



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Martynas Matuzas

**DAUGIABUČIO NAMO APRŪPINIMO ENERGIJA TECHNOLOGINIŲ
SPRENDINIŲ DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ**

(lietuvių kalba)

**MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY
TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR RESIDENTIAL HOUSE**

(anglų kalba)

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas 621E30003

Energijos inžinerijos specializacija

Energijos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Prof. habil. dr. V. Martinaitis
(Vardas, pavardė)

(Data)

Martynas Matuzas

DAUGIABUČIO NAMO APRŪPINIMO ENERGIJA TECHNOLOGINIŲ
SPRENDINIŲ DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ

(lietuvių kalba)

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY
TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR RESIDENTIAL HOUSE

(anglų kalba)

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas 621E30003

Energijos inžinerijos specializacija

Energijos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr.doc. A. Rogoža
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lek. R. Žukienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)



2013-05-30

Vilnius, 2013

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA**

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Energijos inžinerija studijų kryptis
Energijos inžinerija ir planavimas studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**
Energijos inžinerijos specializacija

(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2013 gegužės mėn. 07 d.

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei)

Martynui Matuzui
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **Daugiabučio namo aprūpinimo energija technologinių sprendinių daugiakriterė analizė**

Patvirtinta 2011 m. lapkričio 30 d.

Dekano įsakymu Nr. 415 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas

2013 m. birželio mėn. 09 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Darbe turi būti išnagrinėtos šios temos:

Darbo problemos, tikslo ir uždavinių formulavimas. Atliktų mokslinių tyrimų daugiabučių namų aprūpinimo energija srityje apžvalga. Lietuvos daugiabučių namų būklė ir energijos poreikiai. Daugiabučių namų aprūpinimo energija galimi technologiniai sprendiniai. Pastatų aprūpinimo energija variantų įvertinimo metodinis pagrindas. Tiriamojo pastato aprašas ir energijos poreikiai. Tiriamojo pastato aprūpinimo energija variantų aprašas. Daugiakriteris variantų įvertinimas. Rezultatų apibendrinimas ir išvados. Mokslinio straipsnio ir pranešimo konferencijoje parengimas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: *lekt. R. Žukienė*
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas
(parašas)

dr. Artur Rogoža
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(parašas)

Martynas Matuzas
(vardas, pavardė)

2011 m. spalio 28 d.
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Energijos inžinerijos ir planavimo** programos baigiamasis darbas 4
(energijos inžinerija)

Pavadinimas **Daugiabučio namo aprūpinimo energija technologinių sprendinių
daugiakriterė analizė**
Autorius **Martynas Matuzas**
Vadovas **doc. dr. Artur Rogoža**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas tipinis daugiabutis pastatas ir jam pritaikytos energiją generuojančios sistemos. Darbo tikslas – daugiakriterio vertinimo metodu nustatyti optimalų energijos aprūpinimo technologinį sprendinį pagal energinį, ekologinį ir ekonominį kriterijus. Tyrime nagrinėjama centralizuoto šilumos tiekimo sistema, dujinis katilas, oras–vanduo ir gruntas–vanduo šilumos siurbliai, saulės kolektoriai, saulės elementų bei visų šių sistemų kombinacijos. Tyrimui naudojami realūs šilumos suvartojimai ir statistiniais metodais nustatyti elektros energijos poreikiai. Sistemos nagrinėjamos modeliuojant EnergyPRO programa. Visoms sistemoms atlikta inventorinė analizė, nustatyti sunaudojamos energijos ir išsiskiriančių teršalų kiekiai visų sistemų gyvavimo fazių metu.

Atlikus sistemų modeliavimą ir kitus tyrimus paaiškėjo, kad optimali yra kombinuota sistema susidedanti iš gruntas–vanduo šilumos siurblio, saulės kolektorių, saulės elementų ir centralizuoto šilumos tiekimo. Tokios sistemos šilumos savikaina yra 18,7 ct/kWh, teršalų emisija – 0,131 CO₂ kg ekv/kWh/100 metų, pirminės energijos poreikis – 2,50 MJ/kWh/100 metų. Tokia sistema padengia beveik 85 % pastato metinio šilumos poreikio. Tyrimo rezultatai gali būti pritaikyti daugiabučių namų renovacijai.

Darbą sudaro 14 skyrių. Darbo apimtis 65 p. teksto be priedų, 38 iliustr., 22 lentelių 36 bibliografinių šaltinių, priedai (pridedami kartu)

Prasminiai žodžiai: Daugiabutis namas, daugiakriterė analizė, gyvavimo ciklo analizė, klimato kaita, pirminė energija, saulės elementai, saulės kolektoriai, šilumos siurblys.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Building Energetics

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

Master Degree Studies **Energy Engineering and Planning** study programme Final Work 4 (Energy Engineering)

Title **Multi-Criteria Analysis of Energy Supply Technological Solutions for Residential House**
Author **Martynas Matuzas**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Artur Rogoža**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In this thesis a typical apartment building and its own energy generating systems were examined. The goal of this work – to determine the optimum power supply technology solution for energy supply, using multi-criteria analysis according to several criteria: energetical, environmental and economical. The study examined the district heating system, gas boiler, air-to-water and ground-water heat pumps, solar collectors, solar cells, and the combination of these systems. The study uses real heat consumption and statistical methods to determine power requirements. Systems were analyzed using EnergyPRO simulation program. For all systems were performed inventory analysis, to determine the energy consumption and the quantity of emissions of all the systems life phases.

After system modeling and other studies results showed, that the optimum system is combined system of the ground-to-water heat pump, solar panels, solar cells, and district heating cost – 18.7 ct/kWh; Emission of pollutants – 0,131 CO₂ eq kg/kWh/100 years; Primary energy demand – 2.50 MJ/kWh/100 years. Such a system covers nearly 85% of the building's annual heat demand. The results can be applied to residential buildings projects of renovation.

The work consists of 14 chapters. Scope of work 65. text, 38 figures., 22 tables of 36 bibliographic entries, (added together)

Keywords: Apartment building, multicriterial analysis, life cycle analysis, climate change, primary energy, solar cells, solar collectors, heat pump.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų,
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Martynas Matuzas, 20075930

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Energijos inžinerija ir planavimas, ENmf-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

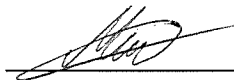
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. birželio 7 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Daugiabučio namo aprūpinimo energija technologinių sprendinių daugiakriterė analizė“ patvirtintas 2011 m. lapkričio 30 d. dekanų potvarkiu Nr. 415ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parinkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Artur Rogoža.

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



(Parašas)

Martynas Matuzas

(Vardas ir pavardė)

Turinys

Ivadas	12
1. Daugiabučių namų aprūpinimo energija tyrimų apžvalga	14
2. Darbo problematika ir naujumas	15
3. Darbo tikslas ir uždaviniai.....	16
4. Daugiabučių namų ypatybės	16
4.1. Daugiabučių namų techninė būklė	16
4.2. Daugiabučių namų šilumos poreikio ypatybės.....	18
4.3. Daugiabučių namų elektros energijos poreikio ypatybės.....	20
5. Galimi aprūpinimo energija technologiniai sprendimai	23
6. Tyrimo objektas.....	25
6.1.1. Karšto vandens sistemos poreikio ir galios nustatymas	27
6.1.2. Šildymo sistemos poreikio ir galios nustatymas	29
6.1.3. Elektros energijos poreikio nustatymas.....	30
7. Metodologija	32
7.1. Gyvavimo ciklo analizė.....	32
7.2. Daugiakriterės analizės metodas	33
7.3. Analizei naudotos programos	35
7.4. Skaiciavimuose priimtos prielaidos.....	35
8. Daugiabučio namo aprūpinimo energija technologiniai sprendiniai.....	36
Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema.....	36
8.1. Centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT).....	36
8.2. Šilumos siurblio oras–vanduo+saulės kolektorių ir elektrinio šildytuvo sistema (OŠS+SK+T)	37
8.3. Šilumos siurblio oras–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema (OŠS+SK+CŠT).....	43
8.4. Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema (GŠS+SK+CŠT).....	44
8.5. Dujinių katilų sistema (DK)	48
8.6. Saulės kolektorių ir dujinio katilo sistema (SK+DK)	49
8.7. Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių + saulės elementų ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema (GŠS+SK+SE+CŠT).....	50
9. Technologinių sprendinių analizė	52
9.1. Energinis sistemų vertinimas.....	52

9.2. Ekologinis sistemų vertinimas.....	55
9.3. Ekonominis sistemų vertinimas.....	56
10. Jautrumo analizė.....	58
11. Rezultatų įvertinimas.....	60
Išvados.....	63
Literatūros sąrašas	64
Priedai.....	66

Paveikslų sąrašas

1 pav. Daugiabučių namų klasifikavimas pagal išorinių sienų konstrukcijas [21]	17
2 pav. Daugiabučių namų suskirstymas pagal šildymo sąnaudas kWh/m ² per mėnesį [22]	19
3 pav. B energetinės klasės daugiabučio energijos sąnaudų struktūra kWh/m ² per metus	19
4 pav. Karšto vandens poreikio kitimas paroje [25]	20
5 pav. Galutinis elektros energijos suvartojimas pagal ūkio šakas 2012 m.	21
6 pav. Elektros energijos sistemos skirtinguose objektuose [26]	21
7 pav. Elektros vartojimas skirtingais metų laikais [27]	22
8 pav. Elektros energijos kiekis suvartotas namų ūkiuose tenkantis vienam gyventojui [26]	22
9 pav. Aprūpinimo energija technologijos ir šaltinių rūšys	23
10 pav. Daugiabutis namas Šeimyniškių g. 36	25
11 pav. Tyrimo objekto stogo planas	26
12 pav. Nagrinėjamo daugiabučio namo lauko tinklai	26
13 pav. Šilumos poreikio karšto vandens sistemai kitimas per parą	29
14 pav. Pastato energijos poreikiai metų bėgyje	32
15 pav. Principinė sistemos su oras-vanduo šilumos siurbliu schema	38
16 pav. Principinė sistemos su saulės kolektoriais schema	39
17 pav. OŠS+SK+T sistemos skaičiuojamasis modelis	40
18 pav. OŠS+SK+T sistemos talpos parinkimo grafikas	40
19 pav. 5 m ³ akumuliacinės talpos įkrovimas metų bėgyje	41
20 pav. OŠS+SK+T sistemos gamybos grafikas	42
21 pav. Šilumos siurblio veikimo grafikas	42
22 pav. Pastato stogo planas su išdėstytais įrengimais	44
23 pav. Principinė sistemos su gruntas-vanduo ŠS ir saulės kolektoriais.....	44
24 pav. Topografinis planas su kolektorių išdėstymu	45
25 pav. COP priklausomybė nuo zondo gylio [32]	45
26 pav. GŠS+SK+CŠT sistemos gamybos grafikas	46
27 pav. Talpų sukaupiamas šilumos kiekis	47
28 pav. DK sistemos šilumos poreikio trukmės kreivė	48
29 pav. Saulės elementų sistemos principinė schema [18].....	50
30 pav. Saulės elementų ir kolektorių išdėstymo planas	51
31 pav. Saulės elementų elektros energijos gamybos metinis grafikas.....	51
32 pav. Sistemų AEI dalis visame šilumos poreikyje	54
33 pav. Medžiagų gamyboje išsiskiriantys CO ₂ ekvivalento kiekiai	55
34 pav. Sistemų dinaminis atsipirkimo laikas	57

35 pav. Sistemų rodiklių kitimas prie 20 % mažesnio poreikio.....	59
36 pav. Sistemų rodiklių kitimas prie 20 % didesnio poreikio.....	60
37 pav. AEI sistemų rodiklių dalis nuo CŠT	61
38 pav. Sistemų 3E rodiklio palyginimas	62

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Daugiabučių namų statyba pagal laikotarpius	17
2 lentelė. Metinis energijos taupymo potencialas pagal sektorius	18
3 lentelė. Bendrieji statinio rodikliai	25
4 lentelė. Daugiabučio namo faktiniai karšto vandens poreikiai MWh	28
5 lentelė. Šildymo sistemos poreikis	30
6 lentelė. Elektros energijos santykinis suvartojimas kWh/m ² per mėnesį	31
7 lentelė. Elektros energijos poreikis	31
8 lentelė. Nagrinėjamos sistemos	36
9 lentelė. ŠS+SK+T sistemos gamybos duomenys	43
10 lentelė. GŠS+SK+CŠT sistemos gamybos duomenys	47
11 lentelė. DK sistemos gamybos duomenys	49
12 lentelė. SK+DK sistemos gamybos duomenys	49
13 lentelė. GŠS+SK+SE+CŠT sistemos gamybos duomenys.....	52
14 lentelė. Miesto tinklų santykiniai rodikliai	52
15 lentelė. Sistemos sudarančių medžiagų kiekiai	53
16 lentelė. Sistemų gyvavimo ciklo pirminės energijos kiekiai	54
17 lentelė. Sistemų gyvavimo ciklo metu susidarančių CO ₂ ekvivalentų kiekis	55
18 lentelė. Bazinio CŠT varianto ekonominis vertinimas	56
19 lentelė. Technologinių sprendimų ekonominis skaičiavimas	56
20 lentelė. AEI gaminamo poreikio dalis	58
21 lentelė. AEI naudojančių sistemų parametrai be papildomo šilumos šaltinio	61
22 lentelė. Daugiakriteris sistemų vertinimas	62

Santrumpos

AEI – atsinaujinantys energetiniai ištekliai
CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas
DK – dujinių katilų
GCA – gyvavimo ciklo analizė
GDV – grynoji dabartinė vertė
GŠS – gruntinis šilumos siurblys
IEA – International Energy Agency
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
OŠS – orinis šilumos siurblys
SE – saulės elementai
SK – saulės kolektoriai
T – elektrinis šildytuvas

Ivadas

Šiuo metu vis aštrėjančios aplinkosauginės pasaulinės problemos iš daugelio pasaulio gyventojų ir valstybių sulaukia vis didesnio dėmesio. Tai rodo žmonių protestais reiškiamas susirūpinimas bei griežtėjantys ir varžantys įvairūs valstybiniai – tarptautiniai standartai. Apie gresiančius klimato pokyčius ir energijos vartojimą kas penkti metai prabyla viena iš įtakingiausių aplinkosauginių organizacijų – Tarpvvyriausybės klimato kaitos taryba (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). Paskutinėje savo ataskaitoje [1] ši organizacija kaip vieną iš pagrindinių problemų įvardija klimato atšilimą, kurį sukelia žmonių veikla ir iškastinės pirminės energijos vartojimas. Iš pirmo žvilgsnio gali pasirodyti, kad tokioms šiaurinėms šalims kaip Lietuva, kuri didžiąją energijos dalį sunaudoja pastatų šildymui, toks klimato kaitos scenarijus palankus, bet šioje situacijoje galima pamatyti ir daug svaresnių priešingų dalykų. Pagal 2007 metų IPCC ataskaitą valstybėms, esančioms toliau į šiaurę, dėl klimato atšilimo 2 °C iki 2050 metų, reikalingas iškastinės pirminės energijos kiekis šildymui sumažės nuo 5 iki 10 %. Tačiau, šis vienas palankus veiksnys neatsveria dėl to gresiančių neigiamų reiškinių: didėjantis vandens trūkumas pietinėje Europos dalyje, potvynių atsiradimas, audrų skaičiaus ir stiprumo didėjimas ir t. t. Pakilus aplinkos temperatūrai savaime padidės ir elektros energijos sąnaudos kondicionavimui, todėl būtina nagrinėti ne vien šilumos, bet ir elektros energijos poreikį tenkinimą. Iš daugybės autorių atliktų tyrimų nustatyta, kad žmogaus iškastinės pirminės energijos naudojimas neginčijamai keičia žemės klimatą, todėl būtina ieškoti būdų keisti padėtį.

Pastatų sektorius pasaulyje į žemės atmosferą per metus išmeta 30 % visų teršalų bei suvartoja apie 40 % energijos [2]. Tai rodo, kad ši sritis daro didelę įtaką aplinkai ir privalo būti griežtai kontroliuojama. Lietuva yra įsipareigojusi Europos Sąjungai, kad iki 2020 m. bendras šalies išmetamų teršalų kiekis, sukeliančių šiltnamio efektą, negalės viršyti 24,7 mln.t CO₂ ekv. Pagal atliktą tyrimą [3], buvo nustatyta, kad nesiėmus papildomų priemonių šio valstybės įsipareigojimo įgyvendinti nepavyks.

Pastatai Lietuvoje yra viena iš didžiausių potencialą turinčių sričių, galinčių žymiai sumažinti išmetamų teršalų kiekį ir pirminės energijos sąnaudas. Laikantis tvariosios plėtros principų [4], turėtų būti vertinamas ne tik pastato energijos poreikis, bet ir visa jo medžiagoms bei konstrukcijoms pagaminti reikalinga pirminė energija.

Baigiamasis magistro darbas atliktas siekiant nustatyti optimalų tipinio daugiabučio namo aprūpinimo energija technologinį variantą, pateikti išvadas bei pasiūlymus. Tyrimo objektas – tipinis penkių aukštų daugiabutis namas Lietuvoje. Nustatant optimalų energijos aprūpinimo technologinį sprendimą, atlikta visų pastato sistemų inventorinė analizė, gauti jų veikimo parametrai bei nustatytos sistemų pritaikymo ribos konkrečiam objektui. Didžiausias dėmesys darbe skirtas šilumos gamybos

sistemoms, bet darbe yra išnagrinėta ir viena elektros energijos generavimo sistema. Pasirenkant tyrimo objektus didelis dėmesys skirtas atsinaujinančius energetinius išteklius naudojančioms sistemoms. Tyrime naudotasi gyvavimo ciklo analizės metodu, modeliavimo programa *EnergyPRO*, medžiagų ir procesų didelės duomenų bazės turinčia programa *SimaPRO*. Pradiniai šilumos poreikių duomenys surinkti pagal realius tiriamojo pastato suvartojimus, o elektros energijos poreikis nustatytas pagal statistinius duomenis. Geriausias technologinis sprendimas atrinktas naudojant daugiakriterę analizę, įvertinant ekologinį, energinį bei ekonominį aspektus.

1. Daugiabučių namų aprūpinimo energija tyrimų apžvalga

Pastatai daugiausia teršalų išskiria ir energijos suvartoja dviejų pagrindinių fazių metu: jų sukūrimo ir naudojimo. Gyvenamieji skirtingų tipų pastatai statybos fazėje skirtingų autorių darbuose gali suvartoti nuo 9 % [5] iki 14 % [6] pirminės energijos. Tačiau energijos sąnaudos skirtingų tipų pastatuose gali labai skirtis. Mažaenergiuose pastatuose statybos ir sunaikinimo fazė gali sudaryti nuo 40 % [7] iki 70 % suvartotos energijos per visą objekto gyvavimo laiką [8], o nulinės energijos pastatuose net visą pirminės iškastinės energijos kiekį [9]. Pagal Statistikos departamento duomenis, Lietuvoje aktualiausia yra gyvenamųjų pastatų problema, nes namų ūkiai suvartoja daugiau nei 31 % visos šalies galutinės energijos [10]. Lietuvoje įsibėgėjant daugiabučių namų renovacijos procesui yra puiki proga priimti racionalius ir įvairiapusiškai naudingus aprūpinimo šiluma sprendimus. Dėl šių išvardytų priežasčių buvo nuspręsta nagrinėti būtent daugiabučius pastatus.

Dauguma nerenovuotų senos statybos daugiabučių namų šiluma aprūpinami iš centralizuotos šilumos tiekimo (CŠT) sistemos. Prieš dešimtmetį galėjome sakyti, kad tai tikrai pats racionaliausias ir efektyviausias būdas šildyti pastatus. Tačiau kylant kuro kainoms CŠT skeptikų atsiranda vis daugiau. Kiekvienas nekilnojamojo turto savininkas dabar gali rinktis, kaip šildyti savo pastatą ir į kokius kriterijus atsižvelgti pasirenkant šilumos gamybos būdą. Anksčiau, renkantis šildymo būdą bei kurą, buvo atsižvelgiama tik į vieną kriterijų. Buvo siekiama tik mažiausių investicijų, nes kuro sąnaudos naudojimo fazėje sudarė tik mažąją dalį kaštų. Šiuo metu tokie sprendimai priimami atsižvelgus į sistemos gyvavimo ciklo sąnaudas, tačiau augant aplinkosauginių problemų svarbai prieš atliekant sprendimus, būtina įvertinti ir šį faktorių daugiakriterės analizės metodu [9]. Lietuvoje įsibėgėjant daugiabučių namų renovacijos procesui yra puiki proga priimti racionalius ir keleto kriterijų požiūriu įvertintus aprūpinimo šiluma sprendimus. CŠT sistemų modernizacija Lietuvoje vyksta ne taip sparčiai, kaip buvo tikėtasi, todėl šilumos kainos muša rekordus. Pasenusios CŠT sistemos turi būti pertvarkytos taip, kad galėtų naudoti keletą kuro rūšių ir atsinaujinančius išteklius. Puikūs pavyzdžiai Danijoje [11], Švedijoje [12], Suomijoje, kur neginčijamai pats populiariausias ir racionaliausias šildymo būdas yra CŠT. Tuo tarpu Lietuvoje, daugėja renovuojamų ir senų daugiabučių namų norinčių atsijungti nuo CŠT ir ieškančių alternatyvių šaltinių.

Decentralizuotų energijos aprūpinimo būdų yra nemažai, kaip ir tyrimų skaičiuojant jų įvairiausius rodiklius. Yra ir Lietuvos autorių atliktų darbų susijusių su daugiabučių namų aprūpinimu šiluma: šilumos siurbliais [13], saulės kolektoriais bei iškastinio kuro katilais [14]. Panašių darbų bei naudojant multikriterinę analizę yra atlikę ir užsienio autoriai [15, 16], kurie yra išanalizavę įvairiausių sistemų darbą skirtinguose pastatų grupėse. Tuo tarpu įvairios atsinaujinančius energetinius išteklius (AEI) naudojančios sistemos, šilumos ir elektros, poreikiams tenkinti išnagrinėtos kito Lietuvos

autoriaus darbe [17], bet darbe nagrinėta tik maksimali galima AEI dengiama dalis visame pastato energijos balanse, nenaudojant ir nevertinant jokių kriterijų.

2. Darbo problematika ir naujumas

Pagal Tarptautinės energetikos agentūros (IEA, International Energy Agency) tyrimus, pirminės energijos vartojimas pasaulyje iki 2030 m. padidės daugiau kaip 50 %, palyginti su 2005 metų lygiu. Priemonių, kurios leidžia mažinti šiltnamio efektą skatinančių dujų išmetimus į atmosferą, kiekis ribotas. Pagrindinės yra šios [18]:

- Efektyvi energijos gamyba ir vartojimas;
- Atsinaujinančių energijos šaltinių (AEI) intensyvesnis vartojimas;
- Branduolinės energijos vartojimas didesniu mastu;
- CO₂ surinkimo ir saugojimo technologijų platesnis taikymas.

Pirminės energijos vartojimo mažinimo būtinumas pastatų sektoriuje reikalauja efektyvesnių technologinių sprendimų ir sistemų įvairiais požiūriais. Daugiabučių namų technologinės sistemos suvartoja didžiąją dalį pirminės energijos poreikio per visą pastato gyvavimo ciklą. Todėl būtina ieškoti racionalių keliais kriterijais grindžiamų sprendimų išskatinės pirminės energijos poreikio mažinimui. Šiam tikslui darbe naudojama gyvavimo ciklo analizė (GCA) ir daugiakriterė analizė.

Šio darbo naujumas susijęs su kompleksiniu požiūriu į daugiabučio gyvenamojo pastato aprūpinimą energija. Panašus darbas buvo atliktas Lietuvos autoriaus, kuris tyrė poilsio namų šilumos aprūpinimo sistemų alternatyvas [19]. Tačiau pateikti autoriaus rekomenduojami rodikliai negali visapusiškai atspindėti pastaruoju metu naudojamų sistemų pranašumų, nes beveik nebuvo nagrinėjamos atsinaujinančius energijos išteklius (AEI) naudojančios sistemos. Būtina pastebėti, kad daugumos autorių tyrimų objektai patenka į pastatų kategoriją, kurioje šilumos ir elektros poreikių ypatybės ypač skiriasi nuo daugiabučių namų, kurie šiuo metu Lietuvoje suvartoja nemažą dalį energijos. Šiame darbe, įvertinus kelis kriterijus (3E), nustatytas optimalus technologinis daugiabučio namo aprūpinimo energija sprendinys, analizuotas kelių energijos gamybos šaltinių darbas bei pateiktos išvados ir rekomendacijos.

Šis tiriamasis darbas skirtas nustatyti optimalų daugiabučio pastato aprūpinimo energija technologinį sprendimą. Geriausias variantas atrinktas naudojantis daugiakriterė analize, įvertinant ekologinį, energinį bei ekologinį (3E) aspektus.

3. Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – rasti optimalų energijos aprūpinimo būdą tipiniam daugiabučiam namui, taikant daugiakriterę analizę.

