	Metiniai sutaupymai ΔS , Eur/metus	12,13	10,53

Šilumos siurblių alternatyvų atvejais, lyginant su jautrumu diskonto normos didėjimui, tikrasis atsipirkimo laikas kylant elektros kainai yra jautresnis, t.y. didėja greičiau. Tikrojo atsipirkimo laiko priklausomybės nuo elektros kainos priklausomybė pateikiama 34 pav.



34 pav. Elektros kainos pokyčių įtaka: 1 m² tikrasis atsipirkimo laikas pagal šilumos siurblių alternatyvą

Metinių finansų sutaupymų jautrumo analizė nuo elektros energijos kainos pateikiama 35 pav. Kaip ir galima nuspėti, abiejų šilumos siurblių atvejais didėjant elektros tarifui pastebimas tolygus sutaupymų mažėjimas.



35 pav. Elektros kainos pokyčių įtaka: 1 m² metiniai sutaupymai pagal šilumos siurblių alternatyvą

Jautrumo analizė: gamtinių dujų kainos pokyčių įtaka

Jautrumo analizę gamtinių dujų kainos tarifui galima taikyti ne tik dujiniams katilams, bet ir šilumos siurbliams, kurių sutaupymai skaičiuojami remiantis esamos senų dujinių katilų technologijos energijos vartojimu. Atsižvelgiant į geopolitinį nestabilumą regione, taip pat aplinkosauginį reguliavimą numatomus ir anglies apmokestinimus, į jautrumo analizę įtraukiama 5 centais pabrangusi gamtinių dujų kaina (0,1954 Eur/kWh). Taip pat vertinama ir 5 centais mažesnė kaina (0,0954 Eur/kWh), nes didėjantis atsinaujinančios energijos naudojimas gali lemti gamtinių dujų paklausos sumažėjimą, o padidėjusi tiekėjų konkurencija ir liberalizuota rinka gali reikšti konkurencingesnę kainą vartotojams [90, 91]. Gamtinių dujų kainos pasikeitimo palyginimui įtraukiama ir esama rinkos kaina (0,1454 Eur/kWh). Gauti tikrieji atsipirkimo laikai ir metiniai sutaupymai matomi 14 lentelėje.

14 lentelė. Dujų kainos pokyčių įtaka: atsipirkimo laikai ir metiniai sutaupymai

Technologinė alternatyva	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE	
Dujų kaina 0,0954 Eur/kWh	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	21,16	33,54	5,40	7,15	4,47	4,73
	Metiniai sutaupymai ΔS, Eur/metus	0,39	0,20	5,43	4,14	19,57	19,57
Dujų kaina 0,1454 Eur/kWh	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	11,22	15,33	1,77	1,87	2,87	3,03
	Metiniai sutaupymai ΔS, Eur/metus	0,60	0,30	15,22	13,92	29,35	29,35

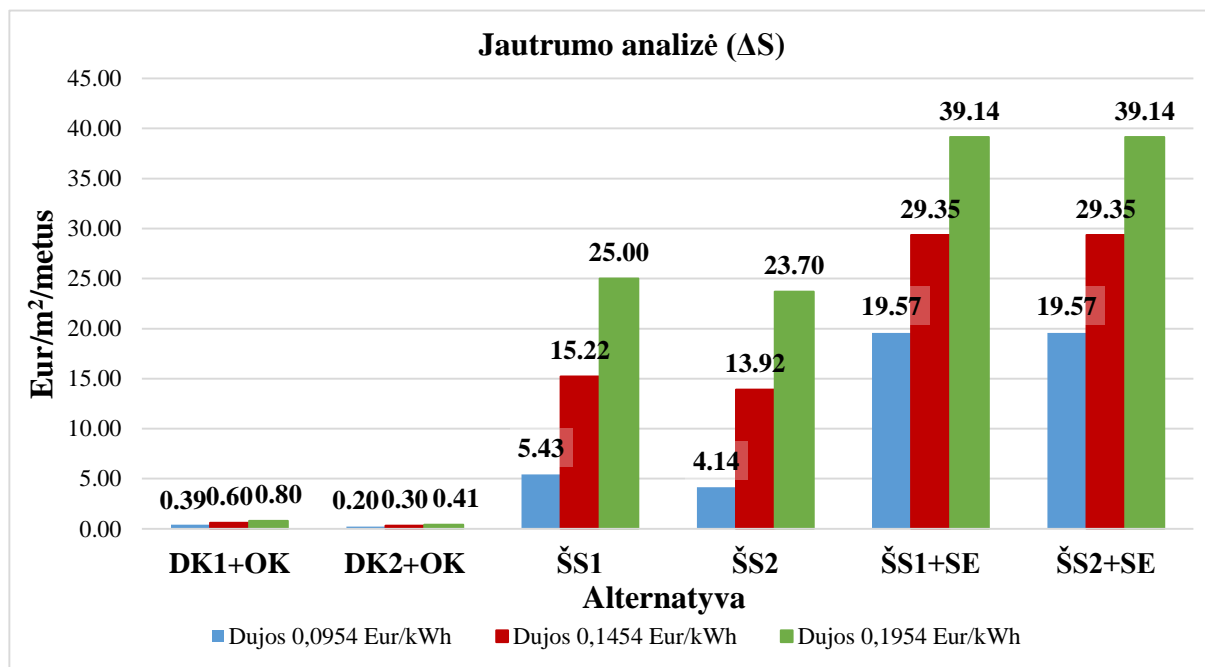
Dujų kaina 0,1954 Eur/kWh	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	7,71	10,18	1,06	1,08	2,11	2,23
	Metiniai sutaupymai ΔS , Eur/metus	0,80	0,41	25,00	23,70	39,14	39,14

Toliau pateikiamas visų tirtų technologinių alternatyvų metinių finansinių sutaupymų kitimas priklausomai nuo gamtinių dujų tarifo kainos (žr. 36 pav.). Vertinama, kad didėjant gamtinių dujų rinkos kainai, visų technologijų metiniai sutaupymai didėja, nes skaičiavimai paremti palyginimu su esamos technologijos eksploatacijos išlaidomis.

Pastebima, kad kylant dujų kainai, didėja ir naujų dujinių katilų finansiniai sutaupymai, nes naujos ir senos katilų sistemų energinių poreikių skirtumas išlieka vienodas, bet didėja to paties sutaupyto energijos kiekio kaina. Taip pat pabrėžtina, kad DK1 sutaupymai visada didesni nei DK2, nes jo metinis energijos poreikis yra mažesnis.

Šilumos siurblių alternatyvų atveju kylanti esamos dujinių katilų technologijos energijos kaina lemia beveik pastovų metinių finansinių sutaupymų didėjimą. 5 cent/kWh dujų tarifo padidėjimas lemia ~10 Eur/metus sutaupymą 1 m² plotui.

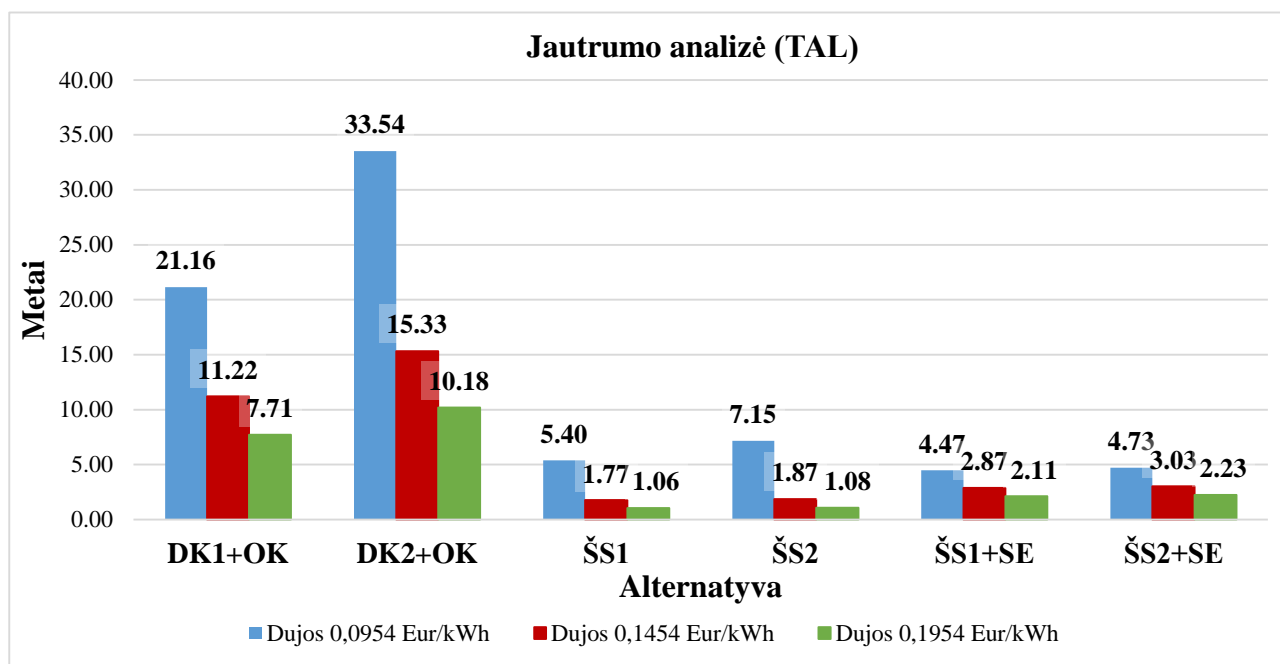
Vertinant šilumos siurblius su saulės elektrinėmis matoma, jog didėjanti dujų kaina lemia tolygų finansų taupymo didėjimą. Pastebėtina, kad pilnai šilumos siurblių energijos poreikius padengianti elektros gamyba lemia maksimalų įmanomą sutaupymą, nes nereikia pirkti elektros iš rinkos.



36 pav. Gamtinių dujų kainos pokyčių įtaka: 1 m² metiniai sutaupymai pagal technologinę alternatyvą

Toliau matoma tikrojo atsipirkimo laiko jautrumo dujų kainos kitimui grafinė priklausomybė (žr. 37 pav.). Pastebima, kad gamtinių dujų tarifui kylant, visoms technologinėms alternatyvoms atsipirkimo laikas trumpėja, nes galima sutaupyti vis daugiau energijos lyginant su sena dujinių katilų technologija. Galima įžvelgti, kad gamtinių dujų kainos sumažėjimas 5 centais lemia didelį tikrojo

atsipirkimo laiko jautrumą. Pavyzdžiui, dujų kainos sumažėjimas DK scenarijams lemia dvigubai, o ŠS2 scenarijui beveik 4 kartus padidėjusį TAL.