Darbo tikslui pasiekti keliami tokie uždaviniai:

- Apžvelgti jau atliktus tiriamuosius darbus šia tema;
- Išanalizuoti tipinių Lietuvos daugiabučių techninę būklę, šilumos ir elektros energijos poreikius;
- Išnagrinėti galimus technologinius sprendimus daugiabučio namo aprūpinimui energija;
- Daugiabučio namo faktinių šilumos ir elektros energijos poreikių surinkimas ir sisteminimas;
- Pasirinktų sistemų gyvavimo ciklo analizės (GCA) atlikimas;
- Pasirinktų technologinių sistemų modelių sukūrimas ir modeliavimas kompiuterine programa *EnergyPro*;
- Keleto šaltinių tarpusavio sąveikos analizavimas;
- Pasirinktų technologinių variantų analizė energiniu, ekonominiu ir ekologiniu aspektais;
- Jautrumo analizės atlikimas;
- 3E daugiakriterio rodiklio pritaikymas visiems išnagrinėtiems atvejams;
- Išvadų ir pasiūlymų pateikimas.

4. Daugiabučių namų ypatybės

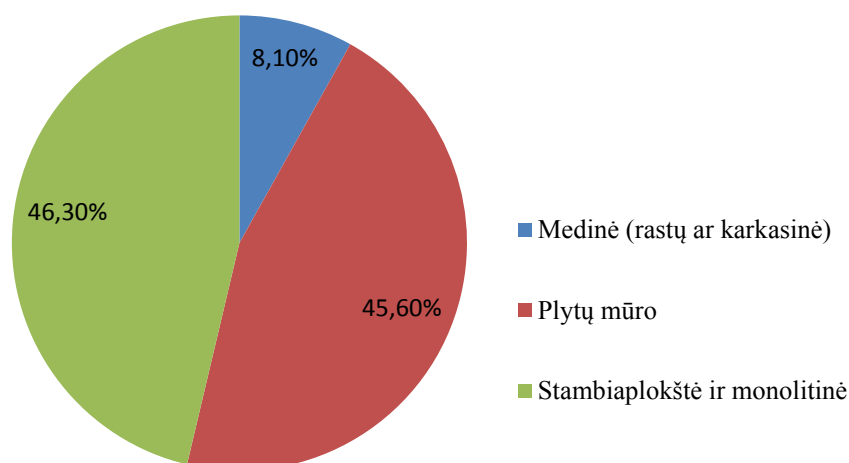
4.1. Daugiabučių namų techninė būklė

Didžiausia Lietuvos gyventojų dalis gyvena daugiabučiuose namuose. Dauguma šių pastatų yra pastatyti 1960–1990 metais. Daugiabučių namų statybos laikotarpiai pateikti 1 lentelėje. Kaip žinoma, tuo statybų piko metu kuro kainos ir sąnaudos nebuvo aktualiausias kriterijus renkantis pastatų konstrukcijas ir inžinerines sistemas, todėl to laikmečio pastatai ypač reiklūs energijai. Teigiama, kad šiuo metu Lietuvoje yra apie 30 tūkstančių renovuotinų daugiabučių pastatų. Galima išgirsti nuomonių, kad senų daugiabučių namų vykdoma renovacija yra nereikalinga, esą labiau apsimokėtų juos griauti ir statyti naujus. Tačiau yra įrodyta, kad pastatų renovacija yra naudinga ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu[20]. Dėl šios priežasties reikia ieškoti geriausių sprendimų jiems atnaujinti.

1 lentelė. Daugiabučių namų statyba pagal laikotarpius

Laikotarpis (metais)	Pastatų dalis, %
Iki 1918	3
1918–1940	11
1941–1950	4
1951–1960	8
1961–1970	19
1971–1981	25
1981–1990	25
1991–1996	5

Pastato energijos suvartojimas priklauso nuo kelių dalykų: pastato konstrukcijų, inžinerinių sistemų ir žmonių elgsenos. Paskutinis faktorius darbe nebus nagrinėjamas. Kad būtų nustatytos didžiausios pastato problemos, būtina apžvelgti daugiabučių namų konstrukcijų ir jame sumontuotų inžinerinių sistemų būklę. Daugiabučių namų pasiskirstymas pagal išorinių sienų konstrukciją pateiktas 1 pav.



1 pav. Daugiabučių namų klasifikavimas pagal išorinių sienų konstrukcijas [21]

Ypač bloga padėtis yra su stambiaplokščiais ir monolitiniais pastatais [21]. Autorius teigia, kad blogiausia padėtis yra su vertikaliomis sandūromis tarp rūsio išorinių sienų plokščių. Daugumoje pastatų sieninių plokščių fasaduose turi paviršinius plyšius, į kuriuos skverbiasi drėgmė, kuri ardo fasado sienų struktūrą. Suardyta ir drėgna pastato siena žymiai geriau praleidžia šilumą. Stogai praleidžia vandenį pro dangos jungtis su parapetais bei per dangą, kuri dažnai yra nusidėvėjusi. Taip pat nusidėvėję balkonai ir stogeliai virš įėjimo durų. Į patalpas patenkantis oro kiekis kelis kartus viršija norminius reikalavimus, patekęs oras šilumą iš patalpų išneša per natūralios traukos vėdinimo kanalus. Panašios problemos yra kitų tipų pastatuose, kurie ilgus metus negauna reikiamos šeiminių priežiūros. Kadangi pastatai praktiškai nėra apšiltinti, o pridėjus ir anksčiau paminėtas problemas,

galima teigti, kad senos statybos daugiabučiai pastatai energiją naudoja labai neefektyviai. Energijos suvartojimas aptartas tolesniuose skyriuose.

Vertinant daugiabučio techninę būklę būtina apžvelgti ir jame įrengtas energiją vartojančias ir gaminančias inžinerines sistemas. Senos statybos daugiabučiuose pastatuose sunkiai rastume energiją generuojančių sistemų. Tuo tarpu šiuo metu sparčiai vykstanti šilumos gamybos decentralizacija veda prie individualių energiją generuojančių šaltinių. Visi seni daugiabučiai namai energija aprūpinami iš miesto tinklų. Didžioji dalis pastatų šilumos punktų yra modernizuoti, tačiau kitų energiją taupančių priemonių nėra diegiama. Dauguma pastatų šiluma aprūpinami iš miesto centralizuoto šilumos tiekimo sistemų, kurios didžiąją dalį šilumos generuoja deginant gamtines dujas, priskiriamas prie iškastinio kuro. Tokio tipo kuro aplinkosauginiai ir ekonominiai trūkumai buvo aptarti darbo įvade ir problemos nagrinėjime. Centralizuotas šilumos tiekimas yra didelė sistema, kuriai nėra lengva greitai perimti naujoves ar pereiti prie kitos kuro rūšies. Dar vienas didelis trūkumas yra tai, kad šildymo sistemos įrengtos be individualaus reguliavimo ir apskaitos. Dažnai pasitaikantis šildymo sistemos stovų balansavimo trūkumas bei vamzdynų izoliacijos nebuvimas. Norint pasiekti geresnius aplinkosauginius rodiklius reikalinga įdiegti visą kompleksą priemonių, kurioms priklauso ir AEI naudojančios sistemos. Būtina paminėti, kad efektyvus AEI naudojančių sistemų pritaikymas tikslingas tik renovuotuose ir energiją taupančiuose pastatuose. Šių technologijų pritaikymo galimybės aptartos 4 skyriuje.

4.2. Daugiabučių namų šilumos poreikio ypatybės

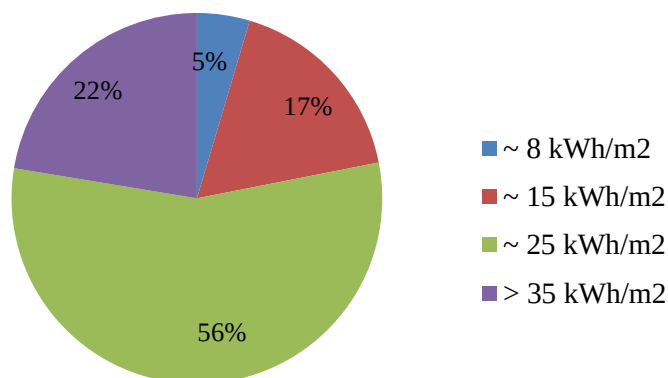
Šiuo metu Lietuvoje apie 1,64 mln. gyventojų (maždaug 547 tūkstančių butų) gyvena daugiabučiuose namuose, kurių būklė šilumos vartojimo požiūriu labai prasta. Lietuvos ūkio energijos suvartojime daugiabučiai namai sunaudoja nemažą dalį energijos [22]. Duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Metinis energijos taupymo potencialas pagal sektorius [22]

Energijos naudojimo sritis	Galutinis energijos suvartojimas, TWh	Taupymo potencialas, TWh	Taupymo potencialas, %
Daugiabučiai	9,5	3,00	27,40 %
Viešieji pastatai	4,8	2,50	22,83 %
1-2 butų gyvenamieji namai	13,9	2,20	20,09 %
Pramonė	4,3	1,20	10,96 %
Prekyba ir paslaugos	3,1	1,00	9,13 %
Transportas	14,3	0,92	8,40 %
Žemės ūkis	1,2	0,13	1,19 %

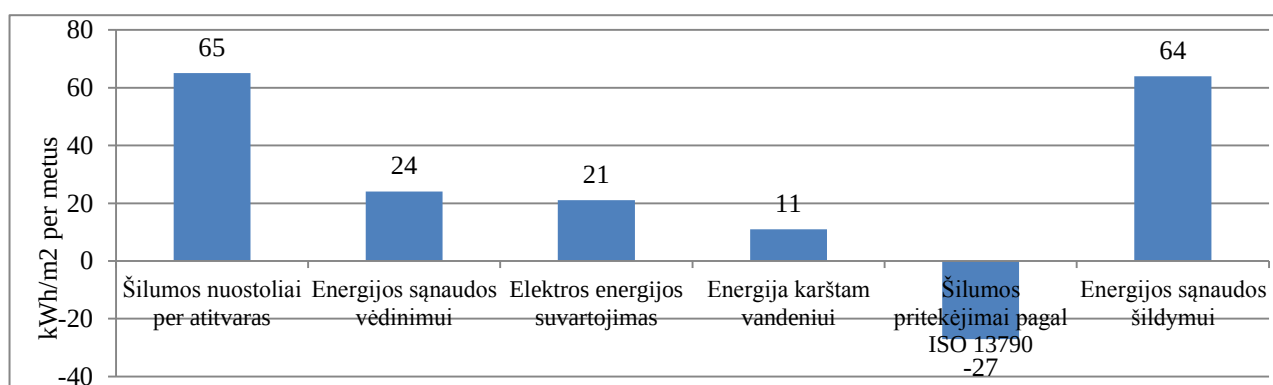
Iš lentelės duomenų matyti, kad daugiabučiai namai turi didžiausią energijos taupymo potencialą iš visų išvardintų sričių. Visas galimas sutaupymas laikomas 3 TWh energijos. Gauti skaičiavimai buvo gauti laikant, kad pastatuose bus laikomasi visų higienos ir techninių reikalavimų, kuriuos reglamentuoja Lietuvos įstatymai ir reglamentai. Kiekvienas daugiabutis namas su savo

individualia konstrukcijų ir sistemų būkle vartoja skirtingą energijos kiekį. Lietuvoje Daugiabučių namų klasifikavimas pagal energijos suvartojimą šildymui pateiktas 2 pav. [22].



2 pav. Daugiabučių namų suskirstymas pagal šildymo sąnaudas kWh/m² per mėnesį [22]

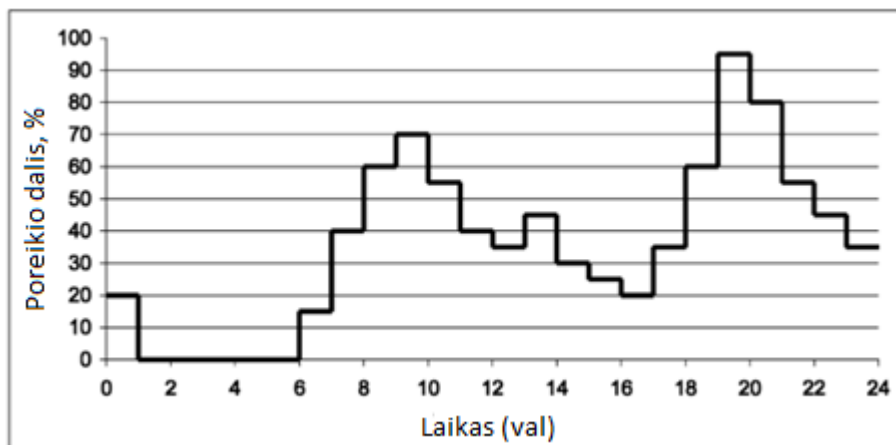
Tokie rezultatai gaunami dėl to, kad pastatų inžinerinės sistemos dirba neefektyviai ir atitvarų šiluminės charakteristikos netenkina statybos normatyvinių dokumentų reikalavimų [23]. Iš grafiko duomenų matyti, kad didžioji dalis daugiabučių namų šilumą naudoja neefektyviai ir dauguma pastatų nepatenka į mažai energijos naudojančių pastatų grupę. Mažai energijos naudojančių pastatų grupei pagal galiojantį reglamentą [24] priskiriami pastatai, kurie patenka į B, A, A+ ir A++ energinio naudingumo klases. Daugiausia renovuojamų pastatų patenka į D ir E energetines naudingumo klases, o juos renovavus, dažniausiai siekia C, retais atvejais B klasę. Pagal statistinius duomenis gauta B klasės daugiabučių pastatų energijos sąnaudų struktūra pateikta 3 pav.



3 pav. B energetinės klasės daugiabučio energijos sąnaudų struktūra kWh/m² per metus

Iš lentelės duomenų matyti, kad daugiausiai energijos suvartoja šildymo sistema šilumos nuostoliams kompensuoti. Šalies nacionalinėje darnaus vystymosi strategijoje kaip Lietuvos energetikos ir būsto silpnybės pažymėta, kad dauguma vartotojų negali savarankiškai reguliuoti suvartojamos šilumos kiekio, sumažinti neracionalių jos sąnaudų. Grafike pateiktus duomenis pavertus

į pirminės energijos kiekius gautume, kad elektros energijos sąnaudos sudaro kur kas didesnę dalį reikalingo poreikio. Karšto vandens ruošimui suvartojamas energijos kiekis skirtinguose namuose gali prilygti šildymo sistemos suvartotam energijos kiekiui, o renovuotose ar naujos statybos namuose karšto vandens ruošimas dažnai reiklesnis energijai nei šildymas. Dėl šios priežasties karšto vandens ruošimo technologijos privalo sulaukti didelio dėmesio ir būti nagrinėjamos kaip didelį taupymo potencialą turinti sritis. Daugiabučio namo karšto vandens poreikio kitimas paroje pavaizduotas 4 pav.

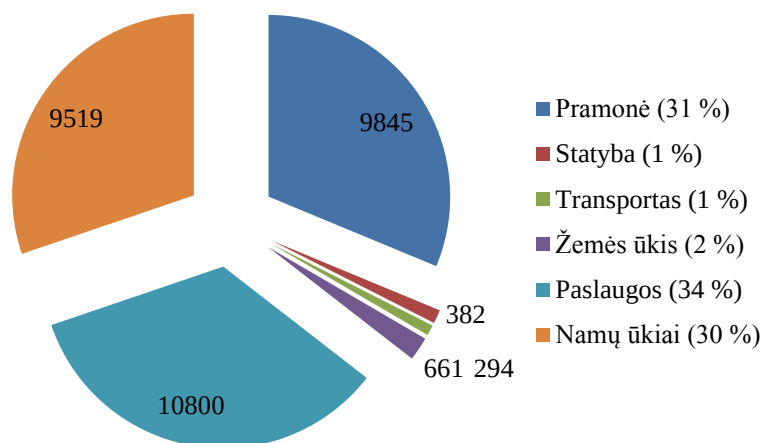


4 pav. Karšto vandens poreikio kitimas paroje [25]

Kaip matyti iš pateikto grafiko, didžiausias poreikis pastebimas 20 val. vakare ir spartus poreikio didėjimas nuo 6 val. ryto.

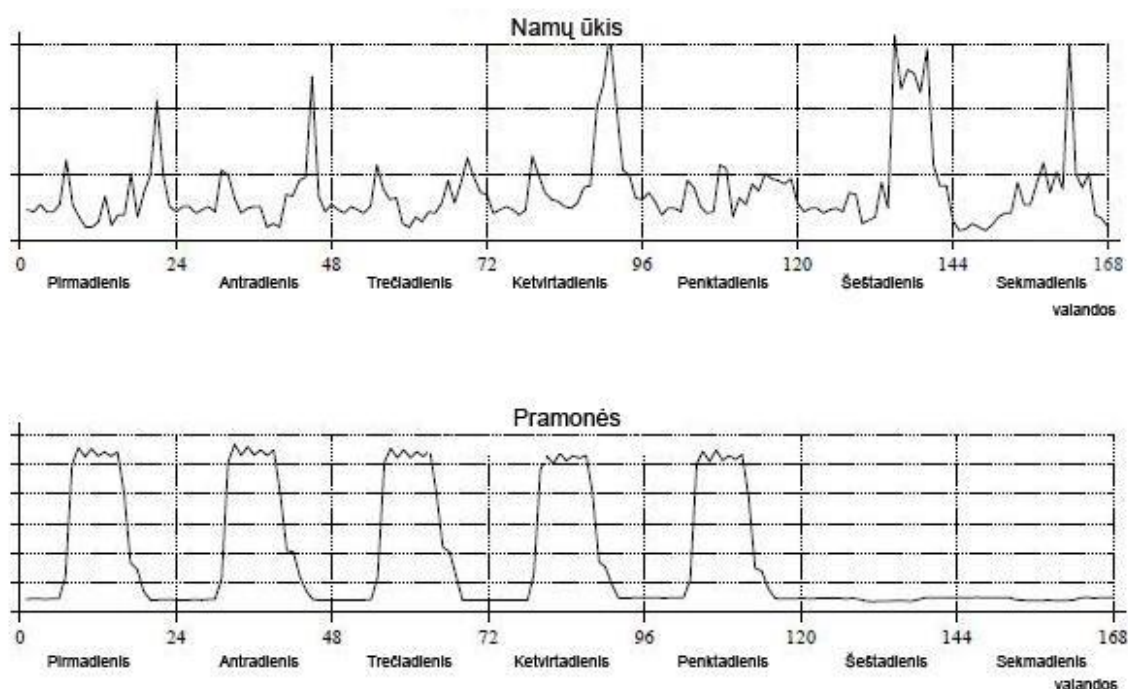
4.3. Daugiabučių namų elektros energijos poreikio ypatybės

2012 metais Lietuvoje buvo suvartota 10,6 TWh elektros energijos, o tai 2 procentais daugiau nei 2011 metais. Augantis energijos poreikis priklauso nuo daugelio kriterijų, tačiau pagrindinį galime laikyti augantį Lietuvos ūkį. Elektros suvartojimas augo visuose ūkio šakose. Didžiausias elektros suvartojimas pastebėtas žemės ūkyje – 12 %, transporto sektorius – 10 %, pramonės suvartojamas kiekis 2,6 % lyginant su 2011 metais. Nežymus augimas pastebėtas paslaugų sektoriuje bei namų ūkiuose – atitinkamai 1,6 % ir 1 %. Galutinis energijos suvartojimas pagal ūkio šakas pateiktas 5 pav [10].



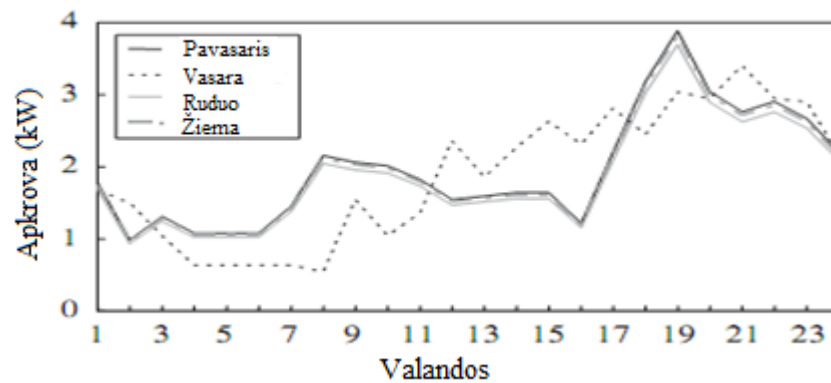
5 pav. Galutinis elektros energijos suvartojimas pagal ūkio šakas 2012 m. [TJ]

Gauti duomenys atskleidė, kad namų ūkiai suvartoja apie 30 % elektros energijos. Teigiama, kad beveik kas trečias Lietuvos gyventojas šią energiją vartoja neracionaliai. Elektros energijos suvartojimas, bei reikalaujamos galios skirtingų tipų pastatuose labai skiriasi. 6 pav. pateikta pramonės ir tipinio namų ūkio elektros vartojimo ypatybės.



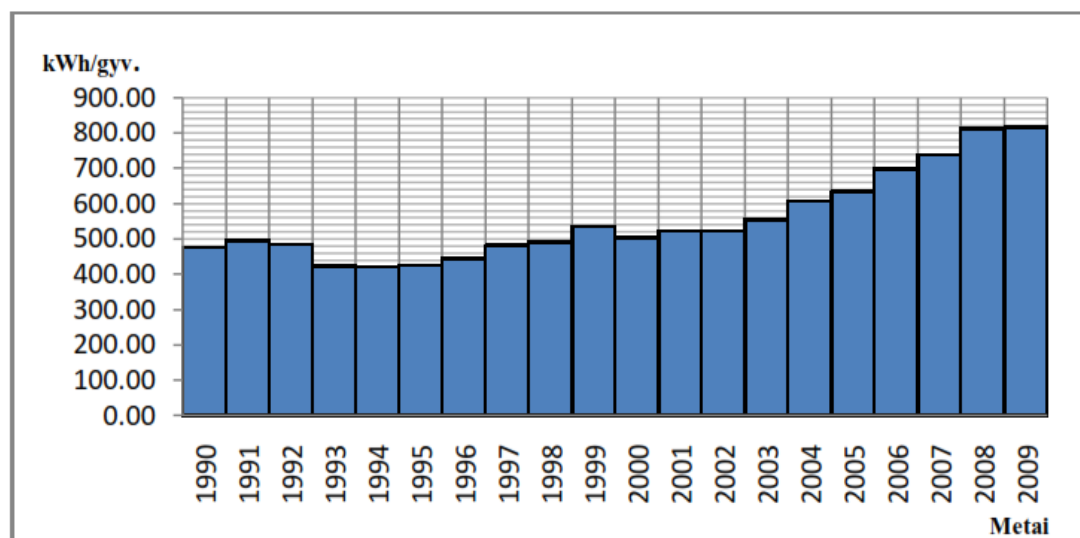
6 pav. Elektros energijos sistemos skirtinguose objektuose [26]

Kaip matyti iš pateiktų grafikų pramonės elektros vartojimas dėsningas ir vienodas. Tuo tarpu namų ūkio elektros vartojimas nėra dėsningas ir kiekvienoje savaitės paroje netolygus. Taip pat galima pastebėti, kad dienos bėgyje galima išvėlgti du elektros apkrovų pikus, o didžiausia apkrova pastebima šeštadienį. Elektros apkrovos taip pat šiek tiek skiriasi skirtingais metų laikais 7 pav.



7 pav. Elektros vartojimas skirtingais metų laikais [27]

Vasaros periodo vartojimo sumažėjimas aiškinamas tuo, kad dalis gyventojų atostogauja, laikinai pakeičia savo gyvenamą vietą, ar mažiau būna namuose. Kitais metų laikais elektros energijos vartojimo kitimas yra beveik vienodas. Daugiabučio namo sunaudotą elektros energijos poreikį sudaro butų ūkių ir bendrų inžinerinių sistemų sunaudota energija. Butų ūkių vidutinis elektros energijos poreikis tenkantis vienam gyventojui 1990–2009 metais pateiktas 8 pav.



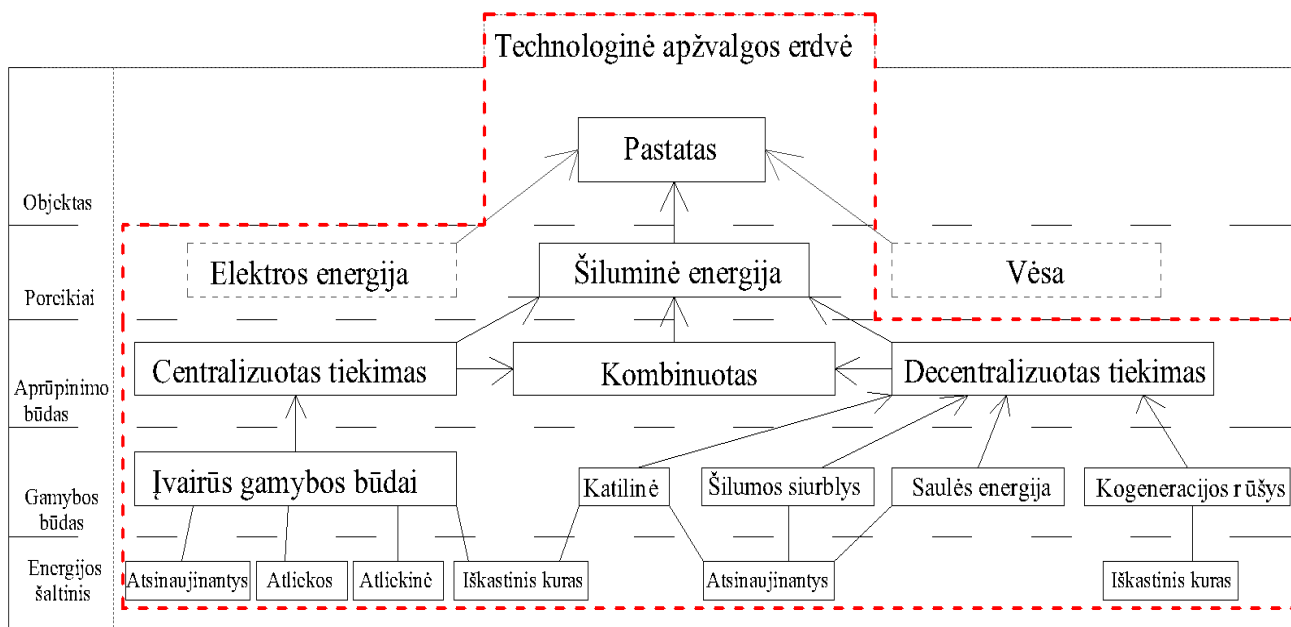
8 pav. Elektros energijos kiekis suvartotas namų ūkiuose tenkantis vienam gyventojui [26]

Kaip matyti iš grafiko elektros energijos poreikis nuo 1995 metų smarkiai išaugo. Bendras daugiabučio namo sunaudotas elektros energijos kiekis priklauso nuo:

- Gaunamų vartotojų pajamų;
- Vartotojų skaičiaus;
- Butuose turimos įrangos;
- Žmonių įpročių;
- Inžinerinių sistemų kiekio pastate;
- Inžinerinių sistemų efektyvumo.

5. Galimi aprūpinimo energija technologiniai sprendimai

Prenkant aprūpinimo būdus energija tiriamam daugiabučiui, buvo peržvelgta daug įvykdytų projektų, bei atliktų tyrimų. 9 pav. pateikti galimi energijos šaltiniai bei atliekamo tyrimo ribos energijos šaltinių įvairovė.



9 pav. Aprūpinimo energija technologijos ir šaltinių rūšys

Energijos gamyba įmanoma iš įvairiausių šaltinių ir gamybos būdų. Kaip pavaizduota 8 pav. galimas energijos generavimas iš iškastinio kuro ir atsinaujinančių energetinių išteklių naudojančių šaltinių. Kadangi didelis pirminės energijos naudojimas sukelia neigiamus padarinius, šiame tiriamajame darbe bus stengiamasi naudoti AEI naudojančius įrenginius. Šiuo metu populiariausi AEI yra saulės energija, biomasė, vėjas bei geoterminė energija. Dalis technologinių sprendimų pritaikymas ir įrengimas negalimas dėl pastatų konstrukcijos, paskirties, geografinės padėties ir įvairių kitų apribojimų. Kadangi daugiabutis namas nevartoja vėsos, šiuo atveju bus apžvelgiama tik elektros ir šiluminės energijos generavimo būdai. Šiais laikais vis daugiau dėmesio skiriama atsinaujinančiųjų energijos išteklių įsisavinimui bei energijos taupymo priemonėms.

Saulės energija. Saulės energijos panaudojimas galimas dviem būdais:

- Pasyvūs saulės energijos panaudojimas – kai atitinkamai suprojektuota sistema nereikalauja papildomos energijos jos veikimui ir eksploatacijai. Šie būdai reikalauja žymiai mažesnių investicijų.
- Aktyvūs saulės energijos panaudojimas – tai būdai, kai aktyviosios sistemos naudoja išorinę energiją jų veikimui. Aktyviuosius taupymo būdus reikia taikyti jau po pasyviųjų taupymo būdų įdiegimo.

Kadangi tiriamasis objektas jau pastatytas, bus nagrinėjami aktyvūs saulės energijos panaudojimo būdai. Saulė gali būti naudojama – šilumos ir elektros gamyba. Įrengus papildomus įrenginius įmanomas ir vėsos generavimas. Šilumos gamyba vyksta naudojant terminius plokščiuosius arba vakuuminius saulės kolektorius, kurie saulės spinduliuotę verčia šilumine energija. Saulės energijos kiekis krentantis į horizontalų paviršių Lietuvoje yra apie 1000 kWh/m². Pagamintą šilumą galima naudoti, karšto vandens ruošimui, šildymui, vėsinimui. Visi saulės kolektoriai turi bendrus du pagrindinius elementus – šilumą sugeriančią plokštelę absorberį ir akumuliacinę talpą. Akumuliacinė talpa reikalinga dėl to, kad šilumos gamyba ir šilumos vartojimas nesutampa. Kitas saulės energijos panaudojimo būdas yra saulės elementai elektros gamybai. Šie įrenginiai saulės šviesą tiesiogiai verčia elektros energija. Pagaminta elektros energija gali būti akumuliuojama baterijose ir naudojama gamybos vietoje, bet dažniausiai saulės elementais pagaminta elektra iš karto parduodama į šalies elektros tinklus. Išnaudojus visą pastato stogo plotą, saulės kolektorių ir elementų įrengimui galima panaudoti pastatų langus gaminančius elektros energiją arba sistemas montuoti ant pastato sienų.

Šilumos siurbliai. Šilumos siurbių panaudojimas energijos gamybai labai platus. Šie įrenginiai būna keleto rūšių: oras–vanduo, gruntas–vanduo, vanduo–vanduo. Visų šilumos siurbių veikimo principas panašus: iš žemesnės temperatūros šaltinio energija perduodama aukštesnės temperatūros šaltiniui. Pagrindinis šilumos siurbių minusas – jie vartoja pakankamai nemažai aukštos kokybės energijos rūšies t. y. elektros energijos. Šilumos siurblio kompresorius paimdamas aukštesnės kokybės, daugiau eksergijos turintį energijos vienetą, jį padaugina keletą kartų, bet gauta energija turi mažesnio potencialo eksergiją. Šiuo metu populiariausi šilumos siurblio panaudojimo būdai yra kai šilumos šaltinis oras arba gruntas. Iš grunto energija gali būti imama dviem būdais – vertikaliu arba horizontaliu šilumos surinkimo kontūrais.

Biokuras. Šis kuras katilinėse naudojamas malkų, granulių, smulkintos medienos, pjuvenų ar šiaudų pavidalu. Laikoma, kad biomasė yra vienas iš AEI, kurio degimo metu išsiskyręs anglies dvideginio kiekis nelaikomas klimato kaitą sukeliančiu veiksniu. Dėl šios priežasties biokuras yra puiki priemonė mažinant anglies dvideginio išmetimus. Atskiruose objektuose biokuras gali būti deginamas įvairaus tipo katiluose. Šio kuro deginimas turi nemažai privalumų, bet ir trūkumų. Trūkumai: šilumos tiekimo patikimumas, didelės investicijos, reikalingas personalas, kuro sandėliavimas, vietinė oro tarša, sunki apskaita, katilinės patalpos griežtesni reikalavimai. Privalumai: nepriklausomumas, kuro kaštai, nėra šilumos tiekimo nuostolių, pasirinkimo laisvė.

Iškastinis kuras. Prie iškastinio kuro priskiriama: nafta, gamtinės dujos, anglis, dalinai durpės. Populiariausias kuras šiuo metu energijos gamyboje yra gamtinės dujos. Tai pagrindinis kuras naudojamas centralizuotame šilumos tiekime. Šis kuras labai patogus ir jo naudojimas nėra sudėtingas. Gamtinių dujų žemutinė degimo šiluma yra apie 9,3 kWh/n.m³. Didelis šio kuro privalumas yra katilų įrengimo kaštų nedidelė kaina. Taip pat įrengus katilą naudojantį gamtines dujas, nereikalingas

papildomas personalas jo eksploatacijai. Lyginant su kitomis iškastinio kuro rūšimis šis kuras pakankamai ekologiškas. Pagrindinis šio kuro trūkumas yra tai, kad prieš dešimtmetį gamtinių dujų kaina buvo kelis kartus mažesnė nei dabar, todėl būtina ieškoti alternatyvių šaltinių galinčių jas pakeisti. Šio kuro didelę kainą lemia tai, kad Lietuvai dujas tiekia vienintelis tiekėjas iš Rusijos.

6. Tyrimo objektas

Darbe bus analizuojamas renovuotas tipinis daugiabutis namas esantis Vilniaus mieste, Šeimyniškių g. 36. Daugiabučio gyvenamojo namo statybos pabaigos metai yra 1976. Tiriamojo objekto nuotrauka pateikta 10 pav.



10 pav. Daugiabutis namas Šeimyniškių g. 36

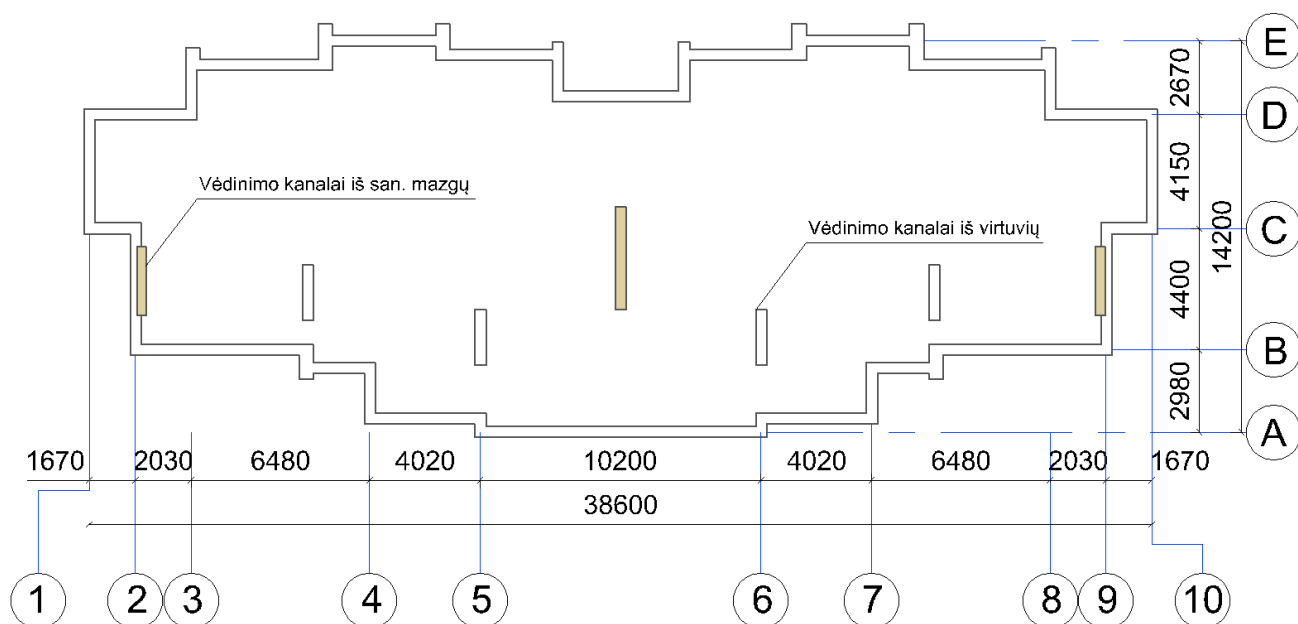
Šis namas yra 5 aukštų su rūsiu. Rūsysis nešildomas, išorinės sienos iš 540, 420 mm plytų mūro, tinkuotos. Pastato stogas sutapdintas, o perdangos – gelžbetoninės. Visi langai pakeisti naujais sandariais. Žemės sklypas, kuriame stovi daugiabutis namas, nėra bendrijos nuosavybė. 3 lentelėje pateikti bendrieji statinio rodikliai.

3 lentelė. Bendrieji statinio rodikliai

Bendras gyvenamasis plotas, m ²	1099,06
Pastato tūris, m ³	8901
Butų skaičius	20
Pastato aukštų skaičius	5

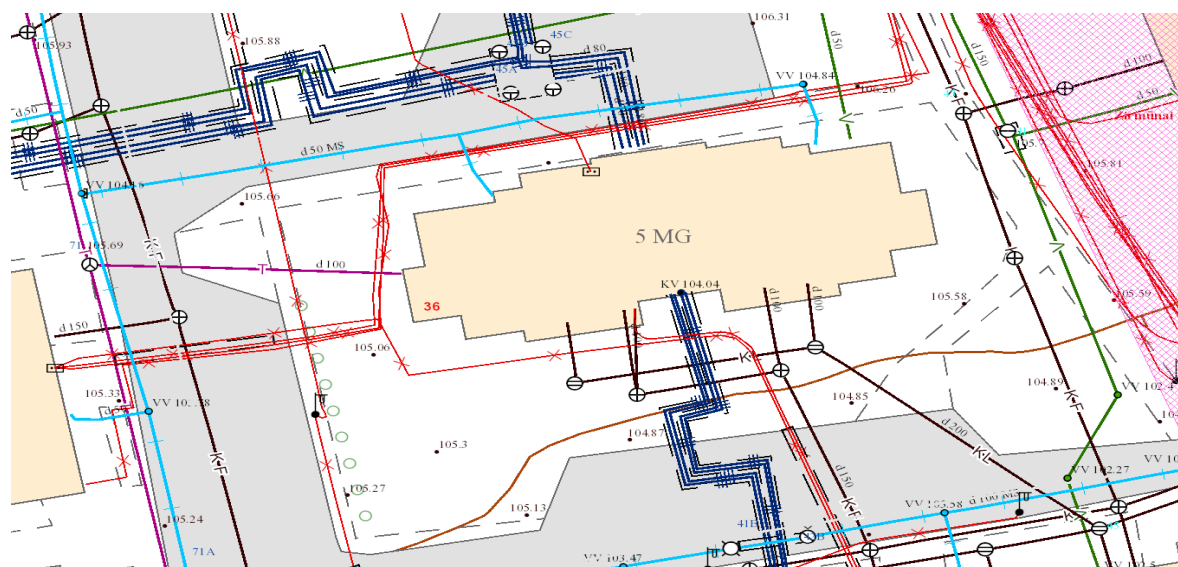
Pastatas dalinai renovuotas 2008 metais. Po renovacijos fasadinių sienų šilumos perdavimo koeficientas 0,24 W/m²K, cokolio 0,30 W/m²K. Šilumos punktas renovuotas, pastatas šiluma

aprūpinamas iš centralizuotų šilumos tinklų pagal nepriklausomą schemą. Elektros energija pastatas aprūpinamas miesto elektros tinklų. Pastato planas pateiktas 11 pav.



11 pav. Tyrimo objekto stogo planas

Pagrindinis pastato fasadas orientuotas į šiaurę. Pastatas turi dvi laiptines. Patalpų aukštis šviesioje yra 2,64 m., o aukšto aukštis 2,8 m. Kaip matyti iš 11 pav. pastato forma nėra sudėtinga. Pastatas yra tarp tokio pat tipo pastatų. Pastato topo nuotrauka pateikta 12 pav.



12 pav. Nagrinėjamo daugiabučio namo lauko tinklai

Kaip matyti iš 12 pav. pastatas prijungtas prie centralizuotų šilumos tinklų, vandentiekio, elektros, fekalinės ir lietaus kanalizacijos tinklų. Daugiabutis namas nedideliu plotu apsuptas žalia veja, kurią riboja asfaltuotos gatvės ir automobilių stovėjimo aikštelės.

6.1.1. Karšto vandens sistemos poreikio ir galios nustatymas

Tiriamame pastate kiekviename bute įrengtos vonios. Prie karšto vandens cirkuliacinės sistemos prijungti rankšluosčių džiovintuvai.

Skaičiavimams atlikti naudojamosi [28] literatūroje nurodytais metodais.

Šilumos srautas (kW), reikalingas karštam vandeniui ruošti, paros intensyviausio karšto vandens naudojimo valandą apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_h = 1,16 \cdot G_h (\theta_h - \theta_c) + Q_N \quad (1)$$

čia: θ_h - karšto vandens, pratekėjusio per šildytuvą, temperatūra, (55) $^{\circ}C$;

θ_c - šalto vandens temperatūra prieš įtekėjimą į šildytuvą, (5) $^{\circ}C$;

Q_N - šilumos nuostolių srautas karšto vandens sistemoje, įvertinu tik rankšluosčių džiovintuvų atiduodamą šilumą, (1 vnt. = 200 W) Viso - 4 kW ;.

G_h - valandinis debitas $\left(\frac{m^3}{h} \right)$ paros intensyviausio naudojimo valandą apskaičiuojamas pagal formulę:

$$G_h = 0,005 \cdot q_h \cdot \alpha_h ; \quad (2)$$

čia: q_0^h - valandinis prietaiso čiaupo debitas, $\frac{l}{h}$; Priimu, kad yra lygus 200 $\frac{l}{h}$;

α_h - empirinis koeficientas, priklausantis nuo prietaisų skaičiaus ir jų panaudojimo tikimybės, nustatant valandinį prietaiso čiaupo debitą;

α_h - parenkamas pagal lenteles arba apskaičiuojamas pagal formulę.

1. Karšto vandens čiaupų vienalaikio veikimo tikimybė apskaičiuojama pagal formulę:

$$P = \frac{q_h^u \cdot U}{3600 \cdot q_0 \cdot N} ; \quad (3)$$

čia: q_h^u - karšto vandens sunaudojimo norma vienam naudotojui intensyviausio naudojimo valandą, $\frac{l}{h}$; parenkamas iš [26], kuris yra lygus 10,9 $\frac{l}{h}$;

U - vartotojų skaičius, (60) vnt ;

N - prietaisų, į kuriuos tiekiamas karštas vanduo sistemos dalyje, skaičius (60) vnt;

Tai:

$$P_1 = \frac{10,9 \cdot 60}{3600 \cdot 0,18 \cdot 60} = 0,0168. \text{ (PN = 1,009, tada } \alpha = 0,969.)$$

2. Panaudojimo tikimybė intensyviausio naudojimo valandą surandama pagal formulę :

$$P_h = \frac{11160 B^{-0,4} P q_0}{q_0^h} \quad (4)$$

čia: B – butų, kuriuose yra po 3 karšto vandens naudojimo prietaisus (praustuvas, plautuvė ir vonia), skaičius, vnt. (šiuo atveju B= 20).

$$P_{h1} = \frac{11160 \cdot 20^{-0,4} \cdot 0,0168 \cdot 0,18}{200} = 0,051. \text{ (P}_H\text{N= 3,06, tai } \alpha_h=1,84)$$

Didžiausias sekundinis karšto vandens debitas bet kurioje sistemos dalyje apskaičiuojamas taip:

$$g = 5 q_0 \alpha ; \quad (5)$$

Ir yra lygus: $g = 5 \cdot 0,18 \cdot 0,969 = 0,872 \text{ l/s.}$

Valandinis debitas paros intensyviausio naudojimo valandą apskaičiuojamas:

$$G_h = 0,005 \cdot 200 \cdot 1,84 = 1,84 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Šilumos srautas reikalingas karštam vandeniui ruošti, paros intensyviausio karšto vandens naudojimo valandą nustatomas taip:

$$Q_h = 1,16 \cdot 1,84 \cdot (55 - 5) + 4 = 110,72 \text{ kW.}$$

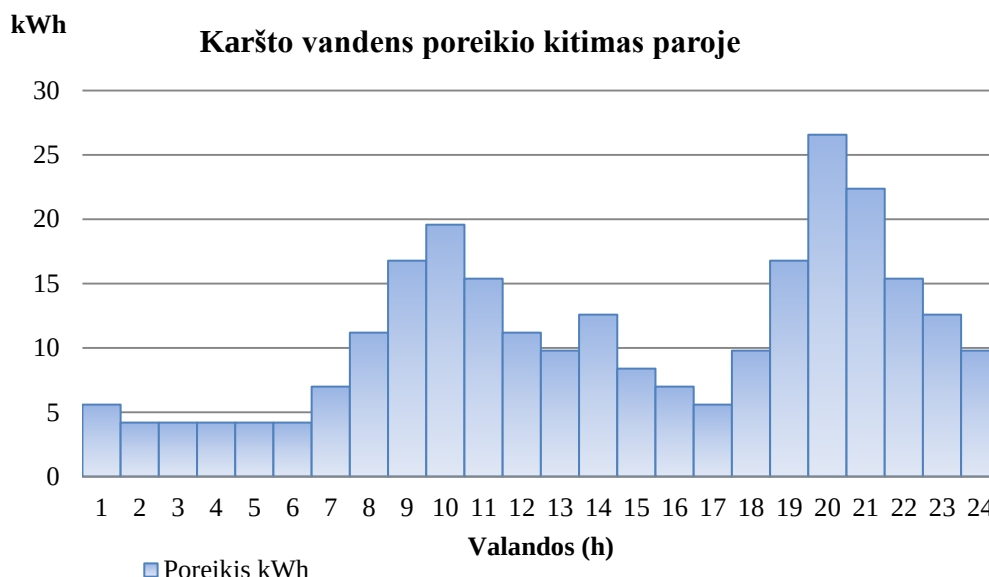
Nustatyta pastato karšto vandens sistemos galia lygi 110,72 kW.

Kad susidaryti pagrindą skaičiavimams, pagal pastato skaitliukų parodymus buvo gauti faktiniai trijų metų laikotarpio pastato šilumos suvartojimai. Kadangi daugiabučio renovacija buvo atliekama 2008 metais, buvo atrinkti dviejų metų, 2009-2010 ir 2010-2011, laikotarpio duomenys. Karšto vandens suvartojimo duomenys pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Daugiabučio namo faktiniai karšto vandens poreikiai MWh

Sezonas\Mėnuo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009 - 2010	9,22	8,98	8,22	9,15	9,00	6,87	6,59	6,93	8,51	7,83	8,70	9,21
2010 - 2011	8,32	8,62	8,31	7,89	7,97	6,71	6,33	6,80	7,80	8,19	8,30	8,11
Vidurkis	8,77	8,8	8,26	8,52	8,48	6,79	6,46	6,86	8,16	8,01	8,5	8,66

Pagal nustatytus duomenis 4 lentelėje, gauta, kad tiriamojo daugiabučio namo karšto vandens ir cirkuliacinės sistemos šilumos poreikis lygus 96,28 MWh. Tolimesniems skaičiavimams bus naudojami suvartojimų vidurkiai. Žinant apytikrius karšto vandens sistemų apkrovimus paroje [25], pagal nustatytus duomenis galima sudaryti karšto vandens vartojimo kitimą per parą:



13 pav. Šilumos poreikio karšto vandens sistemai kitimas per parą

Iš pateikto grafiko matyti aiškius poreikio padidėjimus ryte ir vakare. Intensyviausia karšto vandens vartojimo valanda yra nuo 8 iki 9 valandos, kurios metu sunaudojama 26,5 kWh šilumos. Nakties metu pastovus šilumos poreikis naudojamas cirkuliacinei sistemai per gyvatukus. Pagal normatyvus tokio daugiabučio namo karšto vandens cirkuliacinei linijai palaikyti reikia 160 kWh/butui per mėn., t. y. apie 38,4 MWh per metus. Atėmus cirkuliacinės linijos sunaudotą energiją gaunama, kad karšto vandens ruošimui sunaudojama 57,88 MWh šilumos.

6.1.2. Šildymo sistemos poreikio ir galios nustatymas

Pastato energijos poreikiai, nuskaityti nuo skaitiklio rodmenų 2009–2011 metais, buvo perskaičiuoti į norminius suvartojimus taikant dienolaipsnių metodą. Realius šilumos suvartojimus perskaičiuojant į norminius, standartinius metus, buvo naudotos šios prielaidos: Vidaus oro temperatūra 18 °C; Naudojamos faktinės šildymo sezono mėnesinės išorės oro temperatūros bei faktiniai šildymo sezono trukmės periodai. Gauti rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Šildymo sistemos poreikis

Mėnuo	2009 - 2010m.	2010 - 2011m.	Vidurkis
	MWh	MWh	MWh
Sausis	23,41	23,92	23,66
Vasaris	23,48	20,54	22,01
Kovas	14,02	15,06	14,54
Balandis	5,69	5,38	5,53
Gegužė	0,00	0,00	0,00
Birželis	0,00	0,00	0,00
Liepa	0,00	0,00	0,00
Rugpjūtis	0,00	0,00	0,00
Rugsėjis	0,00	0,00	0,00
Spalis	6,72	5,72	6,22
Lapkritis	9,45	10,63	10,04
Gruodis	22,90	19,24	21,07
$\Sigma=$	105,67	100,49	103,08

Gautas normalizuotas metinis šilumos poreikis šildymui lygus 103,08 MWh. Norminis metinis šilumos poreikis šildymui 1 m² ploto yra 93,79 kWh/m².

Laikant, kad paskutinių turimų duomenų duomenys tiksliausi, pagal 2010-2011 metų duomenis apskaičiuota esama pastato šiluminė galia:

$$H_{\text{š}} = Q_{\text{š}} \cdot \frac{\Theta_v - \Theta_{\text{š.p}}}{DL_f \cdot 24} \cdot 1,15 \cdot 100; \quad (6)$$

Čia: $H_{\text{š}}$ – šildymo galia su 15% atsarga [MW];

$Q_{\text{š}}$ – šildymo poreikis [MWh];

Θ_v - vidaus patalpų projektinė temperatūra °C; (Priimu 18 °C).