37 pav. Gamtinių dujų kainos pokyčių įtaka: 1 m² tikrasis atsipirkimo laikas pagal technologinę alternatyvą

Jautrumo analizė: investicijų pokyčių įtaka

Toliau atliekama jautrumo analizė kintant suminiam pradinių investicijų dydžiui, darant prielaidas technologijų atpigimo bei pabrangimo scenarijams. Atlikus prognozių vertinimą, priimta tirti 3 atskirus scenarijus:

- 1) 10 % investicijų padidėjimą dujiniams katilams [92, 93];
- 2) 20 % investicijų sumažėjimą šilumos siurbliams [94, 95];
- 3) 15 % investicijų sumažėjimą saulės šviesos elektrinėms [96, 97].

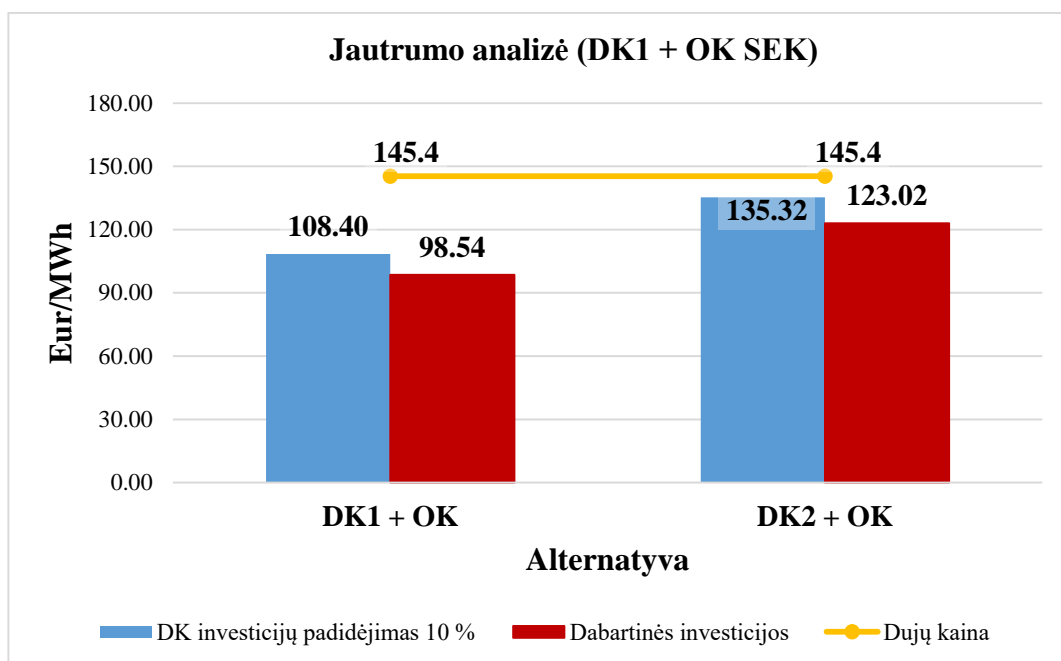
1-ojo scenarijaus skaičiavimų rezultatai pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Investicijų dydžio pokyčių įtaka: DK padidėjimas 10 %

Technologinė alternatyva		DK1 + OK	DK2 + OK
DK investicijų padidėjimas 10 %	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	7,14	9,38
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	68,63	85,67
Dabartinės investicijos	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	11,17	15,24
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	98,04	122,39

Remiantis 15 lentelės duomenimis 38 pav. pateikiamas dujinių katilų + oro kondicionierių alternatyvos sutaupytos energijos kainos priklausomybės nuo investicijų pokyčių grafikas. Kaip galima išvelgti, investicijų pabrangimas lemia SEK priartėjimą prie gamtinių dujų kainos rinkoje.

DK2 + OK scenarijui dėl investicijų pabrangimo 10 % SEK taip pat pabrangsta ~10 %, o dėl šios priežasties skirtumas tarp SEK ir rinkos kainos sumažėja iki ~10 Eur/MWh.

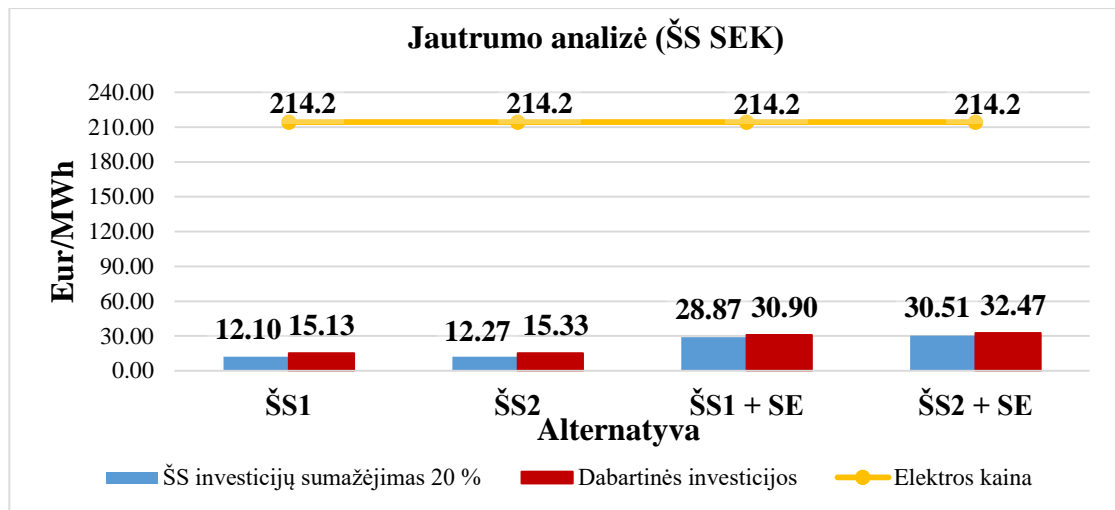


38 pav. Dujinių katilų investicijų pokyčių įtaka: sutaupytos energijos kaina pagal technologinę alternatyvą 2-ojo scenarijaus skaičiavimų rezultatai matomi 16 lentelėje.

16 lentelė. Investicijų dydžio pokyčių įtaka: ŠS sumažėjimas 20 %

Technologinė alternatyva		ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
ŠS investicijų sumažėjimas 20 %	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	1,09	1,17	1,76	1,90
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	9,91	10,14	19,23	20,70
Dabartinės investicijos	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	1,57	1,69	2,57	2,78
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	14,16	14,49	27,47	29,57

Pagal 16 lentelės duomenis sudaromas technologinių alternatyvų, kurių sudedamoji dalis yra ŠS, sutaupytos energijos kainos priklausomybės nuo investicijų pokyčių grafikas (žr. 39 pav.). Pastebima, kad sumažėjusios ŠS investicijos visų alternatyvų atvejais sumažina ir sutaupytos energijos kainą. ŠS + SE atvejais matomas tik 7 % SEK sumažėjimas, o pavienių ŠS atvejais stebimas net 25 % SEK mažėjimas, nes ŠS + SE atvejais ŠS investicijos sudaro tik dalį suminių alternatyvos pradinių investicijų.

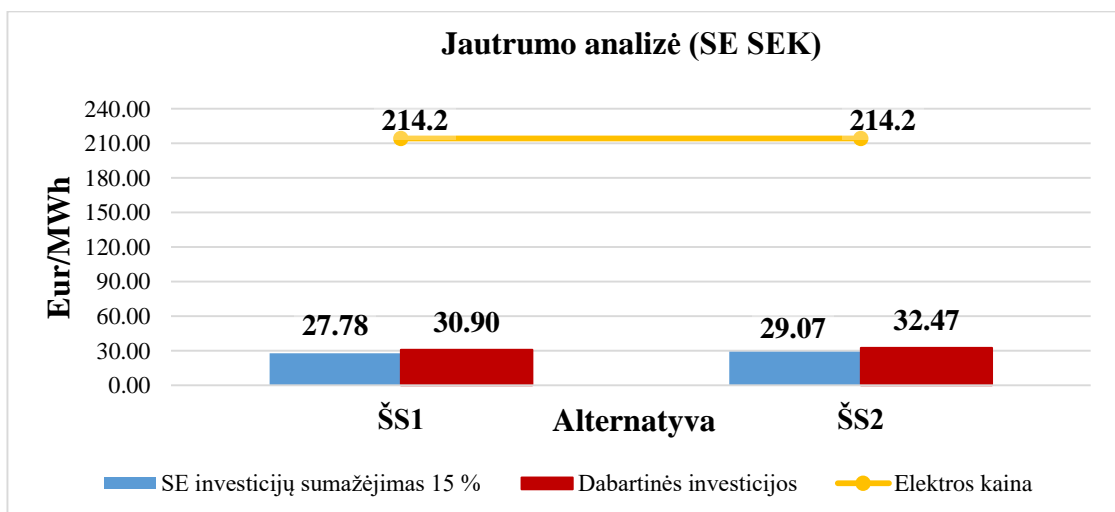


39 pav. Šilumos siurblių investicijų pokyčių įtaka: sutaupytos energijos kaina pagal technologinę alternatyvą 3-iojo scenarijaus skaičiavimų rezultatai pateikiami 17 lentelėje.

17 lentelė. Investicijų dydžio pokyčių įtaka: SE sumažėjimas 15 %

Technologinė alternatyva		ŠS1 + SE	ŠS2 + SE
SE investicijų sumažėjimas 15 %	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	1,76	1,90
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	19,23	20,70
Dabartinės investicijos	Tikrasis atsipirkimo laikas TAL, metai	2,57	2,78
	Sutaupytos energijos kaina SEK, Eur/MWh	27,47	29,57

SEK priklausomybės nuo saulės šviesos elektrinių investicijų pokyčių grafikas pateikiamas 40 pav. Galima pažymėti, kad SE investicijų sumažėjimo 10 % scenarijumi SEK reikšmė nukrenta daugiau nei 10 %. Visgi, kaip ir ŠS investicijų atpigimo scenarijaus atveju, tai neturi didelės reikšmės SEK lyginimo su elektros kaina rezultatams, nes visais tirtais atvejais ŠS savo sudėtyje turinčių technologinių alternatyvų įdiegimas laikomas ekonomiškai efektyviu.