$\Theta_{\text{š.p}}$ - šalčiausia penkiadienio temperatūra °C; (Vilniuje -23 °C).

DL_f - faktiniai šildymo sezono dienolaipsniai.

$$H_{\text{š}} = 100,49 \cdot \frac{18 - (-23)}{3699 \cdot 24} \cdot 1,15 \cdot 100 = 53,37 \text{ kW};$$

Gauta tiriamojo pastato šildymo sistemos galia lygi 53,37 kW.

6.1.3. Elektros energijos poreikio nustatymas

Tiriamojo daugiabučio namo gyventojai už sunaudotą elektros energiją atsiskaito individualiai, todėl elektros energijos suvartojimai buvo paskaičiuoti naudojantis statistiniais duomenimis. Kadangi daugelio Lietuvos daugiabučių namų, pastatytų iki 1990 metų, inžinerinės sistemos panašios, gyventojų pajamos apylygės, elektros energijos poreikių paskaičiavimui pasitelkiu [26] autoriaus pateiktais santykiniais elektros suvartojimo rodikliais, kurie pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Elektros energijos santykinis suvartojimas kWh/m² per mėnesį

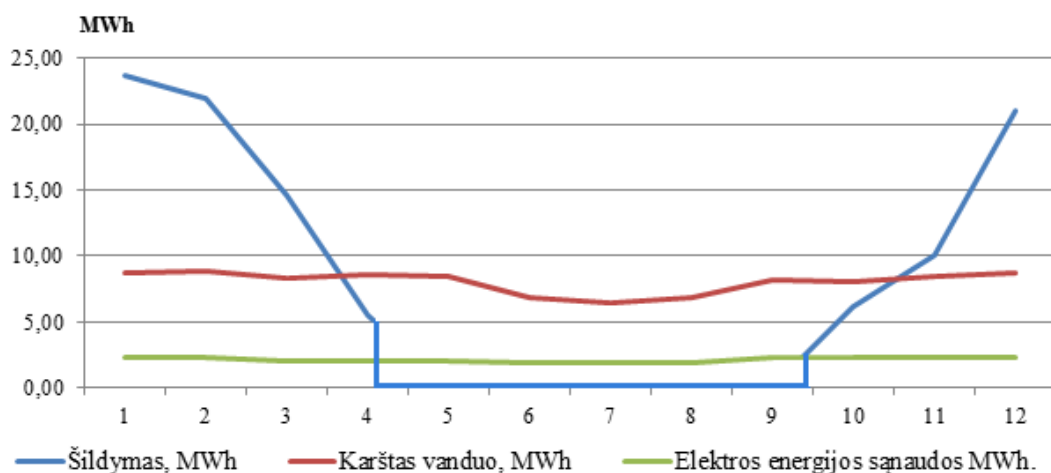
Metai	Vasara	Ruduo	Žiema	Pavasaris
2004	1,53	1,6	1,82	1,58
2005	1,65	1,63	1,75	1,76
2006	1,66	1,75	1,66	1,64
2007	1,67	1,81	1,83	1,63
2008	1,73	2,42	2,1	1,9
2009	1,77	2,00	2,34	1,87
Vidurkis	1,72	2,08	2,09	1,80

Lentelėje pateikti santykiniai mėnesiniai suvartojamos elektros energijos dydžiai. Kadangi pastebimas elektros energijos poreikių didėjimas kiekvienais metais, skaičiavimams bus naudojami paskutinių trijų metų duomenys. Pagal gautus vidurkius ir tiriamojo objekto gyvenamąjį plotą nustatomas elektros suvartojimas. Gyvenamasis tiriamo objekto plotas 1100 m². Skaičiavimo rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Elektros energijos poreikis

Mėnuo	kWh _e /m ²	Elektros energijos poreikis MWh.
Sausis	2,09	2,30
Vasaris	2,09	2,30
Kovas	1,80	1,98
Balandis	1,80	1,98
Gegužė	1,80	1,98
Birželis	1,72	1,89
Liepa	1,72	1,89
Rugpjūtis	1,72	1,89
Rugsėjis	2,08	2,28
Spalis	2,08	2,28
Lapkritis	2,08	2,28
Gruodis	2,09	2,30
Σ=		25,36

Elektros energijos metinis poreikis tiriamajam objektui yra 25360 kWh. Galima pastebėti, kad elektros energijos poreikis vasaros periodu pastebimai sumažėja. Panaši situacija yra ir su karšto vandens suvartojimu. Būtina paminėti, kad į šį elektros energijos poreikį nėra įskaičiuota bendrų pastato inžinerinių sistemų veikimui sunaudojama energija. Bendras pastato energijos poreikių grafikas pateiktas 14 pav.



14 pav. Pastato energijos poreikiai metų bėgyje

Kaip matome, karšto vandens ir elektros energijos poreikis visus metus išlieka panašus, tuo tarpu šildymas reikalingas tik šildymo sezono metu.

7. Metodologija

Tyrimo metu, naudota:

1. Gyvavimo ciklo analizės metodas;
2. Daugiakriterinės analizės metodas (3E kriterijai);
3. Programinė įranga:
 - Modeliavimo programa *EnergyPRO*;
 - *SimaPro*;
 - *Retscreen*;
 - Kitos įrangos parinkimo programos.

7.1. Gyvavimo ciklo analizė

Gyvavimo ciklo analizė (ang. life-cycle analysis) – tai produkto (ar sistemos) tiesioginių ir netiesioginių veiksmų aplinkai ir visuomenei nustatymas per visas jo gyvavimo fazes: gamybą, įrengimą, naudojimą ir sunaikinimą. Gyvavimo ciklo analizė – tai metodas, apimantis veiksmų etapus, įvertinant galimus veiksmus ir interpretuojant rezultatus, kurie susiję su produkto ar proceso įtaka žaliavoms, energijai ir aplinkai, nuo jų atsiradimo iki sunaikinimo.

Gyvavimo ciklo analizė negali užtikrinti viską apimančio ir absoliučiai tiksliai įvertinančio tyrimo, kadangi yra parengiama daugybė prielaidų, kurios reiškia, jog gyvavimo ciklo analizė visada turi tam tikrą paklaidą.

Gyvavimo ciklo analizės etapai:

1. Tikslas ir apimties nustatymas;
2. Inventorinė analizė;
3. Poveikio įvertinimas;
4. Interpretavimas.

Nagrinėjant bet kurią sistemą gyvavimo ciklo analizės metodu, išskirtos 4 pagrindinės fazės:

- Įrenginių gamybos;
- Transportavimo;
- Naudojimo;
- sunaikinimo – perdirbimo.

Darbe šiuo metodu nagrinėjami technologiniai sprendiniai, atliekama gyvavimo ciklo analizė per sistemų gyvavimo laiką. Šio metodo pagalba nustatytos labiausiai teršiančios gyvavimo ciklo fazės, bei gamtą mažiausiai teršiančios sistemos.

Sistemų gyvavimo ciklo analizė atlikta naudojant „Sima Pro 7.1“ programą, kuria galima apskaičiuoti energijos ir išmetalų srautus. Tyrimui reikalingiems duomenims (įeigos ir išeigos srautai), surinkti panaudotos specializuotos kompiuterinės programos *SimaPro7.1* duomenų bazės.

Inventorinės analizės rezultatams įvertinti ekologiniu požiūriu pasirinktas šiltnamio efektą skatinančių dujų (CO_2) išsiskyrimo nustatymas. Visi išmesti teršalai perskaičiuoti į CO_2 ekvivalentus.

7.2. Daugiakriterės analizės metodas

Kiekviena šiuolaikinė sistema turi atitikti įvairiausiems reikalavimams bei kriterijus. Tačiau viena sistema gali turėti privalumų ir trūkumų. Dėl šios priežasties kiekvieną sistemą reiktų vertinti keliais požiūriais. Šiame darbe pasirinktos sistemos nagrinėjamos daugiakriterės analizės metodu, kurios kriterijai yra vieni pagrindinių darniosios plėtros principų. Dažniausiai darnią plėtrą lemia nepakankamas iškastinio kuro kiekis, aplinkos tarša, todėl visas šias problemas reikia įvertinti pasirenkant vieną ar kitą sprendimą.

Nagrinėjant pasirinktus technologinius sprendimus energijos aprūpinime, rezultatai lyginami remiantis daugiakriteriu dydžiu, kuris apima tris kriterijus: pirminės energijos poreikį, išlaidas ir aplinkos taršą. Faktorius, kuris apibendrina juos visus, pavadintas 3E (energija, ekonomika, ekologija) [29].

Šis faktorius dažniausiai naudojamas analizuojant sistemą ar optimizuojant kokį nors tos sistemos parametą per visą jos gyvavimo ciklą (sistemos sukūrimas, naudojimas ir sunaikinimas). Analizuojant sistemą gyvavimo ciklo požiūriu reikia surinkti daug papildomų duomenų, kurie apima pirminės energijos faktinius poreikius ir teršalų emisiją atskirų sistemos elementų sukūrimui, transportavimui ir montavimui. Ekonominio kriterijaus skaičiavimo atveju įvertintos išlaidos kurui,

eksploatacijai bei priežiūrai ir investicijos naujų elementų įrengimui. Gauti rezultatai pagal savo skaitines ir dimensines vertes yra skirtingi, todėl atsiranda poreikis surūšiuoti rezultatus bei gauti nedimensinius dydžius, kuriuos galima būtų lyginti. Tam tikslui gali būti sudaryti nedimensiniai rodikliai, kurie įvertina tos pačios rūšies rezultatus (energijos, išlaidų ar CO₂ kiekių) vieneto dalimis, t. y. mažiausias skaitinis rezultatas įvertinamas nulių, o didžiausias – vienetu. Rezultatų perskaičiavimui į nedimensinius dydžius naudojamos formulės (1, 2, 3) nedimensiniams rodikliams skaičiuoti [30]:

$$e_n = 1 - \frac{E_{\max} - E_n}{E_{\max} - E_{\min}}; \quad (7)$$

$$k_n = \frac{K_{\max} - K_n}{K_{\max} - K_{\min}}; \quad (8)$$

$$c_n = \frac{C_{\max} - C_n}{C_{\max} - C_{\min}}; \quad (9)$$

Čia: e_n , k_n , c_n – energinis, ekonominis ir ekologinis n-tojo skaičiavimo varianto rodikliai; $E_{\max}$, $K_{\max}$, $C_{\max}$ – didžiausi variantų energijos poreikiai, išlaidos ir CO₂ emisija; $E_{\min}$, $K_{\min}$, $C_{\min}$ – mažiausi variantų energijos poreikiai, išlaidos ir CO₂ emisija; E_n , K_n , C_n – n-tojo varianto energijos poreikiai, išlaidos ir CO₂ emisija.

Siekiant nustatyti optimalų visais trimis požūriais variantą, įvedamas vienas energinis-ekonominis-ekologinis (3E) rodiklis, kuriam nustatyti naudojama formulė:

$$3E = e_n \cdot s_e + k_n \cdot s_k + c_n \cdot s_c; \quad (10)$$

Čia s_e , s_k , s_c – energinio, ekonominio ir ekologinio rodiklio svarbos (svorio) koeficientai.

Šių koeficientų reikšmės gali būti pasirenkamos, atsižvelgiant į analizės paskirtį (interesų grupę) arba ekspertiniu būdu. Didesnė reikšmė priskiriama tam koeficientui, kuris yra svarbesnis atliekamai analizei (koeficientų suma turi būti lygi vienetui). Svertiniai rodikliai gali būti nustatyti apklausos būdu, tačiau tuomet galutiniai rezultatai labai priklausytų nuo apklaustųjų žmonių gyvenamosios vietos, gaunamų pajamų ir kitų faktorių. Dėl šios priežasties šiame tiriamajame darbe visi rodikliai yra vienodai svarbūs, jų svorio koeficientai yra lygūs ($s_e = s_k = s_c = 1/3$). Geriausiu variantu laikomas variantas su didžiausiu 3E rodikliu.

Darbe buvo analizuoti šie atskirų variantų rodikliai:

- šilumos gamybos efektyvumas;
- šilumos kaina;

- bendra CO₂ (ekv) emisija;

Analizuojamų sistemų kompleksinį modelį galima išreikšti žemiau pateikiama lygtimi, kuri apibūdina visus pagrindinius dydžius/kintamuosius, turinčius didžiausią įtaką daugiakriteriniam 3E rodikliui.

$$3E = f(K_1, K_2, K_3, \dots, K_n) \Rightarrow \min; \quad (11)$$

Čia $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ – nagrinėjamų energinių, ekonominių ir ekologinių rodiklių koeficientai.

Nagrinėjant kelis sistemos variantus mažiausia rodiklio reikšmė nurodo energiniu, ekonominiu ir ekologiniu požiūriu geriausią sprendimo variantą. Išsprendus minėtą lygtį pagal daugiakriterių rodiklį, galima per nagrinėjamą laikotarpį kompleksiskai įvertinti alternatyvas ir parinkti tinkamą sprendimo variantą.

7.3. Analizei naudotos programos

Energijos gamybos sistemų darbas buvo modeliuojamas *EnergyPRO* kompiuterine programa. Tai pilno modeliavimo programa kombinuotoms sistemos. Programa atlieka technoligines-ekonomines analizes, vykdo energetikos projektų optimizaciją. Ši programa skaičiuoja įvairiausius energijos generavimo būdus, jų kombinuotą veikimą, randa reikiamus kuro kiekius ir kitus svarbius rodiklius. Rezultatus programa atvaizduoja grafiškai, pateikia kumuliacinius gamybos grafikus. Šia programa sumodeliuotos sistemos, rastos jų kombinuotų darbo režimų ypatybės.

Sistemų elementų sudedamųjų medžiagų gamybos ir sunaikinimo fazių įeinantys ir išeinantys energijos bei teršalų srautai buvo nustatyti *SimaPRO* programa. Šioje programoje yra didelės duomenų bazės, kuriuose talpinamos įvairių medžiagų ir procesų charakteristikos. Aplinkos poveikis pasirinktinai gali būti nustatytas pagal daugelį įtakos kategorijų.

Taip pat buvo naudotasi tarptautinės švarios energijos projektų analizės programa „RetScreen“. Ši programa skirta ekonomiškai įvertinti įvairių atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą, jų atsipirkimą, skaičiuoti sukuriamą energijos kiekį per metus ir t. t. Programa padėjo nustatyti įvairius saulės kolektorių ir elementų parametrus. Sistemų komplektavimui buvo naudojamos įvairių gamintojų įrangos parinkimo programomis.

7.4. Skaičiavimuose priimtos prielaidos

Sistemų analizei bei modeliavimui buvo priimtos tokios prielaidos:

- Per 100 metų laikotarpį įrenginių parametrai, eksploataavimo ypatumai, sistemų charakteristikos ir klimato sąlygos nekinta;

- Duomenys, kurių gauti nepavyko, buvo pasirinkti racionaliai pagal analogiškų sistemų ir elementų rodiklius arba pagal kitų autorių atliktus tyrimus;
- Nagrinėjamų įrenginių gyvavimo laikotarpis nustatytas 100 metų;
- Gaminant medžiagas nevertinami ko-produktai;
- Transportavimas nagrinėjamas visose fazėse;
- Skaičiuojant transportavimą atstumai apytiksliai nustatomi iki medžiagų tiekimo ir sunaikinimo vietų;
- Sistemų elementai turintys mažiau nei 1 % įrenginio masės nevertinami dėl mažos įtakos;
- Šilumos punkto elementai, kurie tinka visoms sistemoms nėra vertinami.

8. Daugiabučio namo aprūpinimo energija technologiniai sprendiniai

Nagrinėjamų sistemų pavadinimų sutrumpinimai paaiškinti 8 lentelėje.

8 lentelė. Nagrinėjamos sistemos

Nr.	Sistemos pavadinimas	Sutrumpinimas
1.	Centralizuotas šilumos tiekimas	CŠT
2.	Šilumos siurblio oras–vanduo+saulės kolektorių ir elektrinio šildytuvo sistema	OŠS+SK+T
3.	Šilumos siurblio oras–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema	OŠS+SK+CŠT
4.	Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema	GŠS+SK+CŠT
5.	Dujinių katilų sistema	DK
6.	Saulės kolektorių ir dujinio katilo sistema	SK+DK
7.	Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių + saulės elementų ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema	GŠS+SK+SE+CŠT

8.1. Centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT)

Tai esama pastato šilumos aprūpinimo sistema. Pastatas visą reikalingą šilumą šildymui ir karštam vandeniui gauna iš centralizuotų Vilniaus šilumos tinklų. Šilumos punkto schema nepriklausoma nuo CŠT. Šis variantas pasirenkamas kaip bazinis, pagal kurį bus lyginami kiti technologiniai sprendimai. Pastatą šiluma aprūpina „Vilniaus energija“, kurios eksploatuojamos elektrinės yra termofikacinės. Laikoma, kad 20 % gamybos sudaro biokuro katilų pagaminama šiluma, o likusi dalis gaminama gamtinėmis dujomis. Trumpas sistemos veikimo aprašas: šiluma namui perduodama per du šilumos punkte esančius šilumokaičius, kurie sujungti su CŠT ir namo sistemomis. Vienas šilumokaitis karšto vandens sistemai, o kitas šildymo sistemai. Karšto vandens ruošimo šilumokaičio galia 110,72 kW, o šildymo sistemos šilumokaičio galia 53,37 kW. Reikalingas šilumos kiekis reguliuojamas debito ribotuvų ir jutiklių pagalba.

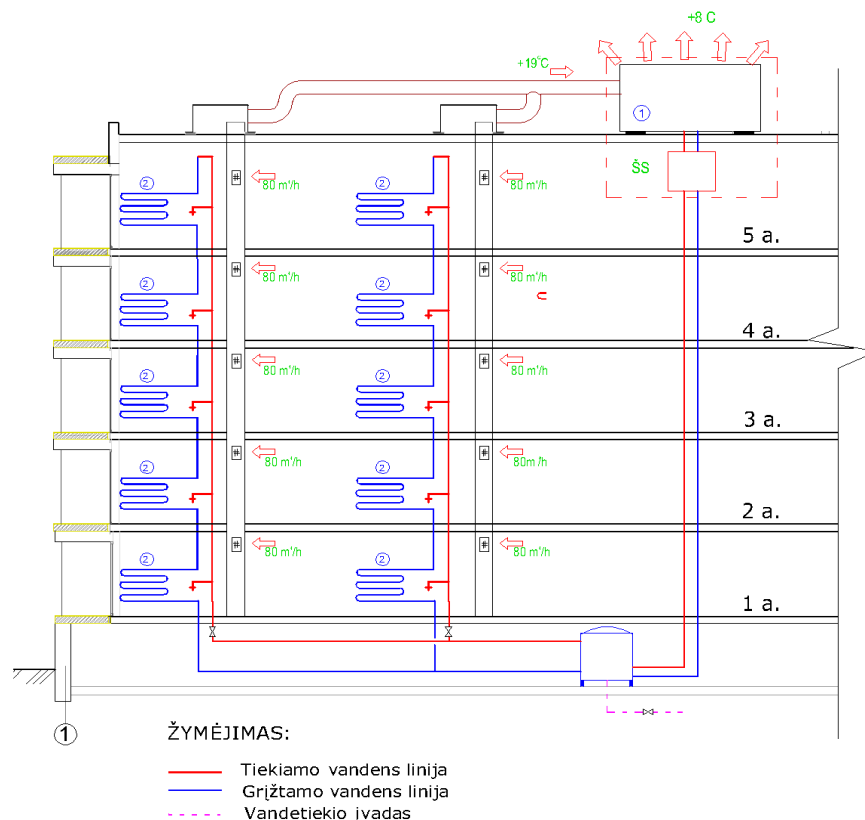
- Šilumokaitis karšto vandens sistemai – Plokštelinis variu lituotas „Sanistal“ CB27 24H - 56 kW. Šilumokaitis pagamintas iš nerūdijančio plieno lituotas variu. Nerūdijančio plieno kiekis 4,7 kg ir 0,2 kg vario. Šilumokaičio kaina 1976,00 Lt su PVM.
- Šilumokaitis šildymo sistemai – Plokštelinis variu lituotas „Sanistal“ CB27 50M - 110 kW. Šilumokaitis pagamintas iš nerūdijančio plieno lituotas variu. Nerūdijančio plieno kiekis 7,7 kg ir 0,4 kg vario. Šilumokaičio kaina 3012,00 Lt su PVM.

Priimu, kad šilumokaičio tarnavimo laikas 10 metų, todėl šilumokaičiai per 100 skaičiuojamų gyvavimo metų bus pakeisti 9 kartus. Laikoma, kad dabartiniai šilumokaičiai tarnaus 10 metų ir papildomų investicijų nereikalaus. Kas trys metai šilumokaičiams reikalinga atlikti cheminį praplovimą, kurio kaina 300 Lt/įrenginiui.

8.2. Šilumos siurblio oras–vanduo+saulės kolektorių ir elektrinio šildytuvo sistema (OŠS+SK+T)

Ši kombinuota sistema sudaryta visiškai atsisakant centralizuoto šilumos tiekimo kombinuojant AEI ir elektrą naudojančią šildytuvą. Sistemą sudaro trys pagrindinės šilumos gamybos dalys: 1) Šilumos siurblys oras – vanduo 2) Saulės kolektorių sistema 3) Elektrinis šildytuvas (tenas). Ši sistema pasirinkta dėl patogaus pastato plokščio stogo bei neefektyvios vėdinimo sistemos. Pagaminama šiluma naudojama karštam vandeniui ruošti ir šildymo sistemos poreikio daliniam tenkinimui.

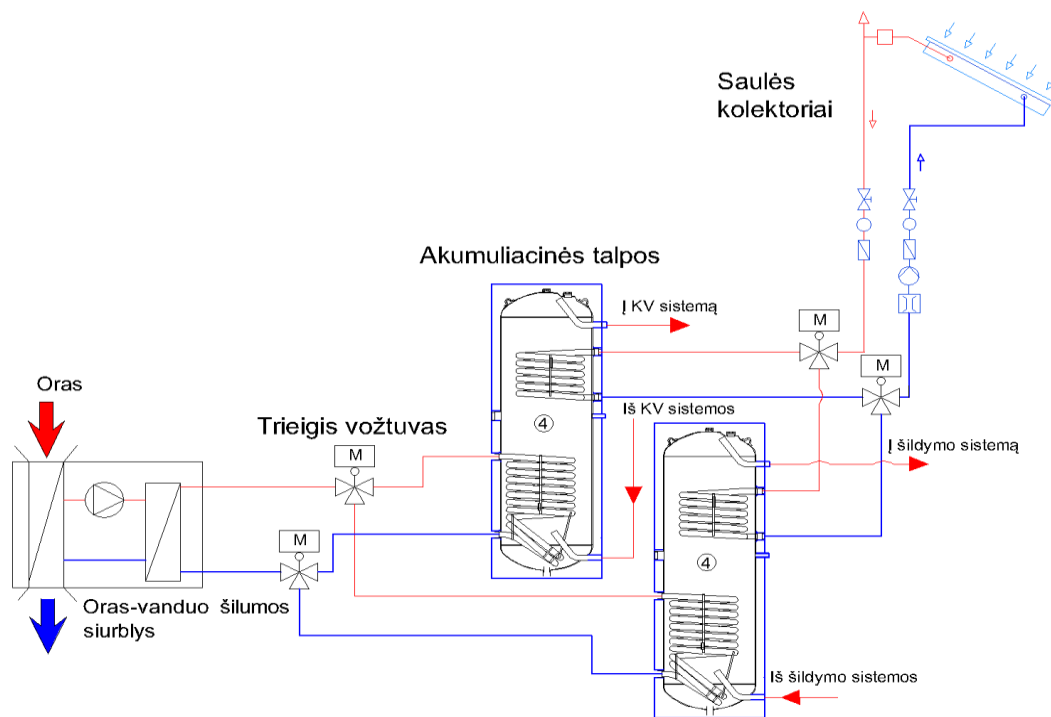
1) Šilumos siurblio oras–vanduo sistemos dalis. Specialios konstrukcijos šilumos siurblys oras – vanduo montuojamas ant pastato stogo. Šilumos siurblio garintuvo kontūras atgauna šilumą iš natūralios ventiliacijos ortakiais šalinamo oro srauto. Ant pastato vėdinimo kaminėlių uždedami gaubtai, kurių pagalba surenkamas šiltas oras ir tiekiamas į šilumos siurblį. Šilumos siurblyje atgauta šiluma tiekama į akumuliacinę talpą pastato rūsyje. Iš akumuliacinės talpos pastatas aprūpinamas karštu vandeniu. Kadangi tokia sistema nesugeba padengti visų šilumos poreikių, trūkumas padengiamas iš centrinių šilumos tinklų. Šilumos siurblio galingumas parenkamas pagal galimą paimamo oro kiekį. Sistemos gamintojas pateikia keletą šilumos siurblių galingumo variantų: 800 m³/h; 1600m³/h ir didesni. Kadangi pastatas yra 20 butų, pagal butų plotą ir žmonių skaičių buvo apskaičiuotas apytikslis oro kiekis reikalingas pašalinti iš kiekvieno buto. Laikant kad vienam žmogui tenka 36 m³/h oro, o vidutiniškai viename bute gyvena 3 žmonės, gauname, kad butui reikalingas oro kiekis yra 112 m³/h. Tačiau įvertinus, kad žmonės bute būna ne visą laiką, ir kad dalis oro pašalinama per virtuvėje įrengtus gartraukius ar ventiliacijos groteles, toks oro kiekis yra per didelis. Principinė sistemos schema pavaizduota 15 pav.



15 pav. Principinė sistemos su oras-vanduo šilumos siurbliu schema

Vertinant žiemos periodą, pašalinus šiltą orą, šildymo sistemai reikia kompensuoti prarastą šilumą. Dėl šių priežasčių buvo pasirinktas šilumos siurblys, kurio bendras ištraukiamas oro kiekis yra $1600 \text{ m}^3/\text{h}$; $80 \text{ m}^3/\text{butui}$. Priimant, kad ištraukiamo oro temperatūra yra 19°C , sezoninis šio šilumos siurblio efektyvumas yra apie 3,5. Šalinamas oras imamas iš sanitarinių mazgų. Iš virtuvių oras nenaudojamas dėl techninių priežasčių. Tokio šilumos siurblio šildymo galia: $6,72 \text{ kW}$; El. galia: $1,92 \text{ kW}$. Šilumos siurblys šilumą kaupia akumuliacinėse talpyklose.

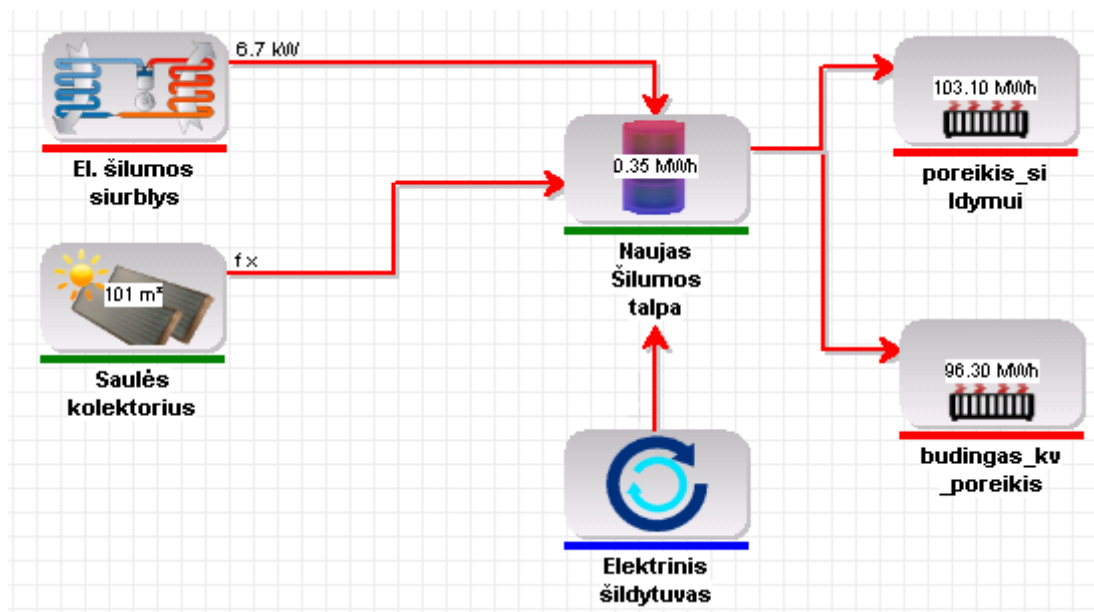
2) Saulės kolektorių sistemos dalis. Turint didelį 300 m^2 ploto plokščią stogą, saulės kolektorių sistemos panaudojimas labai patogus. Ši sistema dirba kartu su oras-vanduo šilumos siurbliu, o šiluma kaupiama akumuliacinėse talpose. Saulės kolektorių absorbuojantis plotas buvo parenkamas atsižvelgiant į mėnesio šilumos poreikį, per kurį suvartojamas mažiausias šilumos kiekis. Liepos mėnesį suvartojamas karšto vandens poreikis lygus $6,46 \text{ MWh/mėn}$ ir $0,208 \text{ MWh/dieną}$. Principinė visos OŠS+SK+T kolektorių sistemos schema pateikta 16 pav.



16 pav. Principinė sistemos su oras-vanduo ŠS ir saulės kolektoriais

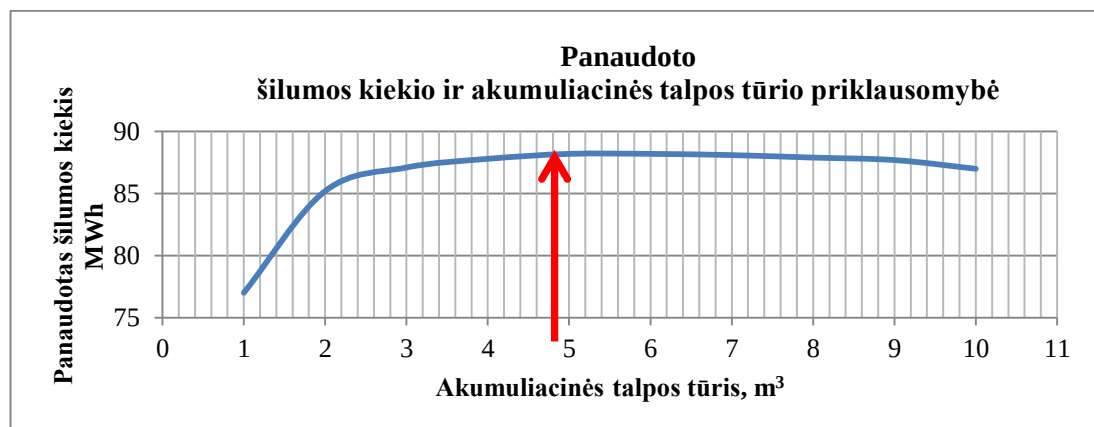
Laikant, kad 1 m^3 vandens pašildyti reikia apie 51 kWh šilumos, gauname, kad karšto vandens suvartojimas yra $4,1 \text{ m}^3/\text{dieną}$. Reikia atkreipti dėmesį, kad toks nemažas vandens suvartojimas gali būti sąlygotas dėl didelių cirkuliacinės linijos (gyvatukų) nuostolių. Renovuojant pastatą gyvatukų sistemą būtų galima atskirti nuo karšto vandens sistemos ir prijungti prie šildymo sistemos. Tokiu atveju, saulės kolektorių absorbuojantis plotas gerokai sumažėtų, nes senuose pastatuose vidutinis gyvatuko sunaudojamas šilumos kiekis lygus $300 \text{ kWh}/\text{butui}$, o vidutinis suvartojamo karšto vandens suvartojimas butui siekia $2,3 \text{ m}^3/\text{mėn}$. Šiuo atveju pastato stogo konstrukcija saulės kolektorių užstatymui yra labai palanki, o atėmus šilumos siurblio užimamą plotą galimas užstatymo plotas siektų apie 180 m^2 .

Saulės kolektorių plotas buvo parenkamas remiantis *EnergyPRO* programos sukurtais modeliais. Priartėjimo būdu buvo didinamas saulės kolektorių plotas tiek, kad beveik pilnai būtų tenkinamas liepos mėnesio šilumos poreikis. Rezultate buvo gauta, kad reikalingas saulės kolektorių skaičius yra $101,2 \text{ m}^2$. Šį kiekį sudaro 55 vienetai plokščiųjų saulės kolektorių, kurių pasvirimo kampas 35 laipsniai. Norint įrengti didesnį kiekį saulės kolektorių yra būtina sprendimas dėl šilumos pertekliaus panaudojimo. Sudarytas sistemų skaičiuojamasis modelis *EnergyPRO* programa pateiktas 17 pav.



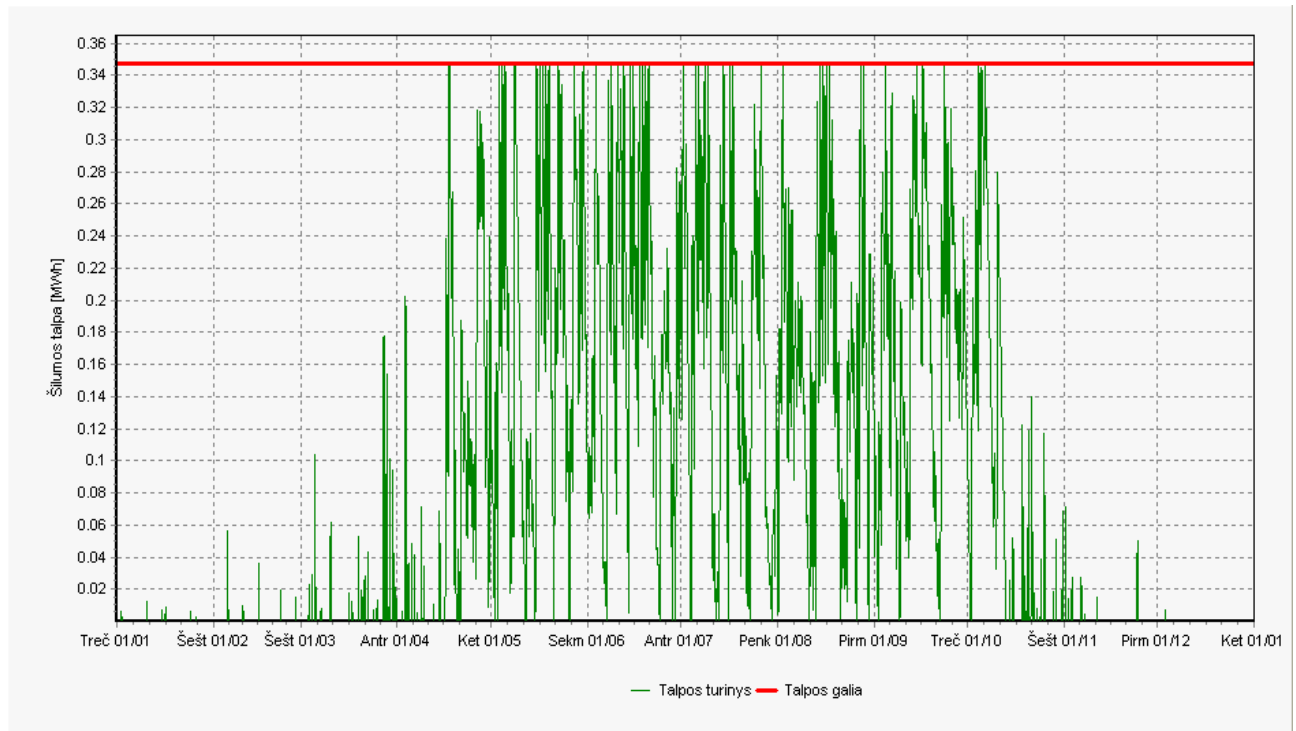
17 pav. OŠS+SK+T sistemos skaičiuojamasis modelis

Akumuliacinės talpos parinkimas. Sujungiant saulės kolektorių ir šilumos siurblio sistemą į bendrą šilumos gamybos sistemą, būtinas akumuliacinės talpos parinkimas. Šios talpos funkcija kaupti ir atiduoti šilumą reikiamu momentu. Šilumos gamybos ir vartojimo momentai dažnai nesutampa, todėl šis svarbus elementas būtinas tokių sistemų funkcionavimui. Kad sistemos dirbtų visu galimu didžiausiu efektyvumu akumuliacinės talpos tikslus parinkimas labai svarbus sistemų darbui. Per didelis talpos parinkimas gali sąlygoti didelius šiluminius nuostolius dėl šilumos akumuliavimo, o į mažas talpas nebus sukaupiama visa pagaminama šiluma. Dėl šių priežasčių reikia rasti optimalų talpos tūrį, kuriam esant bus panaudojama didžiausias šilumos kiekis. Talpos parinkimas buvo skaičiuojamas modeliuojant sistemos su 101,2 m² saulės kolektoriais ir 6,72 kW šiluminės galios šilumos siurblio darbą. Keičiant akumuliacinės talpos tūrį, buvo stebima kada panaudotos šilumos kiekis yra didžiausias. Didinant talpą sukaupiama daugiau šilumos, tačiau didėjant talpos išmatavimams didėja šiluminiai talpos nuostoliai, todėl būtina surasti optimalų talpos tūrį. Sudarytas akumuliacinės talpos parinkimo grafikas pateiktas 18 pav.



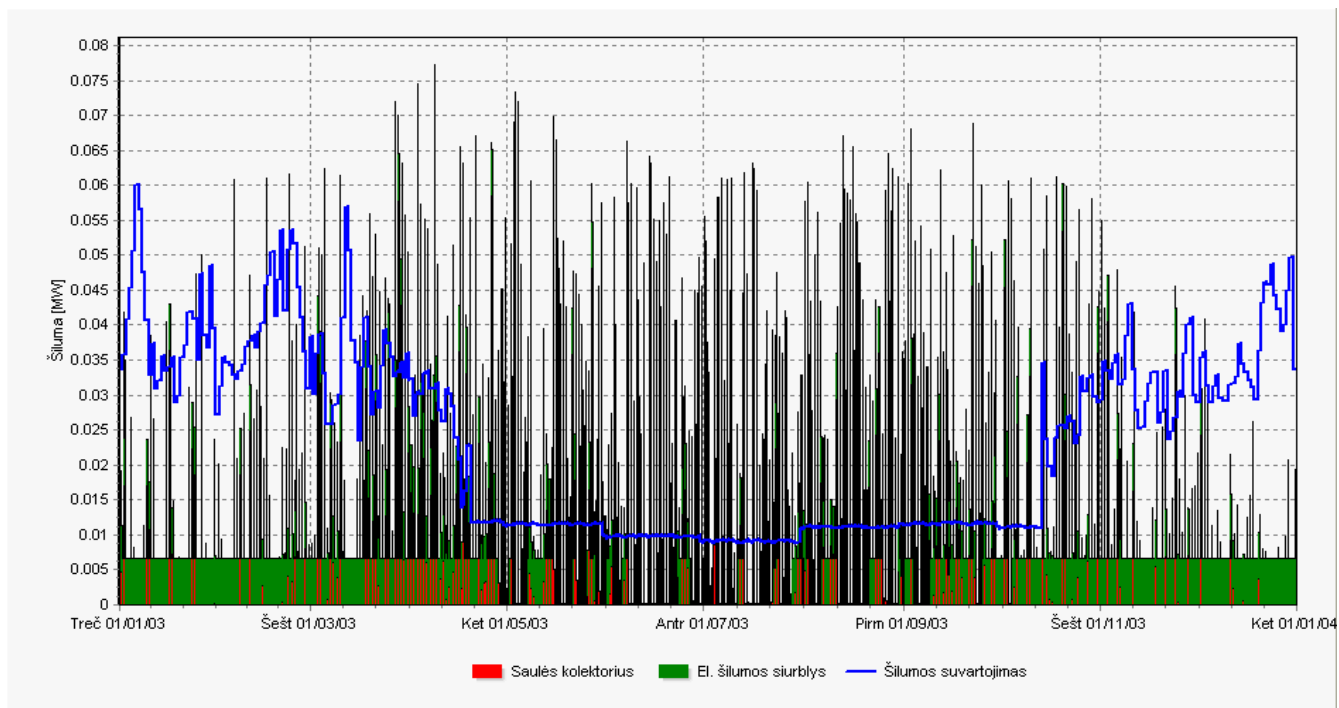
18 pav. OŠS+SK+T sistemos talpos parinkimo grafikas

Kaip matyti iš sudaryto grafiko didėjant talpai didėja šilumos sunaudotas kiekis. Nuo 4 m^3 iki 8 m^3 kreivė išlaiko tiesų pavidalą, o vėliau leidžiasi. Kreivės tolygumas ir kritimas žemyn byloja, kad suakumuliuojama šiluma nebepadengia akumuliacinės talpos nuostolių. Dėl šios priežasties optimalus talpos tūris parenkamas kai yra didžiausias šilumos panaudojimas prie mažiausios talpos. Toks optimalus taškas yra ties 5 m^3 talpos tūriu. Talpos įkrovimo grafikas pateiktas 19 pav.



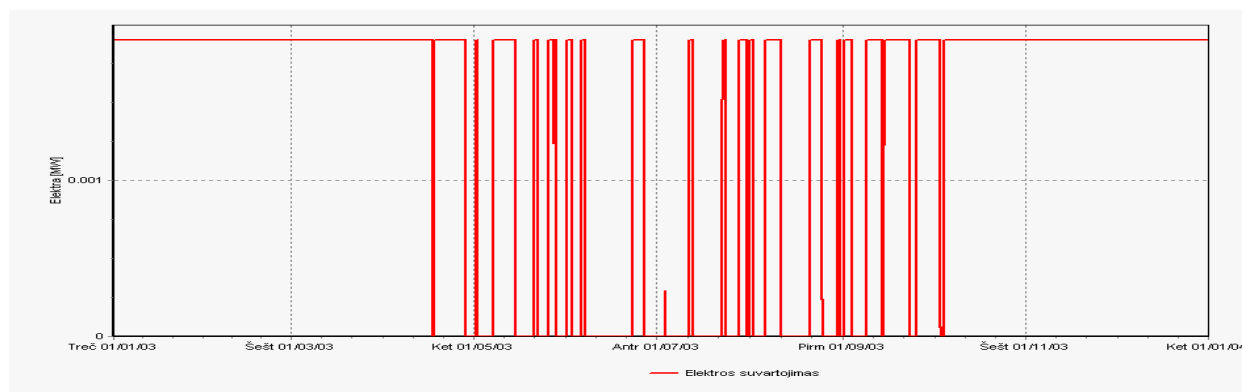
19 pav. 5 m^3 akumuliacinės talpos įkrovimas metų bėgyje

Tokio tūrio talpa yra didelių gabaritų ir jos sumontavimas daugiabučio namo rūsyje neįmanomas, todėl parenkamos 3 mažesnės akumuliacinės talpos: 1 – Multifunkcinė akumuliacinė talpa (talpa – talpoje) 1500 litrų, 240 kg svorio, su dviem šilumokaičiais ir elektriniu tenu; 2 – Akumuliacinė talpa 2000 litrų, 260 kg svorio; 3 – Akumuliacinė talpa 1500 litrų, 227 kg svorio. Visos talpos sujungiamos kaskadiniu principu, kad šiluma galėtų cirkuliuoti per visas talpas. Multifunkcinė talpa pajungiama žiemos metu, kad sukauptą šilumą būtų galima panaudoti šildymo sistemos daliniam poreikių tenkinimui. Būtina paminėti, kad naudojant tokius šilumos šaltinius sena šildymo sistema nebetiks dėl žemų šilumnešio temperatūrų, todėl renovuojant pastatą reiktų įrengti šildymo prietaisus su didesniais šildymo plotais arba įrengti grindinį šildymą, kad būtų atiduodamas reikiamas šilumos kiekis. Tokio papildomų šildymo paviršių didinimo būtų galima išvengti gerinant pastato energetinį efektyvumą, bet tokie sprendimai reikalauja detalesnio pastato tyrimo ir toks variantas šiame darbe nebus nagrinėjamas. Modeliuotos sistemos gamybos grafikas pateiktas 20 pav.



20 pav. OŠS+SK+T sistemos gamybos grafikas

Šilumos siurblio gamyba pastovi, o saulės kolektoriai šilumą gamina labai netolygiai. Didžiausia saulės kolektorių šilumos dalis pagaminama vasaros metu. Šilumos siurblys savo galią reguliuoja nuo poreikio. Užkrovus talpas iki tam tikros temperatūros šilumos siurblys išsijungia. Šilumos siurblio darbą vaizduoja 21 pav.



21 pav. Šilumos siurblio veikimo grafikas

Vasarą šilumos siurblys bus priverstas dirbti su pertrūkiais, kadangi visos talpos bus pilnai užkraunamos saulės kolektorių sistemos. Modeliavimo rezultatai pateikti 9 lentelėje.

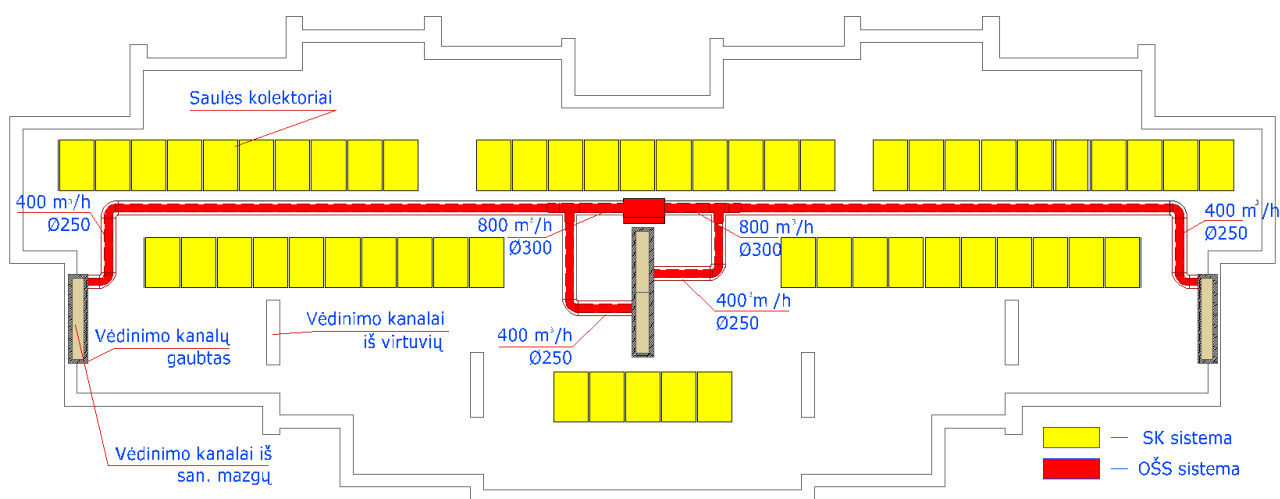
9 lentelė. ŠS+SK+T sistemos gamybos duomenys

Mėnuo	Šildymas, MWh	Karštas vanduo, MWh	Bendras poreikis , MWh	Saulės kolektoriai MWh	Šilumos siurblys MWh	Bendras AEI gaminamas kiekis , MWh	El. Energija AEI, MWh	El. Energija Tenui, MWh	Procentinė dalis AEI
Sausis	23,66	8,77	32,43	1,20	5,00	6,20	1,55	26,23	19,12%
Vasaris	22,01	8,80	30,81	1,70	4,50	6,20	1,45	24,61	20,12%
Kovas	14,54	8,27	22,81	4,30	5,00	9,30	1,55	13,51	40,78%
Balandis	5,53	8,52	14,05	5,30	4,40	9,70	1,35	4,35	69,03%
Gegužė	0,00	8,49	8,49	5,80	2,69	8,49	0,95	0,00	100,00%
Birželis	0,00	6,79	6,79	6,40	0,39	6,79	0,35	0,00	100,00%
Liepa	0,00	6,46	6,46	6,30	0,16	6,46	0,25	0,00	100,00%
Rugpjūtis	0,00	6,87	6,87	6,20	0,67	6,87	0,35	0,00	100,00%
Rugsėjis	0,00	8,16	8,16	4,80	3,36	8,16	0,95	0,00	100,00%
Spalis	6,22	8,01	14,23	3,70	4,80	8,50	1,55	5,73	59,72%
Lapkritis	10,04	8,50	18,54	1,30	4,80	6,10	1,55	12,44	32,91%
Gruodis	21,07	8,66	29,73	0,50	5,00	5,50	1,55	24,23	18,50%
Σ=	103,08	96,28	199,36	47,50	40,76	88,26	13,37	111,10	44,27%

AEI sistemos pilnai aprūpina pastatą šiluma nuo gegužės iki rugsėjo mėnesio imtinai. Kitais mėnesiais reikalinga įjungti elektrinį teną. Vertinant saulės kolektorių cirkuliacinio siurblio suvartotą energiją buvo laikoma, kad 1 m² saulės kolektorių ploto per metus suvartoja 17,5 kWh elektros energijos [31]. AEI sistemos šildymo poreikius dalinai tenkina tik kovo, balandžio ir spalio mėnesiais, nes kitais mėnesiais visa šiluma suvartojama karšto vandens ruošimui. Per metus saulės kolektoriai ir šilumos siurblys pagamina 44,27 % šilumos poreikio. Detalesnis sistemos vertinimas ir palyginimas atliktas 9 skyriuje, o detalesnė sistemos sudėtis pateikta prieduose.

8.3. Šilumos siurblio oras–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema (OŠS+SK+CŠT)

Sistema analogiška 8.2. dalyje aprašytai sistemai tik skiriasi papildomas šilumos šaltinis. Trūkstamas energijos kiekis kompensuojamas iš centralizuoto šilumos tiekimo tinklų. Šios sistemos pranašumas toks, kad papildomo šilumos šaltinio CŠT teikiama šiluma pigesnė nei elektrinio šildytuvo, šiluma beveik tris kartus ekologiškesnė bei vienam energijos vienetui sunaudojama daugiau nei du kartus mažiau pirminės energijos. Vienintelis šios sistemos trūkumas, kad sistema yra priklausoma nuo centralizuotų šilumos tinklų ir gali būti panaudota tik CŠT prijungtuose kvartaluose. Sistemos išdėstymas ant pastato stogo pavaizduotas 22 pav.