40 pav. Saulės elektrinės investicijų pokyčių įtaka: sutaupytos energijos kaina pagal technologinę alternatyvą

Išvados

1. Išnagrinėjus energetikos krizės problematiką Europos Sąjungoje ir Lietuvoje, nustatyta, kad svarbiausios priežastys, lėmusios krizės pradžią, buvo COVID-19 pandemija ir Rusijos Federacijos sukeltas karas Ukrainoje. Dėl šių faktorių ES iškilo energetinio saugumo svarba, prie kurios stipriai prisideda tokios priemonės kaip energijos vartojimo efektyvumas, taupymas bei atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas.
2. Išanalizavus energijos vartojimo efektyvumo didinimo gaires ir rekomendacijas, didžiausias potencialas pastebėtas pastatuose šildymo sistemas modernizuojant iš dujinių katilų į šilumos siurblius, turinčius ir vėsinimo funkciją, arba bent keičiant į efektyvesnius kondensacinius katilus. Įvertinta, kad kondensacinių katilų diegimas gali sumažinti dujų suvartojimą iki 10 %. Siejant energinį efektyvumą su AEI, matoma nauda naujas šilumos siurblių sistemas kombinuoti su saulės šviesos elektrinėmis, nes toks derinys sumažintų bent 40 % energijos kainos, lyginant su įprasto dujinio katilo naudojimu.
3. Dėl potencialo decentralizuotas katilų šildymo ir oro kondicionavimo sistemas pastatuose modernizuoti energiška ir ekonomiškai efektyvesnėmis, kaip tyrimo objektas pasirinktas didelio ploto (1600 m²) D energinės klasės administracinis pastatas. Numatyta vertinti ŠS, naudojančių rinkos elektrą, ir ŠS su SE diegimo scenarijus bei efektyvesnių kondensacinių DK su jau esamu oro kondicionieriaus naudojimu. Energetiniam ir technologiniam vertinimui suplanuota atsižvelgti į faktinę naudojamą galią, metinį kuro suvartojimą, pastato naudingumo klasę ir plotą. Ekonominiam efektyvumui nustatyti numatyta skaičiuoti sutaupytos energijos kiekio, atsipirkimo laikų, sutaupytos energijos kainos (SEK), operacinių išlaidų (OPEX), grynosios dabartinės vertės (GDV) ir vidinės grąžos normos (VGN) rodiklius.
4. Ištirta, kad ŠS oras – vanduo diegimas tirtam pastatui leistų sutaupyti iki 67 % energijos per metus. ŠS atvejais sutaupytos energijos kaina buvo 14 kartų mažesnė už elektros energijos kainą, todėl šios alternatyvos laikomos itin efektyviomis ekonomiškai. Nepaisant to, kad DK pradinės investicijos mažesnės, dėl bent 3 kartus didesnio efektyvumo koeficiento ŠS atvejais paprastas atsipirkimo laikas vidutiniškai buvo 1,7 metų – net 5,5 kartus trumpesnis nei naujų DK scenarijais. Tuomet ŠS su SE scenarijams sutaupytos energijos kaina gauta dvigubai brangesnė nei ŠS scenarijams, nes ŠS atveju fiksuotos trečdaliu mažesnės investicijos. Taip pat apskaičiuota, kad ŠS1 derinimo su SE atveju VGN buvo 54,34 %, o GDV aukščiausia iš visų scenarijų – tai parodė didžiausią patrauklumą investicijoms. Taigi, administracinė paskirtis ir didelis patalpų plotas lėmė nedidelį tirtu pastato šildymo poreikį, o tai padarė reikšmingą įtaką dideliu oras – vanduo ŠS su SE diegimo efektyvumui energiniu ir ekonominiu aspektais. Dėl šių priežasčių tikslinga į vieningą pastatų duomenų bazę integruoti techninę – ekonominę skaičiuoklę, siekiant vertinti būtent šilumos siurblių ir saulės šviesos elektrinių diegimo į Lietuvos pastatus scenarijus technologiniu ir ekonominiu aspektais.
5. Jautrumo analizės metu pastebėtas didelis metinių sutaupymų ir tikrojo atsipirkimo laiko jautrumas gamtinių dujų kainos pokyčiams. Dujų kainos atpigimo scenarijus rodo, kad naujų DK alternatyvoms atsipirkimo laikas pailgėjo dvigubai, o ŠS – beveik 4 kartus. Tuomet diskonto normos didėjimo iki 6,5 % ir investicijų DK technologijoms didėjimo 10 % atvejais DK scenarijų analizė artėjo prie ekonominio neefektyvumo išvados – DK2 atveju SEK buvo tik 5 % mažesnė už dujų rinkos kainą. Vertinant ŠS ir ŠS su SE derinių SEK, jautrumo analizė neparodė reikšmingo šių alternatyvų ekonominio efektyvumo mažėjimo. Taigi, siekiant tiksliau atlikti šildymo ir vėsinimo sistemų diegimo į pastatus ekonominį vertinimą ateičiai, reikšminga įtraukti jautrumo analizę diskonto normos, rinkos energijos kainos ir pradinių investicijų pokyčiams.

Literatūros sąrašas

1. FARGHALI, Mohamed, et al. Strategies to save energy in the context of the energy crisis: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2023, 1-37 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per:
2. GATTO, Andrea. The energy futures we want: A research and policy agenda for energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 2022, 89: 102639 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629622001438>
3. MIŠÍK, Matúš. The EU needs to improve its external energy security. *Energy Policy*, 2022, 165: 112930 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421522001550>
4. PIANTA, Silvia, et al. Faster or slower decarbonization? Policymaker and stakeholder expectations on the effect of the COVID-19 pandemic on the global energy transition. *Energy Research & Social Science*, 2021, 76: 102025 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621001183>
5. PHILLIPS, JULIET. THE ENERGY BILLS CRISIS A GREEN, FAIR & RESILIENT RESPONSE, 2022 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep39508.pdf>
6. KALKUHL, Matthias, et al. Effects of the Energy Price Crisis on Households in Germany. 2022 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2022_MCC_Effects_of_the_energy_price_crisis_on_households.pdf
7. SADIK-ZADA, Elkhana Richard; GATTO, Andrea. Energy security pathways in South East Europe: Diversification of the natural gas supplies, energy transition, and energy futures. From Economic to Energy Transition: Three Decades of Transitions in Central and Eastern Europe, 2021, 491-514 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-55085-1_17
8. HAINSCH, Karlo, et al. Energy transition scenarios: What policies, societal attitudes, and technology developments will realize the EU Green Deal? *Energy*, 2022, 239: 122067 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422102315X>
9. European Commission. Energy and the Green Deal, 2020 [žiūrėta 2023-05-10]. Prieiga per: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_en
10. ZAKERI, Behnam, et al. Pandemic, War, and Global Energy Transitions. *Energies*, 2022, 15.17: 6114 [žiūrėta 2023-05-08]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/17/6114>
11. JIANG, Peng, et al. Spatial-temporal potential exposure risk analytics and urban sustainability impacts related to COVID-19 mitigation: A perspective from car mobility behaviour. *Journal of cleaner production*, 2021, 279: 123673 [žiūrėta 2023-05-10]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620337185>
12. JIANG, Peng; VAN FAN, Yee; KLEMESŠ, Jiří Jaromír. Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities. *Applied energy*, 2021, 285: 116441 [žiūrėta 2023-05-10]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192100009X>
13. MATHIESEN, Brian Vad, et al. REPowerEU and Fitfor55 science-based policy recommendations for achieving the Energy Efficiency First Principle, 2022 [žiūrėta 2023-

- 05-10]. Prieiga per: <https://vbn.aau.dk/en/publications/repowereu-and-fitfor55-science-based-policy-recommendations-for-a>
14. Lietuvos energetikos agentūros energijos vartojimo efektyvumo didinimo kompetencijų centras. Energijos taupymo gairės, 2022 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://www.ena.lt/uploads/PDF-EVE/Energijos-taupymo-gaires-2022-09-16.pdf>
 15. Europos Sąjungos oficialusis leidinys. Sutarties dėl Europos Sąjungos veikimo suvestinė redakcija, 2012 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:12012E/TXT:LT:PDF>
 16. Europos parlamentas, Matteo Ciucci. Fakų apie Europos Sąjungą suvestinės, 2023 [žiūrėta 2023-06]. Prieiga per: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/lt/FTU_2.4.8.pdf
 17. European Commission. Communication from the Commission, Clean Energy For All Europeans, 2016 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2016:0860:FIN>
 18. European Commission. Long-term renovation strategies, 2020 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/long-term-renovation-strategies_en
 19. Europos Komisija, Generalinis sekretoriatas. KOMISIJOS KOMUNIKATAS EUROPOS PARLAMENTUI, EUROPOS VADOVŲ TARYBAI, TARYBAI, EUROPOS EKONOMIKOS IR SOCIALINIŲ REIKALŲ KOMITETUI IR REGIONŲ KOMITETUI. Planas „REPowerEU“, 2022 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:52022DC0230>
 20. Europos Parlamentas, Europos Sąjungos Taryba. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2018/2002, kuria iš dalies keičiama Direktyva 2012/27/ES dėl energijos vartojimo efektyvumo, 2018 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32018L2002>
 21. Europos Komisija, Energetikos generalinis direktoratas. Pasiūlymas EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA dėl energijos vartojimo efektyvumo (nauja redakcija), 2021 [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:52021PC0558>
 22. Lietuvos energetikos agentūra. tausOK [žiūrėta 2023-06-11]. Prieiga per: <https://www.ena.lt/tausok/>
 23. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. NUTARIMAS DĖL NACIONALINĖS ENERGETINĖS NEPRIKLAUSOMYBĖS STRATEGIJOS PATVIRTINIMO, 2018 [žiūrėta 2023-06-11]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E151BC09AE62/asr>
 24. Eurostat, Statistics explained. Energy intensity, 2023 [žiūrėta 2023-06-11]. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Energy_intensity
 25. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, energija Lietuvos ateičiai, 2018 [žiūrėta 2023-06-11]. Prieiga per: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf
 26. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Parengta Lietuvos šilumos ir vėsumos potencialo įvertinimo studija, 2022 [žiūrėta 2024-04-15]. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/parengta-lietuvos-silumos-ir-vesumos-potencialo-ivertinimo-studija/>

27. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, Vilnius economics UAB, Išsamaus nacionalinio šilumos ir vėsumos potencialo įvertinimo studija, 2022 [žiūrėta 2024-04-16]. Prieiga per: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/HeatMap_1128.pdf
28. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. Ilgalaikė renovacijos strategija, 2021 [žiūrėta 2024-04-15]. Prieiga per: https://energy.ec.europa.eu/document/download/73c46aa7-03bf-40ca-aeed-4831890a3ecd_en?filename=lt_2020_ltrs.pdf
29. ESO, „Ignitis grupė“, „Ignitis“ ir „Ignitis gamyba“ su Energetikos ministerija pasirašė energijos vartotojų švietimo ir konsultavimo susitarimą, 2020 [žiūrėta 2024-04-16]. Prieiga per: <https://www.eso.lt/lt/ziniasklaida/eso-ignitis-grupe-ignitis-ir-ignitis-gamyba-v8uy.html>
30. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. Kaip taupyti šilumą? Energijos vartojimo efektyvumas, 2023 [žiūrėta 2024-04-17]. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritis-3/energijos-vartojimo-efektyvumas/kaip-taupyti-siluma>
31. Ignitis. Energetinis efektyvumas jūsų verslui [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/energetinis-efektyvumas-verslui>
32. Ignitis gamyba. Patarimai šilumos energijos ir dujų vartotojams [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://www.ignitisingamyba.lt/atsakingas-verslas/energijos-vartojimo-efektyvumas/patarimai-silumos-energijos-ir-duju-vartotojams/4545>
33. LEONZIO, Grazia; FENNELL, Paul S.; SHAH, Nilay. Air-source heat pumps for water heating at a high temperature: State of the art. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022, 54: 102866 [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138822009146>
34. GAUR, Ankita Singh; FITIWI, Desta Z.; CURTIS, John. Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. Energy Research & Social Science, 2021, 71: 101764 [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221462962030339X>
35. MITTERRUTZNER, Benjamin, et al. Review of heating and cooling technologies for buildings: A techno-economic case study of eleven European countries. Energy, 2023, 129252 [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223026464>
36. NAUMANN, Gabriel; SCHROPP, Elke; GADERER, Matthias. Life cycle assessment of an air-source heat pump and a condensing gas boiler using an attributional and a consequential approach. Procedia CIRP, 2022, 105: 351-356 [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122000580>
37. SEVINDIK, Selman, et al. A comparative environmental assessment of heat pumps and gas boilers towards a circular economy in the UK. Energies, 2021, 14.11: 3027 [žiūrėta 2024-04-18]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/11/3027>
38. KUL, Onder; UĞURAL, Mehmet Nurettin. Comparative Economic and Experimental Assessment of Air Source Heat Pump and Gas-fired boiler: A Case Study from Turkey. Sustainability, 2022, 14.21: 14298 [žiūrėta 2024-04-19]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14298>
39. BELLOS, Evangelos, et al. Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems. Energy conversion and management, 2016, 120: 306-319 [žiūrėta 2024-04-19]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416303703>
40. WANG, Xinru, et al. A systematic review of recent air source heat pump (ASHP) systems assisted by solar thermal, photovoltaic and photovoltaic/thermal sources. Renewable Energy,