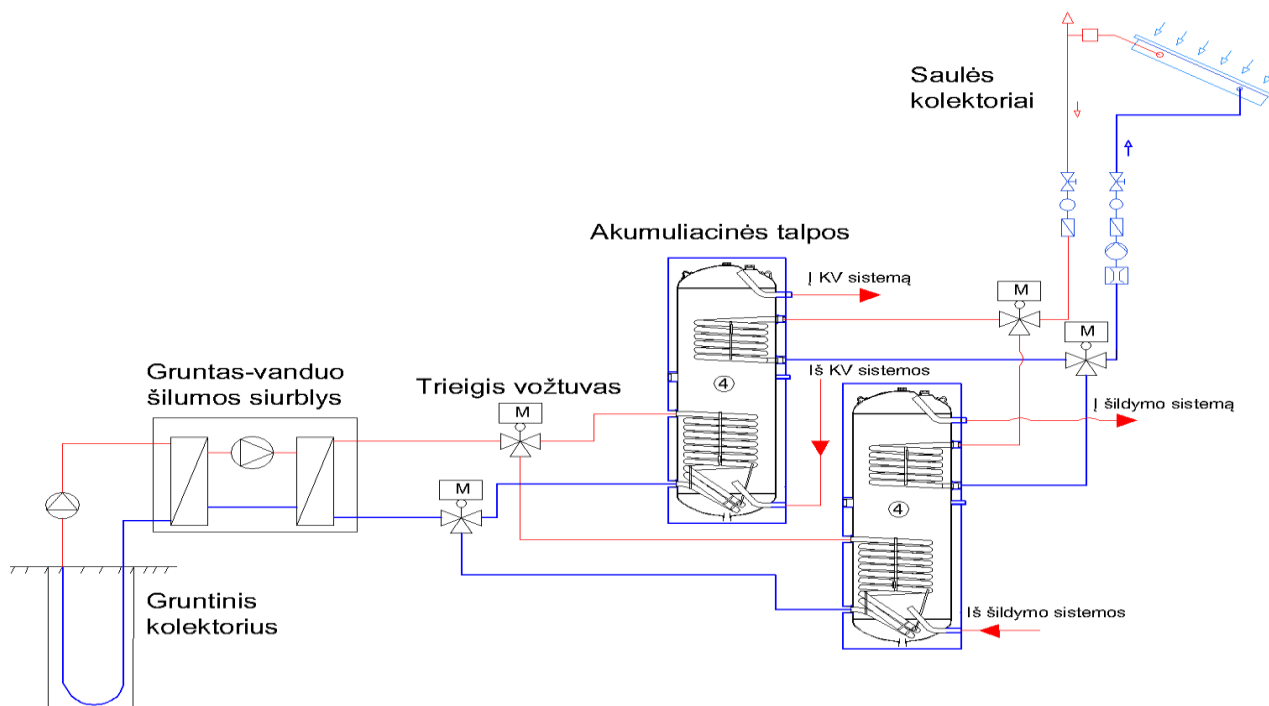


22 pav. Pastato stogo planas su išdėstytais įrenginiais

Detalesnis sistemos vertinimas atliktas 9 skyriuje.

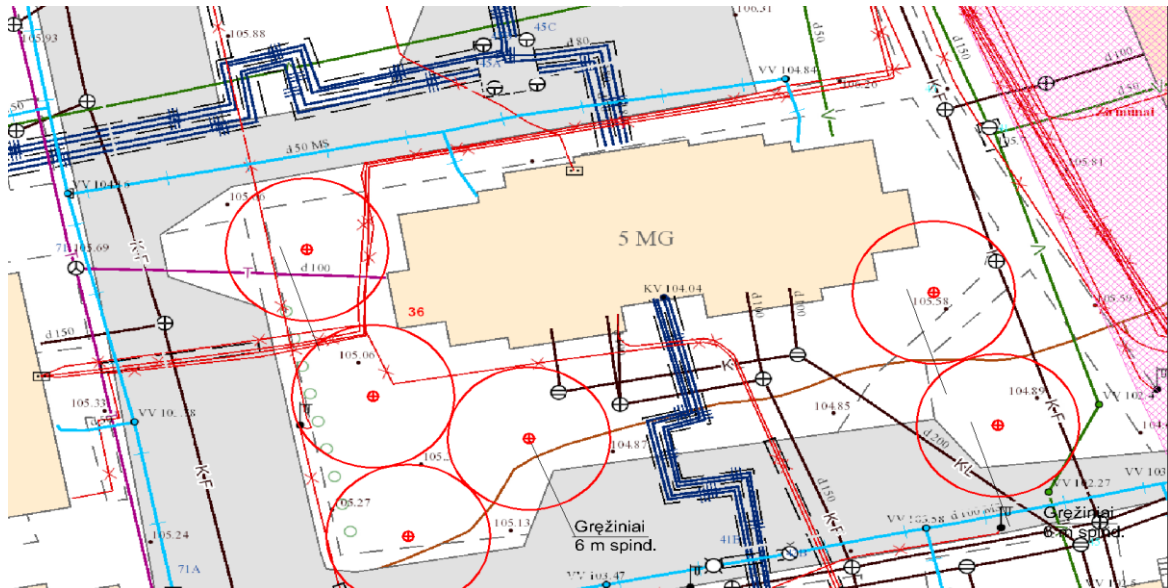
8.4. Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema (GŠS+SK+CŠT)

Daugiabutis namas yra apsuptas kitų pastatų, išasfaltuotų gatvių, po žeme driekiasi daug inžinerinių komunikacijų, todėl iškyla šilumos siurblio išorinio kontūro patalpinimo vietos problema. Dėl šių priežasčių buvo nuspręsta naudoti vertikalaus kontūro kolektorių, o horizontalaus kolektoriaus variantas atmestas. Principinė sistemos schema pavaizduota 23 pav.



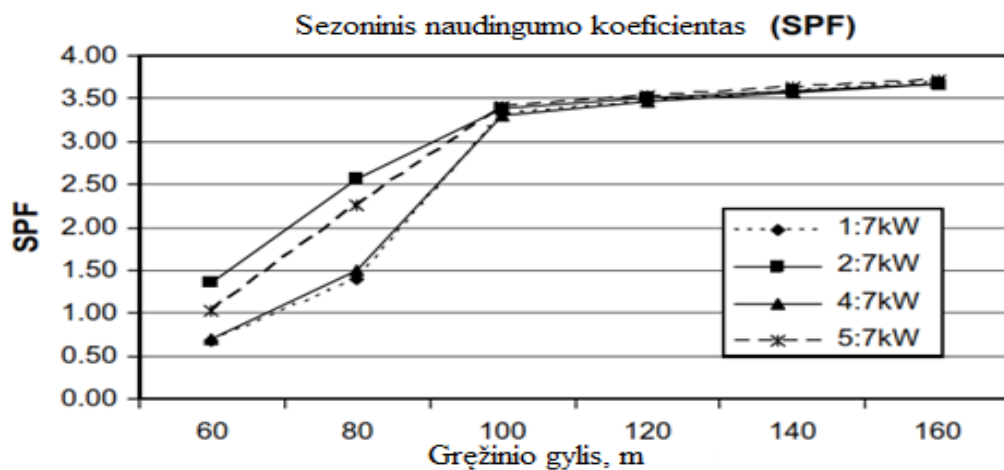
23 pav. Principinė sistemos su gruntas-vanduo ŠS ir saulės kolektoriais

Nustatant gręžinių skaičių ir gylį buvo priimta, kad prie pastato vyrauja normalus tankiųjų uolienų gruntas ir prisotintos vandens nuosėdos. Tokio grunto specifinė ištraukiamoji galia vidutiniškai siekia 50 W/m. Rekomenduojama, kad tarp vertikalių šilumos siurblio kolektorių atstumas būtų mažiausiai 6 metrai. Remiantis tokiomis rekomendacijomis ir prielaidomis buvo suplanuoti 6 vertikalūs kolektoriai po 77 metrus gylio. Gręžinių skersmuo 110 mm. Šilumos siurblio kolektorių išdėstymas pavaizduotas 24 pav.



24 pav. Topografinis planas su kolektorių išdėstymu

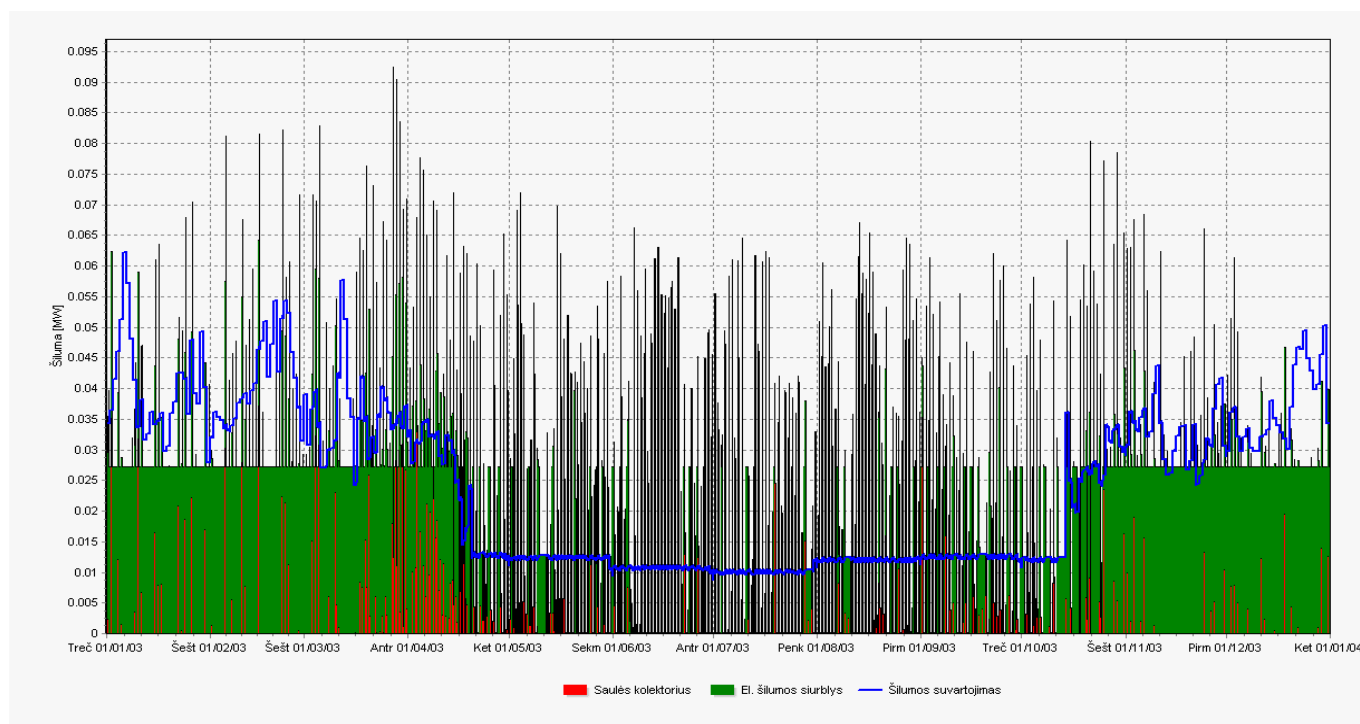
Didesnis gręžinių kiekis, nei pateikta 25 pav., yra neįmanomas dėl vietos trūkumo ir inžinerinių komunikacijų išsidėstymo. Gręžinius darant gilesnius nei 100 m griežtėja reikalavimai visai sistemai bei ženkliai didėja gręžinių įrengimo kaina. Be to, didinant gręžinio gylį nepastebimas norimas transformacijos koeficiento (COP) padidėjimas, kaip pavaizduota 25 pav.



25 pav. COP priklausomybė nuo zondo gylio [32]

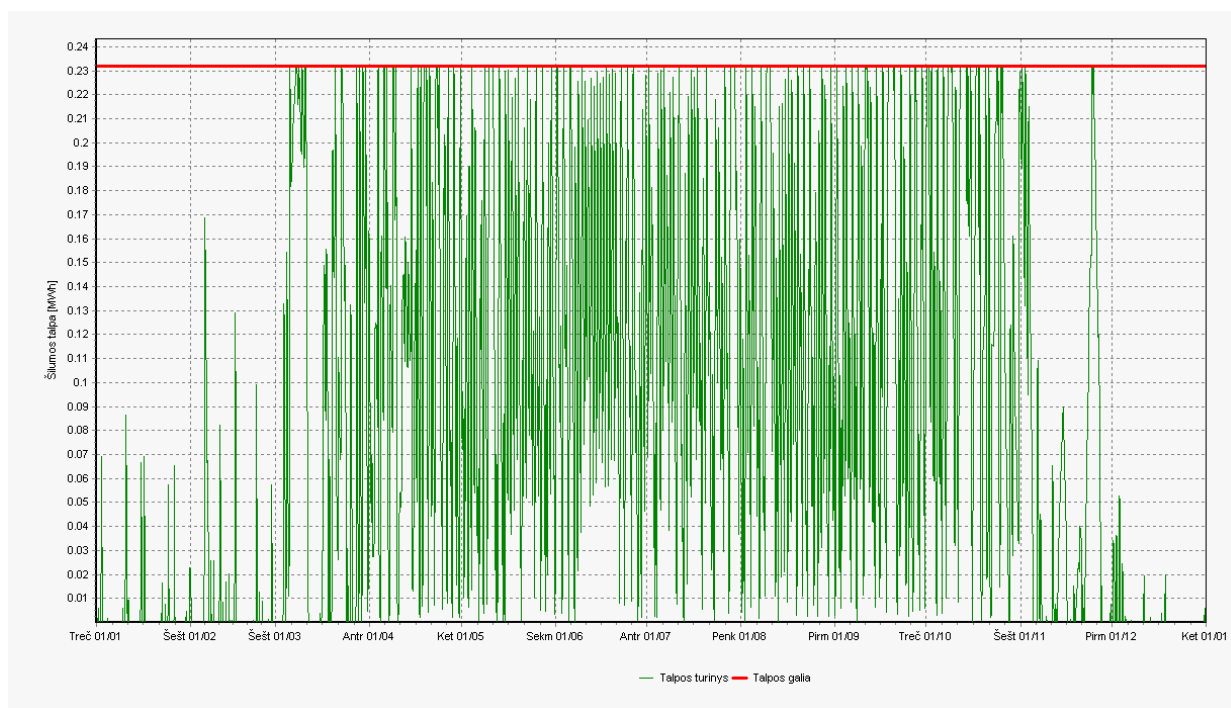
Dvigubos U formos vamzdiniai zondai daromi iš 32 mm skersmens ir 2,9 mm sienelės storio plastikinių vamzdžių, kurie užpilami bentonitu. Esamos daugiabučio namo sistemos pritaikytos prie aukštatemperatūrų šilumnešių, kurios nebetiks įrengus šilumos siurblių bei saulės kolektorius. Kad senąją sistemą būtų lengviau pritaikyti prie naujo šilumos gamybos įrenginio, šilumos siurblys renkamas ir modeliuojamas prie B0/W45 sąlygų. Išanalizavimus keletą gamintojų šilumos siurblius buvo pasirinktas „Stiebel Eltron“ firmos WPF 32 SET įrenginys. Šilumos siurblio deklaruojamoji šildymo galia prie B0/W45 lygi 30,86 kW ir 9,06 kW elektrinė galia, COP = 3.41. Sistemos užpildymui reikia apie 500 litrų 25% vandens glikolio mišinio ir vidiniam šilumos siurblio kontūrai freono R410A 10 litrų. Priimama, kad prie minėtų sąlygų šilumos siurblio vidutinis naudingumo koeficientas lygus 300 % įvertinant sunaudojamą elektros energiją cirkuliaciniam siurbliui. Prie šilumos siurblio sistemos lygiagrečiai jungiama 101,2 m² ploto saulės kolektorių sistema.

Renkantis akumuliacinę talpą buvo modeliuojami keli variantai su skirtingo tūrio talpomis. Gautas rezultatas identiškas 8.4 ir 8.3 skyreliuose gautam rezultatui, t. y. optimali talpa yra 5 m³. Modeliavimas atliktas *EnergyPRO* programa, kurios rezultatai pateikti 26 pav.



26 pav. GŠS+SK+CŠT sistemos gamybos grafikas

Kaip matyti iš grafiko, saulės kolektorių sukuriamą galia retkarčiais viršija šilumos siurblio galią daugiau nei 3 kartus. Abiejų sistemų šilumos gamyba yra nepakankama, kad užtikrintų visą reikiamą šilumos poreikį ištisus metus, dėl to reikalingas papildomas šilumos šaltinis, kuris šiuo atveju yra centralizuotas šilumos tiekimas.



27 pav. Talpų sukaupiamas šilumos kiekis

Kaip matyti iš 27 pav., didžiąją metų dalį talpos bus užkraunamos pilnai, o tik šalčiausiais mėnesiais bus galima naudoti tik vieną akumuliacinę talpą kitas atjungiant. Sistemos gamybos duomenys pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. GŠS+SK+CŠT sistemos gamybos duomenys

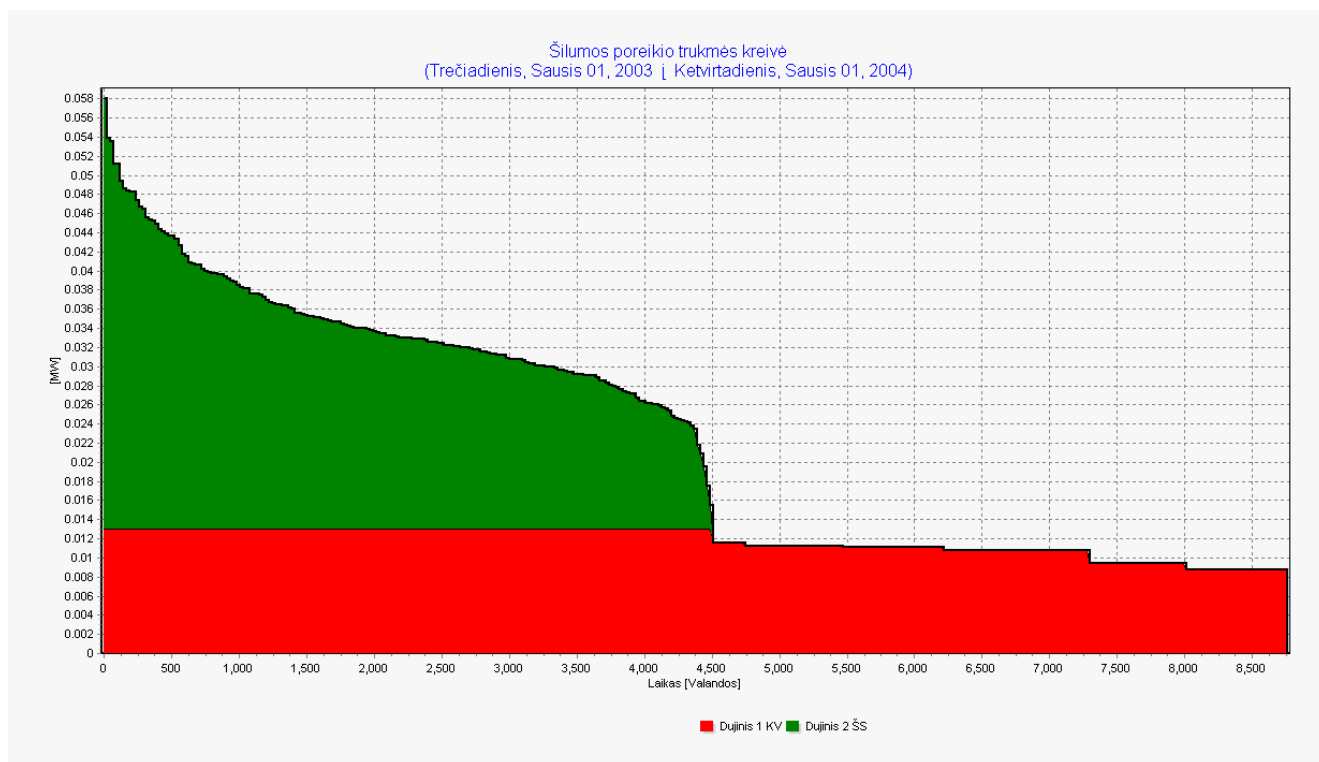
Mėnuo	Šildymas, MWh	Karštas vanduo, MWh	Bendras poreikis, MWh	Saulės kolektoriai, MWh	Šilumos siurblys, MWh	Bendras AEI gaminamas kiekis, MWh	El. Energija AEI, MWh	Šil. Energija CŠT, MWh
Sausis	23,66	8,77	32,43	1,20	20,20	21,40	6,88	11,03
Vasaris	22,01	8,80	30,81	1,70	18,30	20,00	6,25	10,81
Kovas	14,54	8,27	22,81	4,30	18,51	22,81	6,32	0,00
Balandis	5,53	8,52	14,05	5,30	8,75	14,05	3,06	0,00
Gegužė	0,00	8,49	8,49	5,80	2,69	8,49	1,04	0,00
Birželis	0,00	6,79	6,79	6,40	0,39	6,79	0,28	0,00
Liepa	0,00	6,46	6,46	6,30	0,16	6,46	0,20	0,00
Rugpjūtis	0,00	6,87	6,87	6,20	0,67	6,87	0,37	0,00
Rugsėjis	0,00	8,16	8,16	4,80	3,36	8,16	1,27	0,00
Spalis	6,22	8,01	14,23	3,70	10,53	14,23	3,66	0,00
Lapkritis	10,04	8,50	18,54	1,30	17,24	18,54	5,89	0,00
Grudis	21,07	8,66	29,73	0,50	20,20	20,70	6,88	9,03
Σ=	103,08	96,28	199,36	47,50	120,98	168,48	42,09	30,87

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad sistema padengs 84,51 % visų metinių poreikių. Šilumos trūkumas nustatytas sausio, vasario, ir gruodžio mėnesiais. Šilumos siurblys ir saulės kolektorių cirkuliacinis siurblys per metus sunaudos 42,09 MWh elektros energijos. Būtina paminėti, kad

įrenginėjant tokios galios šilumos siurblių tikėtina, kad pastatas trūks elektrinės galios, todėl bus būtinas naujas didesnio skerspjūvio laidų įvadas.

8.5. Dujinių katilų sistema (DK)

Karšto vandens ir šildymo sistemoms įrengiami du kondensaciniai pakabinami dujiniai katilai. Katilai montuojami rūsyje ant sienų. Parinkti „Junkers“ įmonės dujiniai kondensaciniai katilai po 50 kW galios, kurių vienas karšto vandens sistemai, kitas šildymo sistemai. Karšto vandens ruošimas vyksta į 1 m³ tūrio talpą. Modeliuojant priimta, kad sezoninis tokių katilų naudingumo koeficientas siekia 95 %. Vertinime priimta, kad dujinių katilų tarnavimo laikas lygus 12,5 metams. Detali įrangos inventorinė analizė atlikta pagal kito autoriaus darbą [19]. Modeliavimo rezultatai pateikti 28 pav.



28 pav. DK sistemos šilumos poreikio trukmės kreivė

Katilas „Dujinis 1 KV“ tenkina karšto vandens poreikį, o „Dujinis 2 ŠS“ šildymo sistemos poreikius. Suvartoti dujų kiekiai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė.DK sistemos gamybos duomenys

Mėnuo	Šildymas, MWh	Karštas vanduo, MWh	Bendras poreikis , MWh	Dujinių katilų pagaminta šiluma, MWh	Suvartotas dujų kiekis n.m3
Sausis	23,66	8,77	32,43	32,43	3159,9
Vasaris	22,01	8,80	30,81	30,81	2954,7
Kovas	14,54	8,27	22,81	22,81	2812,5
Balandis	5,53	8,52	14,05	14,05	1748,7
Gegužė	0,00	8,49	8,49	8,49	921,6
Birželis	0,00	6,79	6,79	6,79	756,9
Liepa	0,00	6,46	6,46	6,46	730,8
Rugpjūtis	0,00	6,87	6,87	6,87	894,6
Rugsėjis	0,00	8,16	8,16	8,16	902,7
Spalis	6,22	8,01	14,23	14,23	1676,7
Lapkritis	10,04	8,50	18,54	18,54	2536,2
Gruodis	21,07	8,66	29,73	29,73	2938,5
Σ=	103,08	96,28	199,36	199,36	22033,8

Gauta, kad per metus katilai suvartos 22033,8 n.m³ gamtinių dujų ir padengs visą reikiama šildymo ir karšto vandens sistemų šilumos poreikį. Sistemos vertinimas atliktas sekančiuose skyriuose.

8.6. Saulės kolektorių ir dujinio katilo sistema (SK+DK)

Šioje sistemoje naudojama anksčiau nagrinėta saulės kolektorių sistema, kurią sudaro 101,2 m² saulės energiją sugeriantis paviršiaus plotas bei vienas dujinis katilas trūkstamai šilumai gaminti. Šiluma kaupiama trijose akumuliacinėse talpose, kurių bendras tūris sudaro 5 m³. Dujinis katilas 50 kW šiluminės galios, kurio sezoninis naudingumo koeficientas 95 %. Skaičiavimo rezultatai pateikti 12 lentelėje.

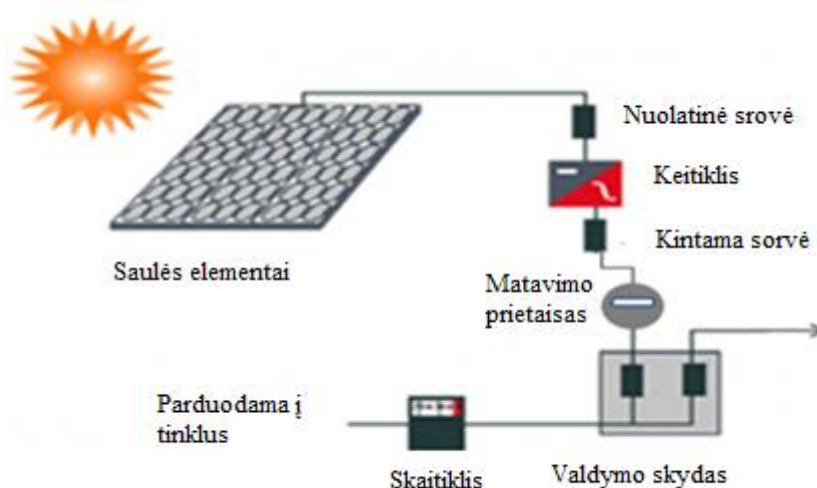
12 lentelė. SK+DK sistemos gamybos duomenys

Mėnuo	Šildymas, MWh	Karštas vanduo, MWh	Bendras poreikis , MWh	Saulės kolektoriai MWh	Dujinių katilų pagaminta šiluma, MWh	Suvartotas dujų kiekis n.m3	El. Energija AEI, MWh
Sausis	23,66	8,77	32,43	1,20	31,23	3042,99	0,15
Vasaris	22,01	8,80	30,81	1,70	29,11	2791,68	0,15
Kovas	14,54	8,27	22,81	4,30	18,51	2282,22	0,15
Balandis	5,53	8,52	14,05	5,30	8,75	1089,15	0,15
Gegužė	0,00	8,49	8,49	5,80	2,69	291,63	0,15
Birželis	0,00	6,79	6,79	6,40	0,39	43,47	0,15
Liepa	0,00	6,46	6,46	6,30	0,16	18,10	0,15
Rugpjūtis	0,00	6,87	6,87	6,20	0,67	86,66	0,15
Rugsėjis	0,00	8,16	8,16	4,80	3,36	371,37	0,15
Spalis	6,22	8,01	14,23	3,70	10,53	1240,80	0,15
Lapkritis	10,04	8,50	18,54	1,30	17,24	2358,33	0,15
Gruodis	21,07	8,66	29,73	0,50	29,23	2889,08	0,15
Σ=	103,08	96,28	199,36	47,50	151,86	16505,48	1,77

Per metus SK sistema pagamins 47,5 MWh šilumos, o tai sudaro beveik 24 % metinio poreikio. Likusį 151,86 MWh šilumos kiekį aprūpina dujinis katilas. Dujinio katilo suvartotas dujų kiekis lygus 16505,46 n.m³.

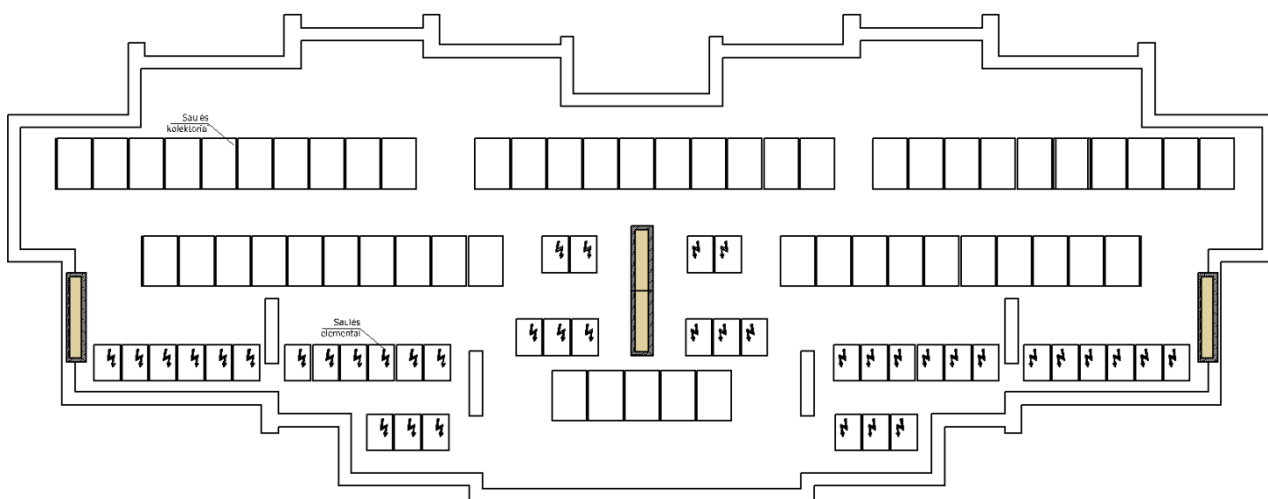
8.7. Šilumos siurblio gruntas–vanduo + saulės kolektorių + saulės elementų ir centralizuoto šilumos tiekimo sistema (GŠS+SK+SE+CŠT)

Saulės elementų sistema skirta elektros energijai gaminti. Iš nagrinėjamų sistemų daugiausiai elektros energijos reikalauja sistemos su šilumos siurbliais, o iš šių sistemų didžiausias elektros energijos poreikis yra sistemai su gruntiniu šilumos siurbliu. Dėl šios priežasties elektros energijos gamybos sistema buvo pritaikyta GŠS+SK+CŠT sistemai. Kadangi Lietuvoje elektros energijos gamybai saulės elementais yra nustatytas supirkimo tarifas, kuris yra didesnis nei kaina rinkoje, nuspręsta visą pagamintą energiją parduoti į tinklus už nustatytą 0,75 ct/kWh tarifą. Šį tarifą 2013 metų antrajam ketvirčiui patvirtino valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija (VKEKK). Sistemoje naudojami polikristaliniai moduliai, kurių vieneto galia 240 W. Dydis 1580x808x35; svoris 16,5 kg; tarnavimo laikas 25 metai. Principinė sistemos schema pateikta 29 pav.



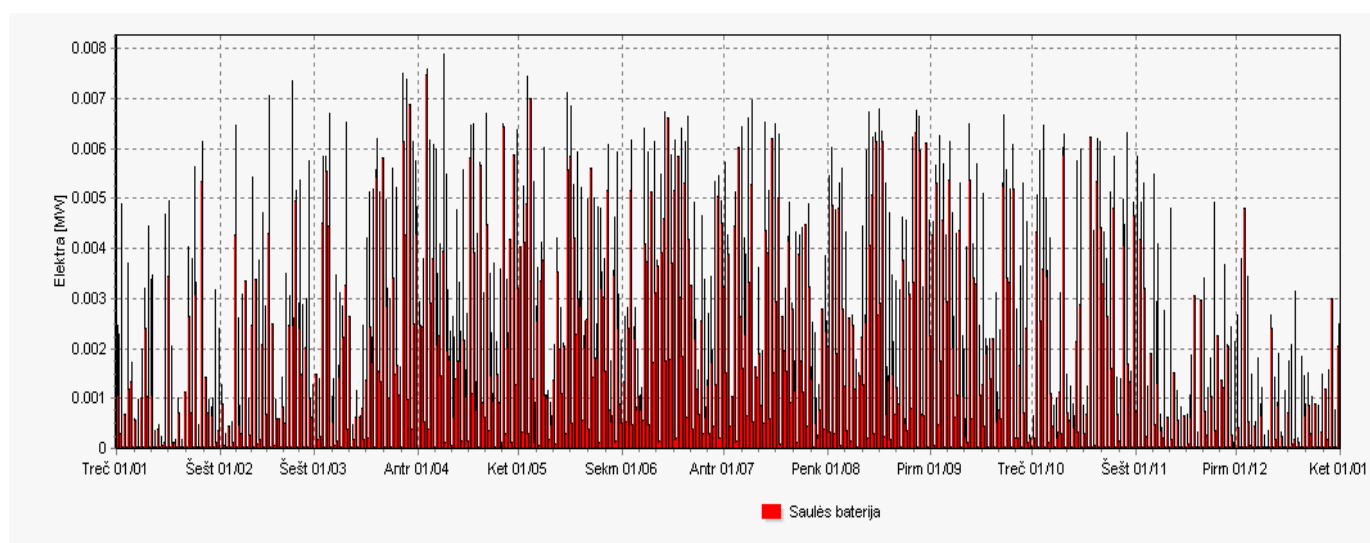
29 pav. Saulės elementų sistemos principinė schema [33]

Šiuo atveju saulės elementų pagamintas energijos kiekis atimamas iš šilumos gamybos sistemų reikalaujamo kiekio ir taip sumažinamas reikalingas elektros energijos kiekis. Sistema montuojama ant plokščio pastato stogo kartu su saulės kolektorių sistema. Buvo nustatyta, kad didžiausias galimas sumontuoti saulės elementų kiekis yra 40 vnt. panelių, kurių nominali galia siekia 10 kW ir jie užims 51 m² ploto. Iš nuolatinės elektros srovės būtina paversti į kintamą elektros srovę. Šiuo tikslu yra naudojamas „SoluTronic“ gamybos 10-12 kW galios keitiklis, kurio maksimalus naudingumo koeficientas 98 %. Sistemos išdėstymas ant pastato stogo pateiktas 30 pav.



30 pav. Saulės elementų ir kolektorių išdėstymo planas

30 pav. pateiktas modulių kiekis yra didžiausias, kuris įmanomas patalpinti ant pastato stogo. Didesnis modulių kiekis gali užstoti saulę saulės kolektorių sistemai. Sistemos gamybos modeliavimo rezultatai pateikti 31 pav.



31 pav. Saulės elementų elektros energijos gamybos metinis grafikas

Atlikus sistemos modeliavimą buvo nustatyta, kad saulės elementų sistema per metus pagamina 8,30 MWh elektros energijos. Toks kiekis sudaro 20,5 % viso reikiamo šilumos gamybos sistemų elektros energijos kiekio. Jei prie sistemų vartojamo elektros poreikio pridėtume ir butų ūkio poreikį, kuris sudaro 25,36 MWh, tai pagaminamas elektros kiekis tenkintų 12,6 % viso pastato reikiamo elektros energijos poreikio. Visos sistemos pagaminamos šilumos ir suvartojamos elektros kiekiai kas mėnesį pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. GŠS+SK+SE+CŠT sistemos gamybos duomenys

Mėnuo	Saulės kolektoriai MWh	Šilumos siurblys MWh	Bendras AEI gaminamas kiekis, MWh	El. Energija AEI, MWh	Elektros energija iš SE, MWh	Reikalinga papildoma elek.en. Iš tinklų MWh.	Šil. Energija CŠT, MWh
Sausis	1,2	20,20	21,40	6,73	0,30	6,43	11,03
Vasaris	1,7	18,30	20,00	6,10	0,40	5,70	10,81
Kovas	4,3	18,51	22,81	6,17	0,80	5,37	0,00
Balandis	5,3	8,75	14,05	2,92	0,90	2,02	0,00
Gegužė	5,8	2,69	8,49	0,90	1,10	0,00	0,00
Birželis	6,4	0,39	6,79	0,13	1,00	0,00	0,00
Liepa	6,3	0,16	6,46	0,05	1,00	0,00	0,00
Rugpjūtis	6,2	0,67	6,87	0,22	1,00	0,00	0,00
Rugsėjis	4,8	3,36	8,16	1,12	0,70	0,42	0,00
Spalis	3,7	10,53	14,23	3,51	0,60	2,91	0,00
Lapkritis	1,3	17,24	18,54	5,75	0,30	5,45	0,00
Gruodis	0,5	20,20	20,70	6,73	0,20	6,53	9,03
Σ=	47,5	120,98	168,48	40,33	8,30	32,03	30,87

Norint patenkinti visą pastato elektros energijos poreikį, saulės elementų sistema turėtų būti apie 80 kW galios, o norint energiją akumuliuoti baterijose reiktų dar didesnės. Naudojant įvairaus tipo akumuliatorius, jų efektyvumas gali siekti apie 70 – 90 %. Todėl prarandama nemaža dalis elektros energijos.

9. Technologinių sprendinių analizė

9.1. Energinis sistemų vertinimas

Atliekant energinį vertinimą buvo skaičiuojamas pirminės energijos poreikis sistemų gamybos, transportavimo, naudojimo ir sunaikinimo-perdirbimo fazėse. Vertinant įvairių sistemų rodiklius daroma prielaida, kad šilumos punktas jau yra įrengtas ir papildomų sistemų kaštų bei teršalų nebus per visą nagrinėjamą laikotarpį. Atliekant skaičiavimus buvo laikoma, kad CŠT sistemoje naudojama 11 % biokuro, o likusi energijos dalis išgaunama iš gamtinių dujų. Elektros gamyba vyksta iš įvairių gamybos būdų, todėl naudojamas įvairių elektros generavimo būdų rodiklių vidurkis. Vertinant energijos ir teršalų kiekius iš šilumos ir elektros tinklų GCA požiūriu buvo naudojami 14 lentelėje pateikti santykiniai rodikliai. Šie santykiniai dydžiai buvo naudojami skaičiuojant iš CŠT ir elektros tinklų suvartotos energijos rodiklius.

14 lentelė. Miesto tinklų santykiniai rodikliai

CŠT	Teršalai		$f_{PRnE, vnt.}$	Energija	
Šiluma	0,201	kgCO ² /kWh	1,3	4,7	MJ/kWh
Elektra	0,566	kgCO ² /kWh	2,8	10,1	MJ/kWh

Čia: f_{PRnE} – atskaitinis neatsinaujinančios pirminės energijos faktorius elektros energijai [24]

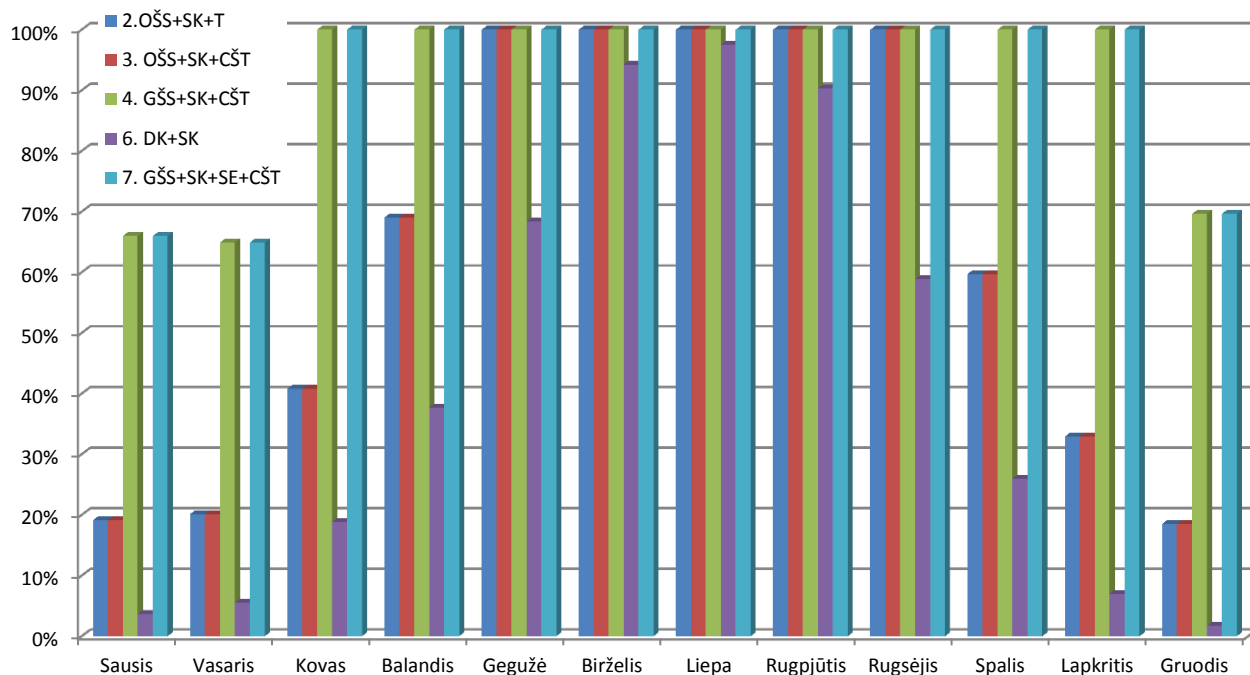
Detalizavimus tiriamąsias sistemas joms visoms buvo atlikta inventorinė analizė ir nustatyti medžiagų kiekiai, kurių reikia pagaminti šias sistemas. Visų sistemų reikiami medžiagų kiekiai pateikti 15 lentelėje.

15 lentelė. Sistemos sudarančių medžiagų kiekiai

Medžiagos	MJ/kg arba MJ/vnt.	Atskiras sistemos surašyti medžiagų kiekiai, kg						
		1) CŠT	2) OŠS+SK+T	3) OŠS+SK+ CŠT	4) GŠS+SK+C ŠT	5) DK	6) SK+DK	7) GŠS+SK+S E+CŠT
Aluminis	186,07	0		859	838	0	357	838
HDPE	77,28	0	59	59	625	61	41	625
Žalvaris	44,50	0	144	144	172	0	91	172
Guma	91,84	0	269	269	263	0	268	263
Nerūdijantis plienas	84,25	112	403	403	410	37	435	410
Pilkasis ketus	25,02	0	25	25	25	0	25	25
Bronza	52,66	0	31	31	52	0	3	52
Plienas	30,19	0	6385	6385	5618	40	4795	5618
Varis	87,55	5	1433	1433	1337	1220	1489	1337
Stiklas	12,92	0	3037	3037	3037	0	3036	3037
Poliuretano putos	102,96	0	194	194	194	21	194	194
Propylen-gliukolis	105,42	0	327	327	577	0	327	327
Gofruotas kartonas	11,26	0	451	451	451	0	451	451
Cinkas	162,76	0	23	23	8800	0	0	0
Freonas R410A	56,74	0	60	60	40	0	0	40
Feromagnetikas	7,86	0	99	99	0	0	0	0
Akmens vata	25,65	0	1122	1122	917	24	843	917
Bentonitas	0,40	0	0	0	8800	0	0	8800
Saulės panelės	3675,22	0	0	0	0	0	0	2640
Keitiklis	3374,53	0	0	0	0	0	0	400

Iš medžiagų kiekių lentelės matoma, kad visose sistemose pagal sudarančiąją medžiagą vyrauja plienas, kurio 1 kg gamybai sunaudojama 30,19 MJ/kg pirminės iškastinės energijos. Palyginus plieną su kitų metalų gamyba, matome, kad kitų metalų gamybai pirminės energijos poreikis gerokai didesnis. Aliuminio ir cinko gamyboje atitinkamai sunaudojama 186,07 ir 162,76 MJ/kg. Visų medžiagų pirminės energijos poreikiai gauti naudojantis *SimaPro* programa. Vertinant saulės elementų sistemą buvo gauti pirminės energijos kiekiai atskiriems įrengimams.

Sudarytos sistemos valandos žingsniu buvo modeliuojamos *EnergyPRO* programa. Kiekviena sistema turi skirtingą galią, todėl padengia skirtingą metinį šilumos poreikį. Sistemų šilumos gamybos ir metinio poreikio dengiamą dalį atvaizduoja grafikas pateiktas 32 pav.



32 pav. Sistemų AEI dalis visame šilumos poreikyje

Iš visų tirtų sistemų nei viena neužtikrina viso metinio šilumos ar elektros energijos poreikio. Didžiausia poreikių dalis tenkinama vasaros periodu, kai nereikalingas šildymas. Visų tirtų sistemų pirminės energijos kiekiai skirtingų gyvavimo fazių metu pateikti 16 lentelėje.

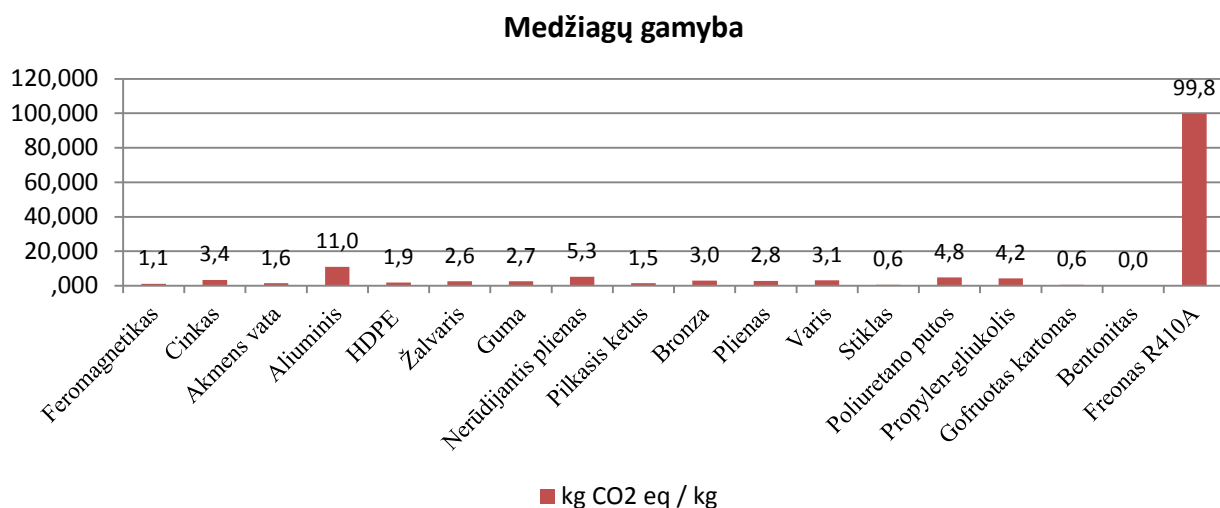
16 lentelė. Sistemų gyvavimo ciklo pirminės energijos poreikiai

Sistemos	Gamyba, GJ	Naudojimas, GJ	Transportas, GJ	Perdirbimas, GJ	Suma, GJ
1) CŠT	9,88	93298,82	5,40	0,00	93314
2) OŠS+SK+T	685,58	125464,71	45,50	-258,53	125937
3) OŠS+SK+CŠT	685,58	65469,92	45,50	-258,53	65942
4) GŠS+SK+CŠT	714,91	56880,85	50,97	-286,61	57360
5) DK	124,34	73769,16	14,93	-4,60	73904
6) SK+DK	531,16	57962,99	43,56	-129,47	58408
7) GŠS+SK+SE+CŠT	1573,28	48514,45	87,00	-286,61	49888

Kaip matyti iš 15 lentelės, daugiausiai pirminės energijos bus suvartota antrojoje sistemoje. Toks didelis energijos kiekis atsiranda dėl elektrinio šildytuvo veikimo. Mažiausias pirminės energijos kiekis reikalingas septintajai GŠS+SK+SE+CŠT sistemai. Sistema suvartoja 7472 GJ arba 13 % mažiau pirminės energijos nei identiška ketvirtoji sistema tik be saulės elementų. Tai rodo, kad saulės elementai padeda mažinti pirminės energijos poreikį. Nagrinėjant atskiras fazes, didžiausią pirminės energijos kiekį sudaro naudojimo fazė, kuri skirtinguose sistemose sudaro nuo 95 iki beveik 100 %. Būtina paminėti, kad skaičiuojant sistemų gamybą, nėra vertinama pačių sistemų įrenginių gamyba, o įvertinama tik pačių medžiagų gamyba. Įvertinus elementų gamybą gamybos fazės sunaudojamas energijos poreikis išaugtų.

9.2. Ekologinis sistemų vertinimas

Sistemų daromas poveikis aplinkai buvo vertinamas pagal jų išskiriamą anglies dvideginio ekvivalentų kiekį, kuris daro įtaką klimato kaitai – skatina visuotinį atšilimą. Visų teršalų kiekiai buvo skaičiuojami per visą sistemų gyvavimo ciklą. Naudojantis *SimaPro* programa buvo nustatyti visų reikalingų medžiagų gamybos fazėje išmetamų teršalų kiekiai. Gauti rodikliai pateikti 33 pav.



33 pav. Medžiagų gamyboje išsiskiriantys CO₂ ekvivalento kiekiai

Pagal gautus rodiklius ir turimą medžiagų masę buvo nustatyti sistemos gamybos fazėje išsiskiriančių teršalų kiekiai. Teršalų išmetimai vertinami visoms sistemų gyvavimo ciklo fazėms. Skaičiavimo rezultatai pateikti 17 lentelėje.