- 2020, 146: 2472-2487 [žiūrėta 2024-04-19]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119312832>
41. MOHAMMADPOURKARBASI, Haniyeh; SHARPLES, Steve. Appraising the life cycle costs of heating alternatives for an affordable low carbon retirement development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2022, 49: 101693 [žiūrėta 2024-04-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821007074>
 42. ZATOR, Sławomir; SKOMUDEK, Waldemar. Impact of DSM on energy management in a single-family house with a heat pump and photovoltaic installation. *Energies*, 2020, 13.20: 5476 [žiūrėta 2024-04-20]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/20/5476>
 43. TEMORI, Mohammad Omar; VRANAY, František. Heat pump systems: A mini review. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 2021, 4.2: 73-81 [žiūrėta 2024-04-20]. Prieiga per: <https://ijirss.com/index.php/ijirss/article/view/59>
 44. LAZZARIN, R. Heat pumps and solar energy: A review with some insights in the future. *International journal of refrigeration*, 2020, 116: 146-160 [žiūrėta 2024-04-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700720301468>
 45. ČIUPRINSKIENĖ, Jolanta; ČIUPRINSKAS, Kęstutis; MOTUZIENĖ, Violeta. Šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas: teorija ir praktika. 2019 [žiūrėta 2023-04-21]. Prieiga per: <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/123892>
 46. Lietuvos energetikos agentūra. Į ką reikia atkreipti dėmesį renkantis šilumos siurblių? 2022 [žiūrėta 2023-04-17]. Prieiga per: https://www.ena.lt/uploads/images/Silumsiuurbliai/Silumos-siuurbliai_2022-09-29.pdf
 47. Linquip Team. How Does a Heat Pump Work? 2023 [žiūrėta 2024-04-17]. Prieiga per: <https://www.linquip.com/blog/how-does-a-heat-pump-work/>
 48. Statybos sektoriaus vystymo agentūra. Pastatų duomenų banko informacinės sistemos projekto santrauka, versija 2.0 2023 [žiūrėta 2024-04-21]. Prieiga per: https://pirkimai.eviesieji.pirkimai.lt/app/rfq/publicpurchase_docs.asp?PID=725878
 49. Valstybinė teritorijų planavimo ir statybos inspekcija prie Aplinkos ministerijos. Pastatų duomenų bankas, 2024 [žiūrėta 2024-04-21]. Prieiga per: <https://vtpsi.lrv.lt/lt/administracine-informacija/vykdomi-projektai/pastatu-duomenu-bankas/>
 50. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Dėl Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2013 m. kovo 26 d. įsakymo Nr. 1-67 „Dėl metodikų patvirtinimo“ pakeitimo, 2020 [žiūrėta 2024-01-20]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/490fb7f0ff6811eab72ddb4a109da1b5>
 51. Europos Sąjungos oficialusis leidinys, EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA (ES) 2018/844, 2018 [žiūrėta 2024-01-20]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0844#d1e1014-75-1>
 52. Šildymo projektai. Energijos poreikio ir kaštų skaičiuoklė, energijos poreikis šildymui ir karštam vandeniui ruošti, 2024 [žiūrėta 2024-04-22]. Prieiga per: <https://www.sildymoprojektai.lt/skaiciuokles/sildymo-kastu-skaiciuokle/>
 53. Liiva. Electricity consumption of heat pumps: A little ABC, 2022 [žiūrėta 2024-04-22]. Prieiga per: <https://www.liiva.ch/en/content-hub/articles/stromverbrauch-waermepumpe>
 54. O'DONOVAN, Adam; O'SULLIVAN, Paul. In-Use Performance of Air-to-Water Heat Pumps: are the Standards robust?. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2021. p. 06002 [žiūrėta 2024-04-23]. Prieiga per: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/22/e3sconf_hvac2021_06002/e3sconf_hvac2021_06002.html

55. Ignitis. Ar apsimoka įsirengti saulės elektrinę? 2021 [žiūrėta 2024-04-23]. Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/naujienos/ar-apsimoka-isirengti-saules-elektrine>
56. Elektrum. Kiek elektros energijos pagamina 10 kW saulės elektrinė? [žiūrėta 2024-04-23]. Prieiga per: <https://www.elektrum.lt/lt/namams/naujienos/naujienos/kiek-elektros-energijos-pagamina-10-kw-saules-elektrine>
57. FERNÁNDEZ-CHELIZ, Diego, et al. Energy Performance Optimization in a Condensing Boiler. Environmental Sciences Proceedings, 2021, 9.1: 6 [žiūrėta 2024-04-23]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2673-4931/9/1/6>
58. AQUA JAZZ. Straipsniai, Kaip pasirinkti tinkamą dujų katilą? 2023 [žiūrėta 2024-04-23]. Prieiga per: <https://www.e-aquajazz.lt/straipsniai/kaip-pasirinkti-tinkama-dujini-katila>
59. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Europos parlamento ir tarybos direktyvos 2012/27/es dėl energijos vartojimo efektyvumo, kuria iš dalies keičiamos direktyvos 2009/125/eb ir 2010/30/es bei kuria panaikinamos direktyvos 2004/8/eb ir 2006/32/eb, ir Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimo „Dėl energijos išteklių ir energijos efektyvaus vartojimo stebėsenos tvarkos patvirtinimo“ projekto atitikties lentelė, 2016 [žiūrėta 2024-04-23]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAK/5d2d4fb0e5da11e59b76f36d7fa634f8?positionInSearchResults=9&searchModelUUID=662468f4-e3db-4251-8d18-c24c093d0beb>
60. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Dėl Išsamiojo energijos, energijos išteklių vartojimo audito atlikimo pastatuose metodikos patvirtinimo, 2023 [žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/7d6d8b51cf3911ed9b3c9397e1236c2a?positionInSearchResults=0&searchModelUUID=8435bd63-6248-4c81-b4ad-c0e361123564>
61. Martinaitis, Vytautas; Rogoža, Artur; Šiupšinskas, Giedrius, VGTU. Energijos vartojimo pastatuose auditas. Vadovėlis, 2012 [žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: <https://www.ena.lt/uploads/PDF-EVE/Energijos-vartojimo-pastatuose-auditas-VGTU.pdf>
62. Tan, Qixuan Chen, Yijun Wang, Xingyan Zeng, Zexin. Studies on the Modifications and Applications of the Net Present Value and Internal Rate of Return. 10.2991/978-2-494069-31-2_117, 2022 [žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/368486060_Studies_on_the_Modifications_and_Applications_of_the_Net_Present_Value_and_Internal_Rate_of_Return
63. Banton, Caroline; Scott, Gordon. Money-Weighted Rate of Return: Definition, Formula, and Example, 2023 [žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: <https://www.investopedia.com/terms/m/money-weighted-return.asp>
64. Martinaitis, Vytautas; VGTU Šildymo ir vėdinimo katedra. Pastatų atnaujinimo energetinis efektyvumas, 2017 [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga per: https://www.lsta.lt/files/events/2_v.martinaitis.pdf
65. Finansistas. WACC, Finansų analizė [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga per: <https://www.finansistas.net/wacc.html>
66. Tarptautinė vertinimo standartų taryba. Diskontuoti pinigų srautai (diskontuotų pinigų srautų skaičiavimo būdas), 2012 [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga per: <https://www.avnt.lt/assets/Teisine-informacija/Vertinimas/TID1-galutine-versija1.pdf>
67. Commercial Service Heating Cooling Plumbing. SEER and the Federal Standards for Air Conditioning Efficiency, 2020 [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga per: <https://www.commercialservice.com/blogs/new-federal-standards-for-air-conditioning-efficiency>

68. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Lietuvos klimatas, standartinė klimato norma SKN, 2020 [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga per: <https://www.meteo.lt/klimatas/lietuvos-klimatas/skn/>
69. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Dėl šilumos tiekimo tinklų ir šilumos punktų įrengimo taisyklių patvirtinimo, 2011 [žiūrėta 2024-04-25]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.402279?jfwid=1a9xggoxnj>
70. NORDIS. OPTIMUS PRO Split, Technical Data, 2023 [žiūrėta 2024-04-26]. Prieiga per: <https://nordis-ac.com/product/optimus-pro-split/#technical-data>
71. HITACHI. Šilumos siurblys oras – vanduo Yutaki S 2, 2021 [žiūrėta 2024-04-27]. Prieiga per: <https://www.hitachisiurbliai.lt/wp-content/uploads/2021/08/Hitachi-Yutaki-S-silumos-siurbliai-oras-vanduo-UAB-Elmitra.pdf>
72. Oro spektras, klimato sprendimai. NØRDIS OPTIMUS PRO Split oras-vanduo šilumos siurblys 16kw HOP16WODU3 + HOP160WIDU3, žiūrėta [2024-04-27]. Prieiga per: <https://www.orospektras.lt/produktas/nordis-optimus-pro-split-oras-vanduo-silumos-siurblys-be-kvr-talpos-16kw-hop16wodu3-hop160widu3/>
73. ITEA Solutions. Hitachi Yutaki S 10 Oras-vanduo šilumos siurblys 24 kW, 2021 [žiūrėta 2024-04-27]. Prieiga per: <https://iteasolutions.lt/produktas/hitachi-yutaki-s-10-oras-vanduo-silumos-siurblys-24-kw-be-integruoto-vandens-sildytuvo/>
74. SoliTek. BlackStar 108 cell SOLID Framed full black glass, datasheet, 2024 [žiūrėta 2024-04-27]. Prieiga per: https://www.solitek.eu/storage/app/media/atsisiuntimai/2024/0118/BLACKSTAR_B108_420W_EN_compressed.pdf
75. VIESSMANN. Vitodens 200-W sieninis dujinis kondensacinis katilas, duomenų lapas, 2024 [žiūrėta 2024-04-28]. Prieiga per: <https://www.viessmann.lt/lt/produktai/dujinis-sildymas/vitodens-200-w.html>
76. Bosch, Homecomfort. Dujinis kondensacinis katilas Condens 7000 WP, Techniniai duomenys ir dokumentai, 2024 [žiūrėta 2024-04-29]. Prieiga per: <https://www.bosch-homecomfort.com/lt/lt/ocs/buitinis/condens-7000-wp-19606729-p/>
77. Šildymas Jums. Dujinis kondensacinis katilas VIESSMANN Vitodens 200-W 99 kW su Vitotronic-200 šildymas, karšto vandens ruošimas [žiūrėta 2024-04-28]. Prieiga per: <https://www.sildymasjums.lt/dujiniai-katilai/dujinis-kondensacinis-katilas-viessmann-vitodens-200-w-99-kw-su-vitotronic-200-sildymas-karto-vandens-ruosimas-jungiant-prie-turinio-vandens-sildytuvo-b2hai44>
78. Šildymas Jums. Dujinis kondensacinis katilas Bosch Condens 7000 WP 100 kW GC7000WP su tūriniu vandens šildytuvu 7 736 702 314 [žiūrėta 2024-04-28]. Prieiga per: <https://www.sildymasjums.lt/dujinis-kondensacinis-katilas-bosch-condens-7000-wp-100-kw-gc7000wp-montuojamas-su-turiniu-vandens-sildytuvu-7-736-702-314>
79. Šildymo paslaugos. Dujinio katilo pajungimas, darbų kaina, 2023 [žiūrėta 2024-04-29]. Prieiga per: <https://www.sildymopaslaugos.lt/straipsniai/katilo-pajungimas/>
80. Vandoras. Dujinio katilo pajungimas: kaina, 2024 [žiūrėta 2024-04-30]. Prieiga per: <https://vandoras.lt/dujinio-katilo-pajungimas-kaina>
81. Vandoras. Šilumos siurbliai oras – vanduo: montavimas ir pardavimas, 2024 [žiūrėta 2024-04-30]. Prieiga per: <https://vandoras.lt/silumos-siurbliai-oras-vanduo>
82. GlobeNewswire. AB Ignitis grupė, Dėl patvirtinto elektros ir gamtinių dujų investicijų grąžos lygio 2024 m., 2023 [žiūrėta 2024-05-02]. Prieiga per: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/08/17/2727273/0/lt/Regarding-the-approved-electricity-and-natural-gas-WACC-for-2024.html>

83. Valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba. Vidutinės elektros energijos kainos nuo 2024 m. sausio 1 d. iki kovo 31 d., 2024 [žiūrėta 2024-05-02]. Prieiga per: <https://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/vidutines-visuomenines-elektros-energijos-kainos-nuo-2024-m-sausio-1.aspx>
84. Eurostat. Energy statistics - natural gas and electricity prices (from 2007 onwards), 2024 [žiūrėta 2024-05-02]. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_202/default/table?lang=en
85. KHATIBI, Masoud; RABIEE, Abbas; BAGHERI, Amir. Integrated Electricity and Gas Systems Planning: New Opportunities, and a Detailed Assessment of Relevant Issues. Sustainability, 2023, 15.8: 6602 [žiūrėta 2024-05-04]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/8/6602>
86. MICHAELIDES, Efstathios E. Decarbonization of the electricity generation sector and its effects on sustainability goals. Sustainable Energy Research, 2023, 10.1: 10 [žiūrėta 2024-05-05]. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40807-023-00080-1>
87. IEA, Paris. The Cost of Capital in Clean Energy Transitions, CC BY 4.0, 2021 [žiūrėta 2024-05-05]. Prieiga per: <https://www.iea.org/articles/the-cost-of-capital-in-clean-energy-transitions>
88. Ener data. Lithuania Energy Information, World Energy Information, 2022 [žiūrėta 2024-05-06]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/lithuania/>
89. CEIC. Lithuania Electricity Price: by Annual Consumption, 2024 [žiūrėta 2024-05-06]. Prieiga per: <https://www.ceicdata.com/en/lithuania/electricity-price-by-annual-consumption>
90. IEA, Paris. Gas Market Report, Q2-2024, Executive summary, CC BY 4.0, 2024 [žiūrėta 2024-05-08]. Prieiga per: <https://prod.iea.org/reports/gas-market-report-q2-2024/executive-summary>
91. IEA, Paris. Gas Market Report, Q2-2023, 2023 [žiūrėta 2024-05-08]. Prieiga per: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6f2f0dcc-72af-4c01-bcc7-fbfe690ab521/GasMarketReportQ22023.pdf>
92. GMI, Global Market Insights. Europe Boiler Market, 2023 [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga per: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/europe-boiler-market>
93. IEA, Paris. Never Too Early to Prepare for Next Winter, CC BY 4.0, 2022 [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/never-too-early-to-prepare-for-next-winter>
94. RFF, Resources for the Future; RAIMI, Daniel; ZHU, Yuqi; NEWELL, Richard G; PREST; Brian C. Global Energy Outlook 2024: Peaks or Plateaus? Report, 2024 [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga per: https://media.rff.org/documents/Report_24-06.pdf
95. EMBER; BROWN, Sarah; JONES, Dave. European Electricity Review 2024, 2024 [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga per: <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2024/>
96. IEA, Paris. Renewable Energy Market Update – June 2023, Executive summary, 2023 [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-june-2023/executive-summary>
97. SolarPower Europe. EU Market Outlook for Solar Power 2022-2026, 2022 [žiūrėta 2024-05-10]. Prieiga per: <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/eu-market-outlook-for-solar-power-2022-2026-2>

Priedai

1 priedas. Šilumos sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos tikrinimo ataskaitos šablonas [50]

1. Šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos duomenys	
Naudotojas ir jo adresas	
Pastato, kuriame įrengta šildymo sistema ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistema, adresas ir unikalus numeris	
Pastato kategorija pagal naudojimo paskirtį (Pastatuose įrengtų šildymo sistemų ir kombinuotųjų šildymo ir vėdinimo sistemų, kurių vardinė atiduodamoji galia didesnė kaip 70 kW, energinio efektyvumo tikrinimo metodikos)	
Pastato aukštis ir aukštingumas	
Pastato amžius ir būklė	
Pastato bendrasis ir šildomasis plotai ir (arba) tūriai	
Projektinė (skaičiuojamoji) išorės temperatūra	
Pastato išorinių atitvarų šiluminės izoliacijos tipas ir būklė	
Pastato planai (yra ar nėra)	
Šildomųjų patalpų ir skirtingų šildymo režimų zonų sąrašas, jų plotai ir (arba) tūriai	
Patalpų naudojimo būdas bei trukmė	
Šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos įrengimo ir rekonstrukcijos datos	
Pastato statybos užbaigimo ir (arba) šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos tinkamumo naudoti pripažinimo dokumentai (yra ar nėra)	
Šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos projektas (yra ar nėra)	
Prijungti įrenginiai (karšto vandens ruošimo įrenginiai, vonios, šildytuvai, kt.)	
Prijungtų kitų pastatų šildymo sistemų ir kombinuotųjų šildymo ir vėdinimo sistemų duomenys	
Reguliavimo sistemos tipas, įrengti elementai ir jų nustatymas	
Funkcinė diagrama (šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos) dalių funkciniai ryšiai grafine forma) (yra ar nėra)	
Pagamintos šilumos sistemoje ir šildymo ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemoje sunaudotos elektros apskaita	
Atitiktis projektui	
Elektroninė stebėsenos ir kontrolės sistema (įrengta ar ne) ir joje registruojamų veikimo parametrų sąrašas (jei įrengta)	
Naudotojo pateiktas šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos įvertinimas	
2. Veikimas ir priežiūra	
Funkcionalumo patikrinimas	
Techninė priežiūra	
3. Kuro ir elektros naudojimas	
Suminis kuro sunaudojimas per metus	
Kuro sunaudojimas šildymui ir vėdinimui	
Kuro sunaudojimas karštam vandeniui ruošti	
Kuro sunaudojimas kitiems poreikiams	
Kuro sunaudojimo analogiško tipo pastatams šildyti ir vėdinti vidutinės ribinės vertės	

Kuro sunaudojimo šildymui ir vėdinimui projektinės vertės	
Elektros sunaudojimas generavimo, paskirstymo ir reguliavimo sistemose	
4. Šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos prietaisai	
Šildymo prietaisų tipas	
Šildymo prietaisų skaičius	
Šildymo prietaisų išdėstymas	
Šildymo prietaisų prijungimo tipas	
Vėdinimo prietaisų tipas	
Vėdinimo prietaisų skaičius	
Vėdinimo prietaisų išdėstymas	
Vėdinimo prietaisų prijungimo tipas	
5. Šildymo sistemos ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos prietaisų reguliavimo sistema	
Vietinio reguliavimo tipas (rankinis, zoninis, patalpos)	
Centrinio reguliavimo tipas (nėra, pagal išorės temperatūrą)	
Laiko nustatymo reguliavimo tipas (nėra, fiksuoto laiko grafikas, pagrįstas pastato arba patalpų naudojimu)	
Naudotojui prieinamų reguliatorių sąrašas	
Instrukcijos naudotojui (yra, jų tinkamumas, ar nėra)	
6. Šilumos ir kombinuotojo šildymo ir vėdinimo paskirstymo sistema	
Paskirstymo sistemos tipas	
Vamzdynų tipas	
Kontūro tipas (atvirasis ar uždarasis)	
Cirkuliacinių kontūrų sąrašas	
Cirkuliacijos tipas (natūralioji ar priverstinė)	
Cirkuliacinių siurblių tipas	
Cirkuliacinių siurblių galia	
Vėdinimo sistemos tipas	
Ortakių tipas	
Vėdinimo sistemų sąrašas	
Ventiliatorių tipas	
Ventiliatorių galia	
Oro ruošimo įrenginio tipas	
Tiekiamo ir šalinamo oro difuzoriai/skirstytuvai	
Nesubalansuotumo požymiai	
7. Šilumos generavimo sistema	
Naudojamų katilų ar kitų šilumos generatorių skaičius	
Suminė įrengtoji vardinė atiduodamoji galia	
Naudojamo kuro tipai ir rūšys	
Generavimo reguliavimo tipas	
Hidraulinio kontūro funkcinė diagrama	
Rezervinių katilų skaičius	
Kitų generavimo posistemų tipas	
8. Šildymo katilas ar kitas šilumos generatorius	
Paskirtis (šildymas ir (arba) karšto vandens ruošimas)	
Pavadinimas (katilas, šilumos siurblys ar kt.)	
Gamintojas	
Modelis, serijos Nr.	
Katilo tipas (kondensacinis ar nekondensacinis)	
Pagaminimo, įrengimo ir eksploatacijos pradžios datos	
Mažiausia vardinė atiduodamoji galia	
Didžiausia vardinė atiduodamoji galia	

Šiluminio naudingumo koeficientas ir dydis palyginti su pastato šildymo poreikiais							
CE ženklas (yra ar nėra paženklintas)							
Naudojamo kuro tipas ir rūšys							
Kietojo kuro tiekimo į katilą būdas							
Degiklio gamintojas ir modelis							
Degiklio galios reguliavimo tipas ir ribos							
Gamintojo deklaruojamas sunaudojamo kuro kiekis							
Galios moduliavimo tipas							
Galios reguliavimas ir ribos							
Esama katilo dokumentacija							
Apžiūros rezultatai							
Techninė priežiūra							
Katilo veikimo bandymas							
Katilo reguliatoriai, jutikliai, indikatoriai							
Katilo reguliatorių patikra							
9. Duomenys apie kuro naudojimą							
Dujinio arba skystojo kuro skaitiklis							
Degiklio laiko skaičiuoklis							
Kiti metodai (nurodyti)							
Kietojo kuro kiekis							
Šildymo katilo darbo laiko skaičiuoklis							
Kiti metodai (nurodyti)							
10. Šildymo katilo bazinis režimas							
Faktinis galios nustatymas							
mažiausia:			didžiausia:			šaltinis:	
O ₂	CO	Kietosios dalelės	Išmetamų dujų/degimo produktų temperatūra	Aplinkos oro temperatūra	Vandens temperatūra	Degimo efektyvumas	Sąlygos
proc.	ppm	indeksas	°C	°C	°C	proc.	
							<i>Vardinė apkrova</i>
							<i>Dalinė apkrova</i>
							<i>Ribinės vertės</i>
11. Šildymo katilo ar kito šilumos generatoriaus veikimo režimo nustatymas							
Reguliuojamasis parametras				Faktinis nustatymas		Siūlomas nustatymas	
Šilumnešio šildymo katile temperatūra							
Karšto buitinio vandens temperatūra							
Kiti parametrai (nurodyti)							
12. Šildymo katilo ar kito šilumos generatoriaus galios atitiktis pastato šildymo ir kombinuotojo šildymo ir vėdinimo poreikiams							
Faktinė vidutinė galia šildymui ir kombinuotajam šildymui ir vėdinimui							
Vidutiniai pastato šilumos nuostoliai							
Vidutinė išorės temperatūra							
Projektinė išorės temperatūra							
Išorės temperatūra, kuriai esant pastato šildymo galia lygi nuliui							
Pastato šilumos nuostoliai projektinėmis išorės temperatūros sąlygomis (projektinė šildymo sistemos galia)							
Rekomenduojamo naujo šildymo katilo efektyvumas ir jo galios ribos							
13. Išvados ir rekomendacijos							
Išvados:							

1. Šilumos generavimo sistema _____
(atitinka pastato poreikius ir reikalavimus / neatitinka pastato poreikių bei reikalavimų)

2. Šiluminė izoliacija _____
(atitinka reikalavimus / neatitinka reikalavimų)

3. Šilumos paskirstymo ir kombinuotojo šildymo ir vėdinimo sistema ir jos reguliavimas _____
(atitinka reikalavimus / neatitinka reikalavimų)

4. Šildymo ir kombinuotojo šildymo ir vėdinimo prietaisai ir jų reguliavimas _____
(atitinka reikalavimus / neatitinka reikalavimų)

Rekomendacijos, kaip didinti šildymo ir kombinuotosios šildymo ir vėdinimo sistemos efektyvumą:

15. Kita reikšminga informacija ir pastabos

2 priedas. Oro kondicionavimo ir kombinuotosios kondicionavimo ir vėdinimo sistemos tikrinimo ataskaitos šablonas [50]

1. Bendroji informacija	
Naudotojas ir jo adresas	
Pastato, kuriame įrengta oro kondicionavimo ir kombinuotoji oro kondicionavimo ir vėdinimo sistema, adresas ir unikalus numeris	
Tikrintos oro kondicionavimo ir kombinuotosios oro kondicionavimo ir vėdinimo sistemos pagrindiniai duomenys	
Tikrinta įranga, agregatai, jų įrengimo vietos	
Prijungimas prie elektroninės stebėsenos ir kontrolės sistemos, registruojami parametrai	
Fluorintų šiltnamio efektą sukeliančių dujų naudojimas (naudojama ar nenaudojama)	
2. Tikrinimo rezultatai	
Projekto dokumentacija (yra ar nėra)	
Įrenginių tipų ir kiekio atitiktis nurodytiesiems projekto (atitinka ar neatitinka, tai kas neatitinka)	
Patalpų, kuriose kontroliuojami oro parametrai, pavadinimai arba jų numeriai	
Energijos projektinis suvartojimas	
Energijos faktinis suvartojimas pagal naudotojo ar elektroninės stebėsenos ir kontrolės sistemos užregistruotus duomenis	
Oro ėmimo ir paskirstymo ortakių ir įrangos būklė	
Išmatuoti į patalpas tiekiami oro kiekiai, oro temperatūra ir santykinis drėgnis patalpose. Suminis tiekiamo oro kiekis	
Ventiliatoriaus(-ių) savitosios galios atitiktis statybos techninio reglamento reikalavimams	
Šaldymo įrangos tikrinimo rezultatai, jos galios atitiktis pastato vėsinimo poreikiams	
Kondicionavimo ir kombinuotosios oro kondicionavimo ir vėdinimo sistemos valdymo ir reguliavimo įrangos bei reguliavimo parametrų tikrinimo rezultatai	
Atliktų matavimų ir skaičiavimų aprašas	
Energijos suminis suvartojimas ir energijos vartojimo efektyvumas	
Oro kondicionavimo ir kombinuotosios oro kondicionavimo ir vėdinimo sistemos naudingumo koeficientas ir dydis, palyginti su pastato vėsinimo poreikiais	
Fluorintų dujų nuotėkio įvertinimas	
Galutiniai rezultatai	
3. Išvados ir rekomendacijos	
Išvada. Kondicionavimo ir kombinuotoji oro kondicionavimo ir vėdinimo sistema (atitinka reikalavimus ar neatitinka reikalavimų)	
Rekomendacijos, kaip didinti kondicionavimo ir kombinuotosios oro kondicionavimo ir vėdinimo sistemos efektyvumą	
Kita reikšminga informacija ir pastabos	

3 priedas. Excel/skaičiuoklė technologiniam, energetiniam ir ekonominiam vertinimams atlikti

Sistemos parametrai	Alternatyva 1		Alternatyva 2		Alternatyva 3		Sistemos parametrai	Esama technologija (DK + OK)		K	L	
	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE		Duomenys iš skaičiavimo ataskaitos				
Energinis šaltinis	Dujos	Dujos	Elektra	Elektra			Faktinė metinė vidutinė galia, kW	Duomenys iš skaičiavimo ataskaitos		53,96		
Naud. koef. SCOP (šilumos siurbliams)				3,41	2,38	3,41	2,38	Energinis šaltinis	Dujos	313,07		
Naud. koef. (dujiniams katilams)	0,95	0,94						Metinis kuro suvartojimas, MWh		0,93		
Naud. koef. (vėsinimui)	14	14	4,67	6,37	4,67	5,37	Naud. koef. (vėsinimui)			14		
			Technologiniai skaičiavimai					Vėsinimo poreikiai, kWh/m ² /metus		59		
Reikalinga šildymo galia, kW	96	96	96	96	96	96	Metinės veikimo valandos		5801,89			
Metinės veikimo valandos	5801,89	5801,89	5801,89	5801,89	5801,89	5801,89	Šildymo metiniai energijos poreikiai Q ₀₁ , kWh/m ² /metus		195,67			
Šildymo (dujų) metinis suvartojimas, MWh	306,48	309,74	95,38	97,70	95,38	97,70	Vėsinimo metiniai energijos poreikiai Q _{0v} , kWh/m ² /metus		4,21			
Vėsinimo (elektros) metinis suvartojimas, MWh	6,74	6,74	20,21	17,58	20,21	17,58	Suminiai metiniai energijos poreikiai Q ₀ , kWh/m ² /metus		199,88			
Bendras metinis energijos suvartojimas, MWh	313,22	316,48	105,60	115,28	105,60	115,28	OPEX, Eur/m ² /metus		30,59			
Vieno įrenginio nominali galia, kW	99	100	16	24	16	24	OPEX (su vėsinimu), Eur/m ² /metus		32,08			
Reikiamas įrenginių kiekis, vnt.	1	1	6	4	6	4	Metinis vidutinis šilumos poreikis, W/m ²		33,73			
Suminė įdiegta (nominali) galia, kW	99	100	96	96	96	96	Šildymo metinis energijos poreikis, MWh		291,16			
Faktinė metinė vidutinė galia (priešaida pagal esamą technologiją), kW	53,96	53,96	53,96	53,96	53,96	53,96	Fataliųjų plotas, m ²		1600			
Saulės elektrinės modulis galia, kW					0,42	0,42	Elektrinis kaina, Eur/kWh		0,2142	0,1842	0,2642	
Reikalingas saulės modulių kiekis, kW					105,64	105,50	Dujų kaina, Eur/MWh		0,1454	0,0954	0,1954	
			Investicijos					Taupyti priemonių įgyvendinimo laikas n, metai		20		
Įrenginio kaina, Eur/vnt	7053	4080	45271	7562	45271	7562	Diskonto norma, %					
Montavimo kaina, Eur/vnt	450	450	1250	1250	1250	1250	Diskonto koeficientas, d (IWACC)		5,06	0,0506		
Papildomos medžiagos ir detalės, Eur/vnt	550	550	910	910	910	910			3,5	0,035		
Saulės šilumos elektrinis, Eur	0	0	0	0	8234,32	89859			6,5	0,065		
Technologijos kaina be saulės elektrinės, Eur	9057	5080	40182	38888	40182	38888						
Suminės pradinės investicijos, Eur	9057	5080	40182	38888	122925,52	128747						
Suminės pradinės investicijos, Eur/m ²	5,03	3,18	25,11	24,31	76,58	80,47						
			Ekonominė analizė									
Šildymo metiniai energijos poreikiai Q ₀₁ , kWh/m ² /metus	191,55	193,59	53,38	61,06	0,00	0,00						
Vėsinimo metiniai energijos poreikiai Q _{0v} , kWh/m ² /metus	4,21	4,21	12,63	10,93	0,00	0,00						
Suminiai metiniai energijos poreikiai Q ₀ , kWh/m ² /metus	195,76	197,80	66,00	72,05	0,00	0,00						
Suminis sutapaties energijos kiekis Q _s , kWh/m ² /metus	4,12	2,08	133,88	127,83	199,88	199,88						
Suminis sutapaties energijos kiekis η, %	2,06	1,04	65,98	63,95	100,00	100,00						
Metiniai sutapaties laikas PAL, metai	0,60	0,30	15,22	13,32	29,35	29,35						
Paprastasis atsipirkimo laikas PAL, metai	8,40	10,49	1,65	1,75	2,61	2,74						
OPEX (ŠS), Eur/m ² /metus	29,35	30,27	16,75	17,94	0,00	0,00						
OPEX (DK), Eur/m ² /metus	31,43	31,75										
OPEX (DK + OK), Eur/m ² /metus												
Diskontuoti												
Užsienio atsipirkimo laikas TAL, metai	11,22	15,33	1,77	1,87	2,87	3,03						
Sutaupyto energijos kaina SEK, Eur/MWh/m ²	98,54	123,02	15,13	15,33	30,90	32,47						
Visam plotui:												
Metiniai energijos poreikiai Q ₀ , kWh/m ² /metus	313221,91	316482,33	105596,86	115282,20	0,00	0,00						
Sutaupyto energijos kiekis Q _s , kWh/m ² /metus	8590,95	3230,82	24218,00	20450,66	37862,86	37862,86						
Metiniai sutapaties laikas PAL, metai	958,32	484,26	24345,95	22271,25	48964,70	48964,70						
Sutaupyto energijos kaina SEK, Eur/MWh	98,54	123,02	15,13	15,33	30,90	32,47						
Metinė suvartotos energijos kaina, Eur/m²	45542,47	46016,53	22618,85	24693,45	0,00	0,00						



Kaifant diskonto norma	Diskonto norma 3,5 %						Diskonto norma 5,06 %						Diskonto norma 6,5 %							
	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE	DK1 + OK	DK2 + OK	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS2 + SE		
Technologinė alternatyva																				
Papildomas atsipirimo laikas PAL, metai	8,40	10,49			1,65	1,75	2,61	2,74	8,40	10,49	1,65	1,75	2,61	2,74	8,40	10,49	1,65	1,75	2,61	2,74
Taršos atsipirimo laikas TAL, metai	10,12	13,30			1,73	1,83	2,78	2,93	11,22	15,33	1,77	1,87	2,87	3,03	12,55	18,15	1,80	1,91	2,95	3,13
Suaktyvės energijos kaina, Eur/kWh	85,97	107,32			13,20	13,38	26,96	28,33	98,54	123,00	15,33	15,33	30,90	32,47	110,69	138,43	17,02	17,26	34,77	36,54

Jautrumo analizė (TAL)

Jautrumo analizė (SEK)

Jautrumo analizė (ŠS SEK)

Jautrumo analizė (ŠS+SE SEK)

Kaifant elektros kaina	Elektros kaina 0,1442 Eur/kWh			Elektros kaina 0,1142 Eur/kWh			Elektros kaina 0,2042 Eur/kWh		
	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE	ŠS1	ŠS2	ŠS1 + SE
Technologinė alternatyva									
Metinis investicijų išlaidų metus	18,31	17,31	15,22	13,52	12,13	10,53			
Taršos atsipirimo laikas TAL, metai	1,46	1,43	1,77	1,67	2,24	2,52			

Jautrumo analizė (metinis investicijų)

Jautrumo analizė (TAL)

	DK1 + OK				DK2 + OK				ŠS1									
Metinis išlaidos (investicijos + išlaidos energijai), Eur/metis	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur	Metinis išlaidos (investicijos + išlaidos energijai), Eur/metis	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur	Metinis išlaidos (investicijos + energijos kaina), Eur	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur	Metinis išlaidos (investicijos + energijos kaina), Eur	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur			
1	-53395,477	999,32	1,00	-52637,142	-52637,142	0	-52637,142	-52637,142	0	0	-52637,142	-52637,142	0	0	-52637,142			
2	-49542,477	999,32	0,95	-42438,94	-43076,466	1	-41893,044	-43076,466	1	0,952	-43333,30	-43982,532	1	0,904	-34433,94			
3	-49542,477	999,32	0,91	-34032,95	-41813,774	2	-33908,023	-41813,774	2	0,906	-41251,95	-42504,862	2	0,858	-26444,65			
4	-49542,477	999,32	0,86	-39447,55	-40212,942	3	-36908,941	-40212,942	3	0,862	-39265,54	-41067,459	3	0,814	-29444,65			
5	-49542,477	999,32	0,82	-36295,35	-38662,504	4	-34556,283	-38662,504	4	0,821	-37174,03	-39678,745	4	0,772	-31444,65			
6	-49542,477	999,32	0,78	-34833,20	-37358,651	5	-32541,111	-37358,651	5	0,781	-35573,97	-38336,950	5	0,734	-29444,65			
7	-49542,477	999,32	0,74	-33355,53	-36069,028	6	-30955,034	-36069,028	6	0,744	-33890,62	-37040,532	6	0,698	-27444,65			
8	-49542,477	999,32	0,71	-31853,61	-34942,733	7	-29690,172	-34942,733	7	0,708	-32223,78	-35707,853	7	0,662	-25444,65			
9	-49542,477	999,32	0,67	-30308,71	-33657,713	8	-28938,123	-33657,713	8	0,674	-30677,51	-34577,733	8	0,626	-23444,65			
10	-49542,477	999,32	0,64	-28931,95	-32712,766	9	-28234,957	-32712,766	9	0,641	-29193,39	-33498,437	9	0,590	-21444,65			
11	-49542,477	999,32	0,61	-27274,80	-31806,537	10	-27575,153	-31806,537	10	0,610	-27783,63	-32278,603	10	0,554	-19444,65			
12	-49542,477	999,32	0,58	-25904,13	-30537,717	11	-22931,534	-30537,717	11	0,581	-26455,01	-31167,194	11	0,518	-17444,65			
13	-49542,477	999,32	0,55	-24658,55	-29505,041	12	-20940,407	-29505,041	12	0,553	-25190,86	-30102,496	12	0,482	-15444,65			
14	-49542,477	999,32	0,52	-23468,96	-28507,286	13	-19642,354	-28507,286	13	0,526	-23969,08	-29103,523	13	0,446	-13444,65			
15	-49542,477	999,32	0,50	-22330,65	-27543,071	14	-18462,304	-27543,071	14	0,501	-22933,78	-28103,008	14	0,410	-11444,65			
16	-49542,477	999,32	0,48	-21262,75	-26611,856	15	-17335,497	-26611,856	15	0,477	-21794,33	-27177,785	15	0,374	-9444,65			
17	-49542,477	999,32	0,45	-20238,67	-25711,938	16	-16277,462	-25711,938	16	0,454	-20863,07	-26258,730	16	0,338	-7444,65			
18	-49542,477	999,32	0,43	-19253,52	-24842,492	17	-15294,002	-24842,492	17	0,432	-19978,59	-25370,763	17	0,302	-5444,65			
19	-49542,477	999,32	0,41	-18336,11	-24002,368	18	-14351,175	-24002,368	18	0,411	-19128,05	-24512,805	18	0,266	-3444,65			
20	-49542,477	999,32	0,39	-17452,99	-23180,636	19	-13451,282	-23180,636	19	0,391	-18284,15	-23683,870	19	0,230	-1444,65			
21	-49542,477	999,32	0,37	-16612,49	-22406,465	20	-12622,947	-22406,465	20	0,373	-17465,65	-22882,966	20	0,194	544,65			
GDV: VGN:				-605438,29							-615169,32							
				#N/LM							#N/LM							

	ŠS1 + SE				ŠS2 + SE									
Metinis išlaidos (investicijos + energijos kaina), Eur/metis	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur	Metinis išlaidos (investicijos + energijos kaina), Eur/metis	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur	Metinis išlaidos (investicijos + energijos kaina), Eur/metis	Metinis pajamos (įstaigymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabarėtinė vertė, Eur			
0	-12292,52	48964,70	1,000	-75560,82	-75560,822	0	-75560,822	-12292,52	48964,70	1,000	-91782,30			
1	0,00	48964,70	0,952	44702,74	45376,520	1	44098,308	0,00	48964,70	0,952	44702,74			
2	0,00	48964,70	0,906	42543,72	43642,048	2	41408,862	0,00	48964,70	0,906	42543,72			
3	0,00	48964,70	0,862	40500,46	42593,467	3	39579,893	0,00	48964,70	0,862	40500,46			
4	0,00	48964,70	0,821	38543,78	40207,021	4	38508,744	0,00	48964,70	0,821	38543,78			
5	0,00	48964,70	0,781	36633,11	39543,076	5	34278,633	0,00	48964,70	0,781	36633,11			
6	0,00	48964,70	0,744	34825,86	39026,912	6	32189,510	0,00	48964,70	0,744	34825,86			
7	0,00	48964,70	0,708	33243,73	38313,828	7	30222,075	0,00	48964,70	0,708	33243,73			
8	0,00	48964,70	0,674	31842,61	37665,534	8	28377,535	0,00	48964,70	0,674	31842,61			
9	0,00	48964,70	0,641	30578,53	34453,454	9	26845,573	0,00	48964,70	0,641	30578,53			
10	0,00	48964,70	0,610	29444,65	33294,158	10	25019,317	0,00	48964,70	0,610	29444,65			
11	0,00	48964,70	0,581	27287,28	32168,289	11	23492,317	0,00	48964,70	0,581	27287,28			
12	0,00	48964,70	0,553	25373,94	31080,453	12	22058,515	0,00	48964,70	0,553	25373,94			
13	0,00	48964,70	0,526	24722,13	30023,423	13	20712,219	0,00	48964,70	0,526	24722,13			
14	0,00	48964,70	0,501	23531,41	29013,935	14	19448,093	0,00	48964,70	0,501	23531,41			
15	0,00	48964,70	0,477	22338,07	28032,188	15	18261,120	0,00	48964,70	0,477	22338,07			
16	0,00	48964,70	0,454	21133,31	27084,939	16	17166,535	0,00	48964,70	0,454	21133,31			
17	0,00	48964,70	0,432	20232,51	26168,907	17	16100,088	0,00	48964,70	0,432	20232,51			
18	0,00	48964,70	0,411	19375,15	25283,968	18	15117,452	0,00	48964,70	0,411	19375,15			
19	0,00	48964,70	0,391	18594,63	24429,995	19	14244,799	0,00	48964,70	0,391	18594,63			
20	0,00	48964,70	0,373	17839,42	23602,855	20	13388,442	0,00	48964,70	0,373	17839,42			
GDV: VGN:				506756,36							500535,48			
				#N/LM							#N/LM			

4 priedas. Ekonominio vertinimo skaičiavimo pavyzdys. Šilumos siurblių alternatyvos

Pradiniai energetiniai duomenys

Metiniai energijos poreikiai 1 m² šildymui esama sistema:

$$Q_{0š} = \frac{\text{Suvartotas kuras (kWh)}}{\text{Patalpų plotas (m}^2\text{)}} = \frac{313070}{1600} = 195,67 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Metiniai energijos poreikiai 1 m² vėsinimui esama sistema:

$$Q_{0V} = \frac{\text{Vėsinimo poreikiai } (\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2})}{\text{SEER}} = \frac{59}{14} = 4,21 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Metiniai energijos poreikiai 1 m² esamam dujinių katilų šildymo ir oro kondicionavimo sistemų deriniui:

$$Q_0 = Q_{0š} + Q_{0V} = 199,88 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2};$$

1) Po pakeitimo į ŠS1:

Metiniai elektros energijos poreikiai:

$$Q_{11} = Q_{11š} + Q_{11V} = \frac{85380}{1600} + \frac{20210}{1600} = 66 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2};$$

Sutaupytos energijos kiekis per metus:

$$Q_{S1} = Q_0 - Q_{11} = 199,88 - 66 = 133,88 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2};$$

$$\eta_1 = \frac{Q_{S1} \cdot 100}{Q_0} = \frac{133,88 \cdot 100}{199,88} = 66,98 \%;$$

2) Po pakeitimo į ŠS2:

Metiniai elektros energijos poreikiai:

$$Q_{12} = Q_{12š} + Q_{12V} = \frac{97700}{1600} + \frac{17580}{1600} = 72,05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2};$$

Sutaupytos energijos kiekis per metus:

$$Q_{S2} = Q_0 - Q_{12} = 199,88 - 72,05 = 127,83 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2};$$

$$\eta_2 = \frac{Q_{S2} \cdot 100}{Q_0} = \frac{127,83 \cdot 100}{199,88} = 63,95 \%.$$

ŠS technologinių alternatyvų pradinių suminių investicijų dydžiai 1 m² nurodomi 18 lentelėje.

18 lentelė. Pradinės investicijos šilumos siurbliams [81]

Technologinė alternatyva	ŠS1	ŠS2
Suminės pradinės investicijos, Eur/m ²	25,11	24,31

Ekonominis efektyvumas

Priimama diskonto norma 5,06 % [82];

Priimamos elektros ir dujų kainos rinkoje [83, 84]:

$K_E = 0,2142$ Eur/kWh;

$K_D = 0,1454$ Eur/kWh.

Laikoma, kad sutaupytos energijos metiniai kiekiai (ΔS) yra pastovūs.

Planuojami metiniai sutaupymai 1 m² po modernizacijos ŠS1:

$$\Delta S_1 = (Q_{0\dot{s}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1454 + 4,21 \cdot 0,2142) - (66 \cdot 0,2142) = 15,22 \text{ Eur/metus};$$

Planuojami metiniai sutaupymai 1 m² po modernizacijos ŠS2:

$$\Delta S_2 = (Q_{0\dot{s}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{12} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1454 + 4,21 \cdot 0,2142) - (72,05 \cdot 0,2142) = 13,92 \text{ Eur/metus};$$

Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL):

1) ŠS1 atveju:

$$PAL_1 = \frac{I_1}{\Delta S_1} = \frac{25,11}{15,22} = 1,65 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$PAL_2 = \frac{I_2}{\Delta S_2} = \frac{24,31}{13,92} = 1,75 \text{ metų};$$

Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):

1) ŠS1 atveju:

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{25,11}{15,22})}{\ln(1+0,0506)} = 1,77 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{24,31}{13,92})}{\ln(1+0,0506)} = 1,87 \text{ metų};$$

Sutaupytos energijos kaina (SEK):

Priimama, kad įdiegtos energijos taupymo priemonės (šilumos siurblio) gyvavimo laikas (n) yra 20 metų.

1) ŠS1 atveju:

$$SEK_1 = \frac{I_1}{Q_{S1}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{25,11}{133,88} \cdot \frac{0,0506}{1-(1+0,0506)^{-20}} = 15,13 \frac{Eur}{MWh};$$

2) ŠS2 atveju:

$$SEK_2 = \frac{I_2}{Q_{S2}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{24,31}{127,83} \cdot \frac{0,0506}{1-(1+0,0506)^{-20}} = 15,33 \frac{Eur}{MWh};$$

Finansiniai rodikliai

Finansinių rodiklių GDV ir VGN skaičiavimo pavyzdys ŠS1 scenarijui pateikiamas 19 lentelėje.

19 lentelė. Finansinių rodiklių skaičiavimas ŠS1 scenarijui

Metai	Metinės išlaidos (investicijos + išlaidos energijai), Eur/ metus	Metinės pajamos (sutaupymai), Eur	Diskonto koeficientas	Dabartinė vertė, Eur
0	-62800.85	24345.85	1.000	-38455.00
1	-22618.85	24345.85	0.952	1643.83
2	-22618.85	24345.85	0.906	1564.65
3	-22618.85	24345.85	0.862	1489.30
4	-22618.85	24345.85	0.821	1417.57
5	-22618.85	24345.85	0.781	1349.29
6	-22618.85	24345.85	0.744	1284.31
7	-22618.85	24345.85	0.708	1222.45
8	-22618.85	24345.85	0.674	1163.57
9	-22618.85	24345.85	0.641	1107.53
10	-22618.85	24345.85	0.610	1054.19
11	-22618.85	24345.85	0.581	1003.42
12	-22618.85	24345.85	0.553	955.09
13	-22618.85	24345.85	0.526	909.09
14	-22618.85	24345.85	0.501	865.31
15	-22618.85	24345.85	0.477	823.63
16	-22618.85	24345.85	0.454	783.96
17	-22618.85	24345.85	0.432	746.20
18	-22618.85	24345.85	0.411	710.26
19	-22618.85	24345.85	0.391	676.06
20	-22618.85	24345.85	0.373	643.50

GDV₁ = -17041,79 Eur;

VGN₁ = -5,77 % (gauta pasinaudojus *Excel* programinės įrangos funkcija „IRR“).

Jautrumo analizė

Jautrumo analizėje atliekamas tyrimas, kaip tikrasis atsipirkimo laikas priklauso nuo diskonto normos, elektros ir dujų bei pradinių investicijų. Taip pat įvertinamas sutaupyta energijos kiekio (SEK) kitimas skaičiuojant prie skirtingų diskonto normų ir elektros bei dujų kainų įtaka metiniams sutaupymams.

1) **Kai diskonto norma $d = 3,5\%$**

• **Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,035 \cdot \frac{25,11}{15,22})}{\ln(1+0,035)} = 1,73 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,035 \cdot \frac{24,31}{13,92})}{\ln(1+0,035)} = 1,83 \text{ metų};$$

• **Sutaupytos energijos kaina (SEK):**

1) ŠS1 atveju:

$$SEK_1 = \frac{I_1}{Q_{S1}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{25,11}{133,88} \cdot \frac{0,035}{1-(1+0,035)^{-20}} = 13,20 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}};$$

2) ŠS2 atveju:

$$SEK_2 = \frac{I_2}{Q_{S2}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{24,31}{127,83} \cdot \frac{0,035}{1-(1+0,035)^{-20}} = 13,38 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}};$$

2) **Kai diskonto norma $d = 6,5\%$**

• **Tikrojo atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,065 \cdot \frac{25,11}{15,22})}{\ln(1+0,065)} = 1,77 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,065 \cdot \frac{24,31}{13,92})}{\ln(1+0,065)} = 1,87 \text{ metų};$$

• **Sutaupytos energijos kaina (SEK):**

1) ŠS1 atveju:

$$SEK_1 = \frac{I_1}{Q_{S1}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{25,11}{133,88} \cdot \frac{0,065}{1-(1+0,065)^{-20}} = 17,02 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}};$$

2) ŠS2 atveju:

$$SEK_2 = \frac{I_2}{Q_{S2}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{24,31}{127,83} \cdot \frac{0,065}{1-(1+0,065)^{-20}} = 17,26 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}};$$

3) **Kai elektros kaina $K_E = 0,1642 \text{ Eur/kWh}$**

- **Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$\Delta S_1 = (Q_{0\text{š}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1454 + 4,21 \cdot 0,1642) - (66 \cdot 0,1642) = 18,31 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{25,11}{18,31})}{\ln(1+0,0506)} = 1,46 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$\Delta S_2 = (Q_{0\text{š}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1454 + 4,21 \cdot 0,1642) - (72,05 \cdot 0,1642) = 17,31 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{24,31}{17,31})}{\ln(1+0,0506)} = 1,49 \text{ metų};$$

4) **Kai elektros kaina $K_E = 0,2642$ Eur/kWh**

- **Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$\Delta S_1 = (Q_{0\text{š}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1454 + 4,21 \cdot 0,2642) - (66 \cdot 0,2642) = 12,13 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{25,11}{12,13})}{\ln(1+0,0506)} = 2,24 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$\Delta S_2 = (Q_{0\text{š}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1454 + 4,21 \cdot 0,2642) - (72,05 \cdot 0,2642) = 10,53 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{24,31}{10,53})}{\ln(1+0,0506)} = 2,52 \text{ metų};$$

5) **Kai dujų kaina $K_D = 0,0954$ Eur/kWh**

- **Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$\Delta S_1 = (Q_{0\text{š}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,0954 + 4,21 \cdot 0,2142) - (66 \cdot 0,2142) = 5,43 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{25,11}{5,43})}{\ln(1+0,0506)} = 5,40 \text{ metų};$$

2) ŠS2 atveju:

$$\Delta S_2 = (Q_{0\text{\$}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,0954 + 4,21 \cdot 0,2142) - (72,05 \cdot 0,2142) = 4,14 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{24,31}{4,14})}{\ln(1+0,0506)} = 7,15 \text{ metu};$$

6) **Kai dujų kaina $K_D = 0,1954$ Eur/kWh**

• **Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$\Delta S_1 = (Q_{0\text{\$}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1954 + 4,21 \cdot 0,2142) - (66 \cdot 0,2142) = 25,00 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{25,11}{25,00})}{\ln(1+0,0506)} = 1,06 \text{ metu};$$

2) ŠS2 atveju:

$$\Delta S_2 = (Q_{0\text{\$}} \cdot K_D + Q_{0V} \cdot K_E) - (Q_{11} \cdot K_E) = (195,67 \cdot 0,1954 + 4,21 \cdot 0,2142) - (72,05 \cdot 0,2142) = 23,70 \text{ Eur/metus};$$

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{24,31}{23,70})}{\ln(1+0,0506)} = 1,08 \text{ metu}.$$

7) **Kai ŠS investicijos sumažėjusios 20 %**

• **Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL):**

1) ŠS1 atveju:

$$TAL_1 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_1}{\Delta S_1})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{0,8 \cdot 25,11}{15,22})}{\ln(1+0,0506)} = 1,40 \text{ metu};$$

2) ŠS2 atveju:

$$TAL_2 = \frac{-\ln(1-d \cdot \frac{I_2}{\Delta S_2})}{\ln(1+d)} = \frac{-\ln(1-0,0506 \cdot \frac{0,8 \cdot 24,31}{13,92})}{\ln(1+0,0506)} = 1,49 \text{ metu};$$

• **Sutaupytos energijos kaina (SEK):**

1) ŠS1 atveju:

$$SEK_1 = \frac{I_1}{Q_{S1}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{0,8 \cdot 25,11}{133,88} \cdot \frac{0,0506}{1-(1+0,0506)^{-20}} = 12,10 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}};$$

2) ŠS2 atveju:

$$SEK_2 = \frac{I_2}{Q_{S2}} \cdot \frac{d}{1-(1+d)^{-n}} = \frac{0,8 \cdot 24,31}{127,83} \cdot \frac{0,0506}{1-(1+0,0506)^{-20}} = 12,27 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}};$$