17 lentelė. Sistemų gyvavimo ciklo metu susidarantis CO₂ ekvivalentų kiekis

Sistemos	Gamyba, CO ₂ eq t	Naudojimas, CO ₂ eq t	Transportas, CO ₂ eq t	Perdirbimas, CO ₂ eq t	Suma, CO ₂ eq t
1) CŠT	1	4010	0	0	4010
2) OŠS+SK+T	48	7045	2	-19	7076
3) OŠS+SK+CŠT	48	2991	2	-19	3022
4) GŠS+SK+CŠT	45	3004	3	-19	3033
5) DK	4	4605	1	-1	4609
6) SK+ DK	31	3608	3	-9	3632
7) GŠS+SK+SE+CŠT	82	2534	5	-19	2603

Kaip ir energijos suvartojime taip ir teršalų išmetime blogiausius rezultatus parodė OŠS+SK+T. Tuo tarpu mažiausiai teršalų į aplinką pateks naudojant GŠS+SK+SE+CŠT sistemą. Akivaizdžiai daugiausiai teršalų išskiriama naudojimo fazėje, o kitos fazės sudaro visai nežymią srautų dalį.

9.3. Ekonominis sistemų vertinimas

Atliekant ekonominį vertinimą buvo priimta, kad skaičiavimo periodas yra 25 metai, o diskonto norma lygi 5 %. Taip numatyta, kad renovuojant daugiabučius ir diegiant šilumos gamybos sistemas, gyventojai gauna 30 % išlaidų kompensavimą [34]. Elektros ir šilumos energijos kainos iš miesto tinklų pirmaisiais metais atitinkamai lygios 52 ct/kWh ir 29,5 ct/kWh [35]. Priimama, kad kainos augs atitinkamai 1 % ir 1,5 % kasmet. Vertinant dujų kainą priimta, kad pirmaisiais metais dujų kaina yra 2,08 Lt/n.m³ ir didėja 1 % kasmet. Saulės elementų pagamintai elektros energijai numatytas supirkimo tarifas yra 0,75 ct/kWh, o jo galiojimo trukmė – 10 metų. Vėliau bus superkama rinkos kaina. Sistemų investicijos skaičiuojamos atsižvelgus į dabartinės rinkos kainas, išanalizavus įvairių tiekėjų produkciją ir komercinius pasiūlymus. Visos sistemos lyginamos su baziniu CŠT variantu, kurio ekonominis skaičiavimas pateiktas 18 lentelėje.

18 lentelė. Bazinio CŠT varianto ekonominis skaičiavimas

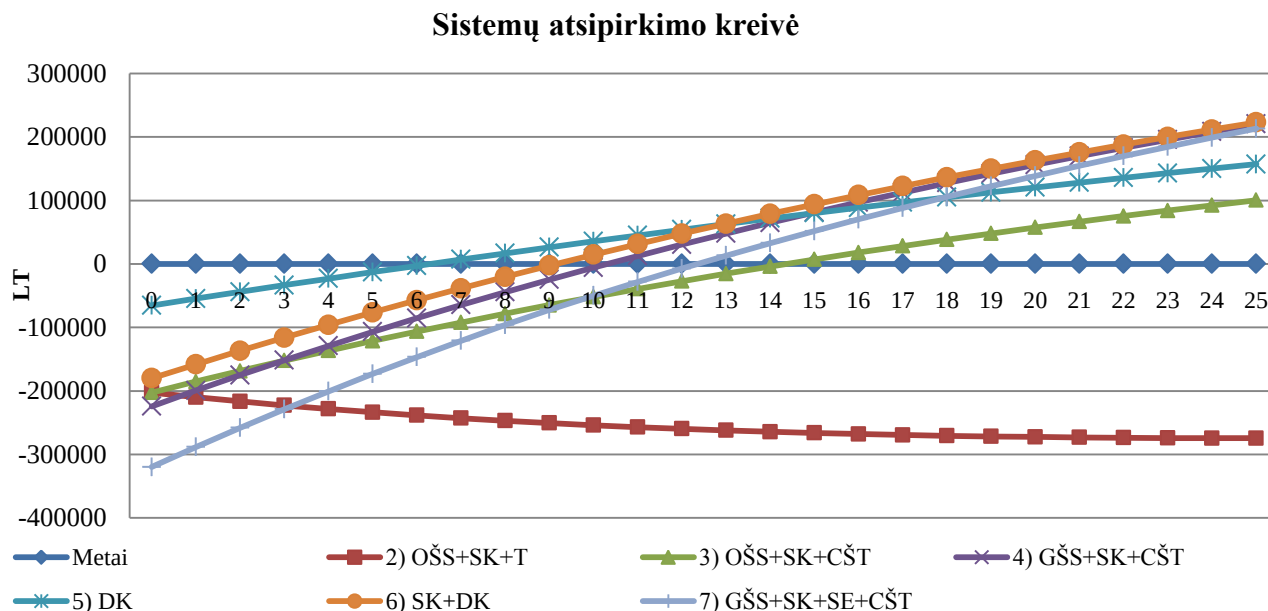
Šilumos ruošimas CŠT	
Šilumos poreikis iš CŠT per metus, MWh	199,36
Šilumos kaina iš CŠT pirmais metais Lt/kWh	0,28
Šilumos kaina naudojant CŠT, Lt/kWh	0,28
Išlaidos už šilumos energiją, Lt per metus	56258,39
Sistemos eksploatacinės išlaidos, Lt per metus	100,00
Viso išlaidų, Lt per metus	56358,39

Kitų sistemų ekonominis vertinimas pateiktas 19 lentelėje.

19 lentelė. Technologinių sprendimų ekonominis skaičiavimas

Sistemos	2) OŠS+SK+ T	3) OŠS+SK+ CŠT	4) GŠS+SK+ CŠT	5) DK	6) SK + DK	7) GŠS+SK+S E+CŠT
Investicijos 25 metams, Lt	202633,29	202633,29	224337,35	0,00	180058,29	319737,35
Elektros energijos poreikis per metus, MWh	124,47	13,37	42,09	0,00	1,77	42,09
Elektros energijos kaina Lt/kWh	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Išlaidos už elektros energiją, Lt per metus	64599,39	6937,73	21847,21	0,00	917,33	21847,21
Šilumnešio papildymas, Lt per metus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Šilumos kiekis iš AEI per metus, MWh	88,26	88,26	168,48	0,00	47,50	168,48
Šilumos kaina iš CŠT, Lt/kWh	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Reikiamas dujų kiekis n.m ³	-	-	-	22034	16505	0,00
Pajamos už parduotą el. en. Lt	-	-	-	-	-	6225,00
Trūkstamas šilumos poreikis per metus, kWh	0,00	111,10	30,87	0,00	0,00	30,87
Išlaidos už šilumos energiją, Lt per metus	0,00	31658,75	8797,80	0,00	0,00	8797,80
Sistemos eksploatacinės išlaidos, Lt per metus	64599,39	6937,73	30645,01	45830,30	35248,73	30645,01
Viso išlaidų, Lt per metus	64599,39	38596,48	30645,01	45830,30	35248,73	24420,01
Sutaupoma, Lt per metus	-7692,08	17761,92	25713,38	10528,09	21109,66	31938,38
Savikaina ct/kWh	0,365	0,234	0,199	0,230	0,213	0,187

Didžiausios investicijos tenka septintajai sistemai, tačiau jos pagamintos šilumos savikaina yra pati mažiausia 18,7 ct/kWh. Kaip matyti iš 17 lentelės antroji sistema OŠS+SK+T yra nuostolinga palyginus su esama ir ją įrenginėti yra visiškai netikslinga. Galima teigti, kad elektrinio šildytuvo panaudojimas nėra naudingas. Sistemų dinaminio atsipirkimo kreivės pateiktos 34 pav.



34 pav. Sistemų dinaminis atsipirkimo laikas

Palyginus su esama CŠT sistema, greičiausiai atsiperka sistema su dujiniais katilais (greičiau nei per 7 metus), kadangi šios sistemos pradinės investicijos yra nedidelės. OŠS+SK+CŠT sistemos atsipirkimo laikas <15 metų, GŠS+SK+CŠT <11 metų, SK+DK <10 metų, GŠS+SK+SE+CŠT <12 metų. Sistema OŠS+SK+T neatsiperka visai, kadangi yra nuostolinga dėl elektrinio šildytuvo panaudojimo. Nagrinėjant sistemas pagal kitą ekonominį rodiklį, grynąją dabartinę vertę (GDV), geriausi rezultatai bus pasiekti naudojant SK+DK. Šiuo atveju GDV – bus 223 tūkstančiai litų, GŠS+SK+CŠT – 220 tūkst. Lt., GŠS+SK+SE+CŠT – 213 tūkst. Lt., DK – 157 tūkst. Lt., OŠS+SK+CŠT – 100 tūkst. Lt. Matome, kad nors sistemos su SE šilumos savikaina yra mažiausia, jos GDV po 25 metų laikotarpio nėra didžiausia. Ši sistema reikalauja 95,4 tūkst. Lt., didesnių investicijų nei ketvirtoji sistema.

10. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė yra svarbus žingsnis priimant daugiakriterius sprendimus. Atliekant jautrumo analizę stebima, kiek pasikeis galutinis rezultatas, atlikus pradinių duomenų, arba tarpinių rezultatų pakeitimus. Gauti sprendimo rezultatai lyginami su fiksuotu sprendimo rezultatu [36]. Tipiškos uždavinio jautrumo analizės tikslas yra išsiaiškinti kaip pasikeis alternatyvų rangavimas, įvesties duomenis pakeitus naujomis reikšmėmis. Jautrumo analizės nagrinėjimą yra atlikę daug mokslininkų, kurie yra įrodę, kad sprendimo priėmimo problema gali būti nepaprastai jautri tam tikriems problemos parametrų pakeitimams. Jų išvados patvirtina jautrumo analizės reikalingumą.

Šiame tyrime nuspręsta nagrinėti pastato šilumos poreikių kitimo įtaką sistemų parametrų ir galutiniams sistemų rezultatams. Jautrumo analizė bus atliekama keičiant pastato poreikius, bet nekeičiant sistemų sudėties ir laikant, kad sistemos jau yra sumontuotos. Šilumos poreikių didėjimas ir mažėjimas gali atsirasti dėl įvairių priežasčių: pastato energinio efektyvumo kitimo į teigiamą ar neigiamą pusę, naujų sistemų atsiradimas ar esamų sistemų darbo režimo pasikeitimo bei kitų priežasčių.

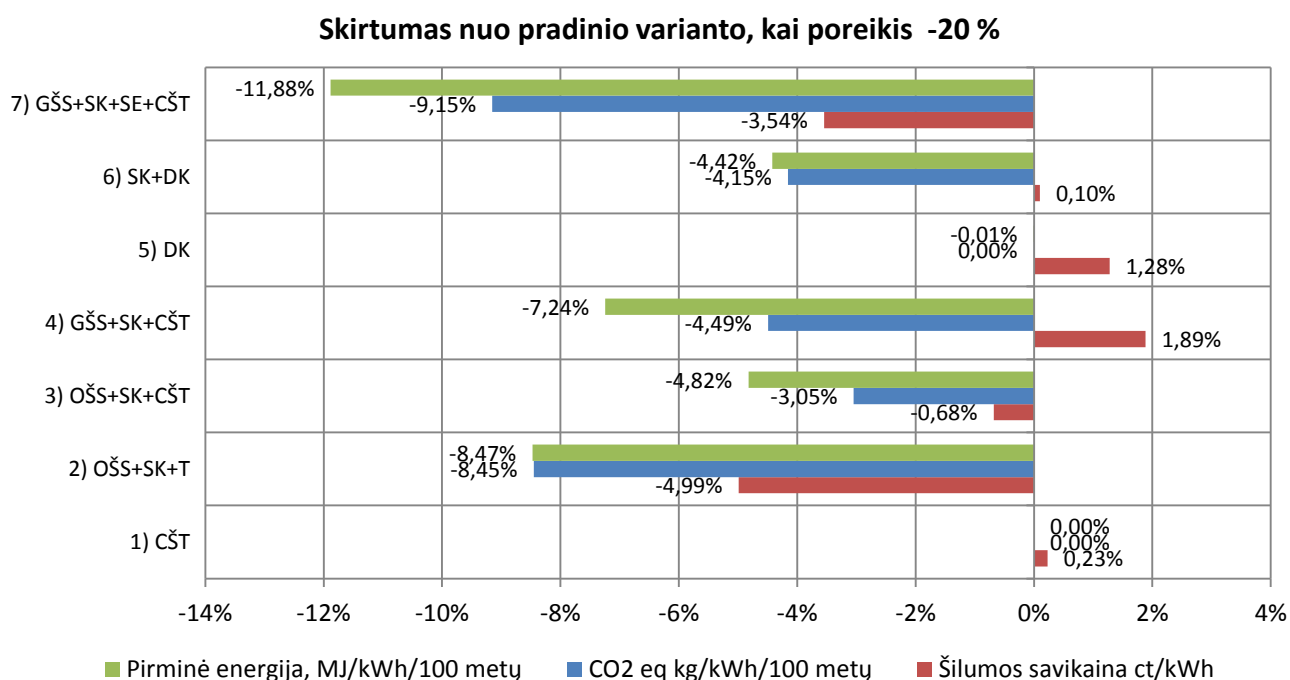
Jautrumo analizėje nagrinėjami du atvejai, kai pastato šilumos poreikis 20 % padidėja ir 20 % sumažėja. Atliekant analizę stebimi ekologinis, energinis ir ekonominis sistemų rodikliai. Pradiniame variante pastato šilumos poreikis 199,36 MWh, tai yra 181,4 kWh/m² per metus. Padidėjus pastato poreikiui 20 % jis lygus 239,23 MWh ir 217,56 kWh/m² per metus. Trečiuoju variantu, kai pastato poreikis 20 % mažesnis - 161,12 MWh ir 146,59 kWh/m² per metus. AEI sistemų tenkanti šilumos poreikio dalis, esant skirtingiems pastato šilumos suvartojimams, pateikta 20 lentelėje.

20 lentelė. AEI gaminamo poreikio dalis

Sistemos	Pastato AEI dalis, bazinis variantas	Pastato AEI dalis, kai poreikis +20 %,	Pastato AEI dalis, kai poreikis -20 %,
1) CŠT	11,00%	11,00%	11,00%
2) OŠS+SK+T	44,27%	39,96%	51,23%
3) OŠS+SK+CŠT	44,27%	39,96%	51,23%
4) GŠS+SK+CŠT	84,51%	77,14%	92,38%
5) DK	0,00%	0,00%	0,00%
6) SK+DK	23,83%	19,86%	27,74%
7) GŠS+SK+SE+CŠT	84,51%	77,14%	92,38%

Net ir esant 20 % mažesniai poreikiui nei viena esama sistema neužtikrina viso reikiamo šilumos kiekio. Norint atsisakyti papildomų šaltinių pastato šilumos suvartojimas šalčiausiais žiemos mėnesiais turi būti dar labiau sumažintas. Kaip matyti iš 18 lentelės, didžiausią poreikių dalį padengia sistema su gruntiniu šilumos siurbliu.

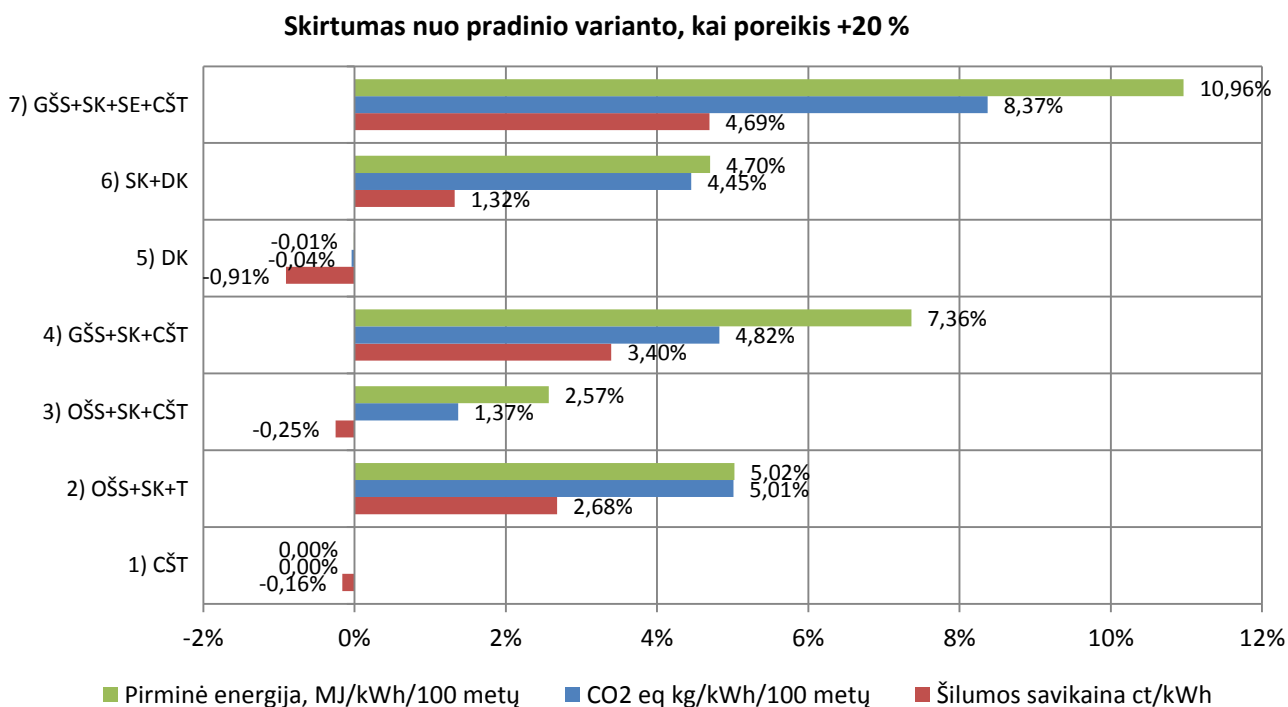
Atliekant jautrumo analizę rodiklių pokyčiais skaičiuojami nuo pradinio varianto, kai šilumos suvartojimas nekeičiamas. Pokytis gaunamas iš pradinio rodiklio atimant rodiklį prie pakeisto poreikio. Skaičiavimo rezultatai pateikti 35 pav.



35 pav. Sistemų rodiklių kitimas prie 20 % mažesnio šilumos poreikio

Pateiktame grafike pirminės energijos ir teršalų stulpeliai su neigiamu ženklu rodo, kad pirminės energijos ir teršalų tenkančių vienam šilumos energijos vienetui, bus sunaudota mažiau energijos ir išskirtas didesnis kiekis teršalų nei pradiniu atveju. Vertinant šilumos savikainą, teigiama reikšmė rodo šilumos savikainos didėjimą. Iš 35 pav. duomenų matyti, kad pirminės energijos požiūriu jautriausia sistema yra GŠS+SK+SE+CŠT. Šilumos poreikiui sumažėjus 20 %, kiekvienai pagamintai 1 kWh šilumos reikės 11,88 % mažesnio pirminės energijos kiekio. Vertinant teršalų kiekį didžiausi pokyčiai pastebimi taip pat toje pačioje sistemoje. Teršalų išmėtimai sumažėja 9,15 %. Šilumos savikainos atveju didžiausia įtaka poreikio sumažėjimas daro OŠS+SK+T sistemai, kurios pagamintas energijos vienetas atpigs 4,99 %.

Atvejis, kai pastato poreikiai padidėja 20 % pateiktas 36 pav.



36 pav. Sistemų rodiklių kitimas prie 20 % didesnio poreikio

36 grafikas atvaizduoja sistemų rodiklių pasikeitimus šilumos poreikiui padidėjus 20 %. Pirminės energijos požiūriu jautriausia sistema yra GŠS+SK+SE+CŠT. Šilumos poreikiui padidėjus 20 %, kiekvienai pagamintai 1 kWh šilumos reikės 10,96 % didesnio pirminės energijos kiekio. Vertinant teršalų kiekį šios sistemos pagaminta 1kWh šilumos papildomai į aplinką išmes 8,37 % daugiau teršalų. Taip pat labiausiai kinta ir šios sistemos pagamintos šilumos savikaina, kurios pagamintas energijos vienetas pabrangsta 4,69 %. Sistemų rodiklių kitimas priklauso nuo sistemų galingumų, AEI sistemų indėlio į gamybą bei karšto vandens ir šildymo sistemų poreikių ypatybių. Norint pasiekti geriausius rezultatus sistemų montavimas turi būti atliekamas jau po pastato poreikių korekcijos.

11.Rezultatų įvertinimas

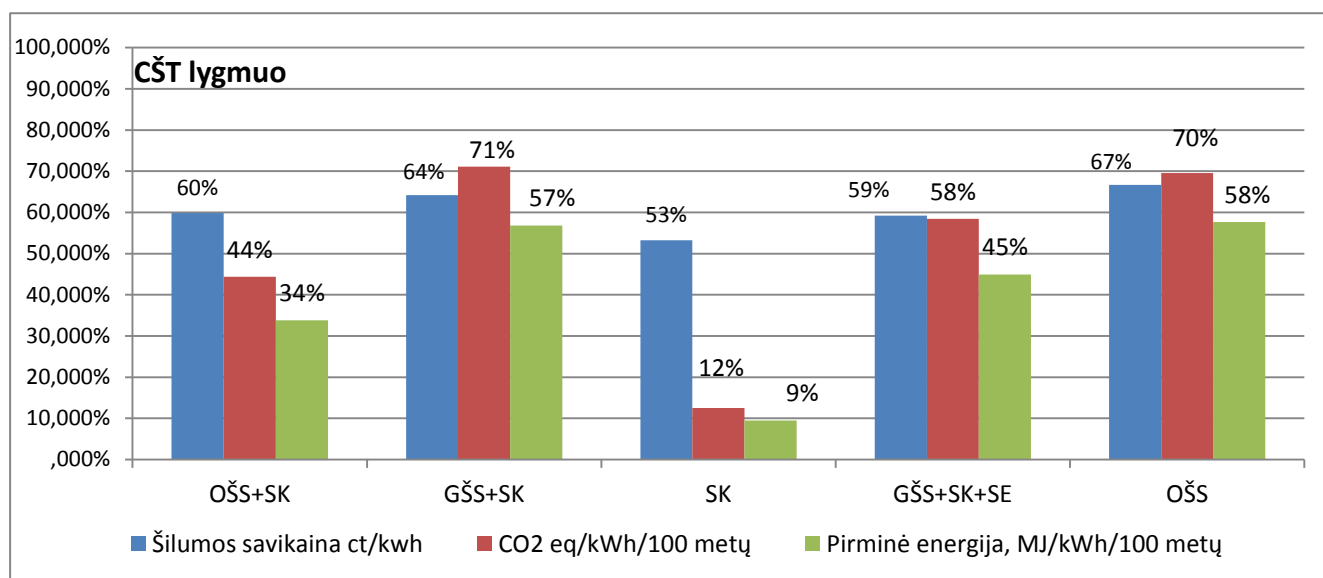
Šiame skyrelyje atliekamas daugiakriteris sistemų vertinimas. Analizėje pasirinktas 1 kWh pagamintos šilumos funkcinis vienetas. Daugiakriteriam vertinimui naudojami trys kriterijai: 1) šilumos savikaina ct/kWh; 2) CO₂ teršalų išmetimai, tenkantys patiektos šilumos vienetai CO₂ eq kg/kWh/100 metų; 3) pirminės energijos kiekis, tenkantis patiektos šilumos vienetai MJ/kWh/100 metų. Svertiniai vertinimo kriterijų koeficientai priimti vienodi, laikantis nuostatos, kad visi sistemų rodikliai vienodai svarbūs. Šie svarbumo koeficientai gali būti nustatyti apklausos būdu, tačiau tuomet gauti rezultatai priklausytų nuo apklaustų žmonių grupės ir reikšmės gali būti iškreiptos. Dėl šios priežasties visi svertiniai koeficientai prilyginami 1/3.

Daugiakriteris vertinimas buvo atliekamas pilnai sukomponuotoms sistemoms, kurios gamina visą pastatui reikalingą šilumos kiekį. Tačiau minėtu atveju, nėra matomi tikri AEI sistemų rodikliai, kadangi į bendrą vertinimą įtraukiamas ir papildomas (ne AEI naudojančių) sistemų veikimas. Norint atskleisti AEI naudojančių sistemų rodiklius buvo atskirtas tik AEI naudojančių technologijų veikimas ir rasti 3E rodikliai pagal jų gaminamą energijos kiekį. Visų sistemų sudėtis išlieka nepakitusi, tik panaikinamas papildomas šaltinis. Minėtų sistemų rodikliai pateikti 21 lentelėje.

21 lentelė. AEI naudojančių sistemų parametrai be papildomo šilumos šaltinio

Sistema	Šilumos savikaina ct/kWh	CO ₂ eq/kWh/100 metų	Pirminė energija, MJ/kWh/100 metų
CŠT	28,5	0,201	4,68
OŠS+SK	17,0	0,089	1,58
GŠS+SK	18,3	0,143	2,66
SK	15,2	0,025	0,44
GŠS+SK+SE	16,9	0,118	2,10
OŠS	19,0	0,14	2,7

Gauti duomenys parodė, kad visi alternatyvūs deriniai visais parametrais lenkia CŠT. Geriausius rezultatus pasiekia saulės kolektorių sistema, kurios didžiausias pranašumas yra išmetamas teršalų kiekis (0,025 CO₂ eq/kWh/100 metų). Gauti rezultatai palyginti su CŠT grafiškai (37 pav.).



37 pav. AEI sistemų rodiklių dalis nuo CŠT

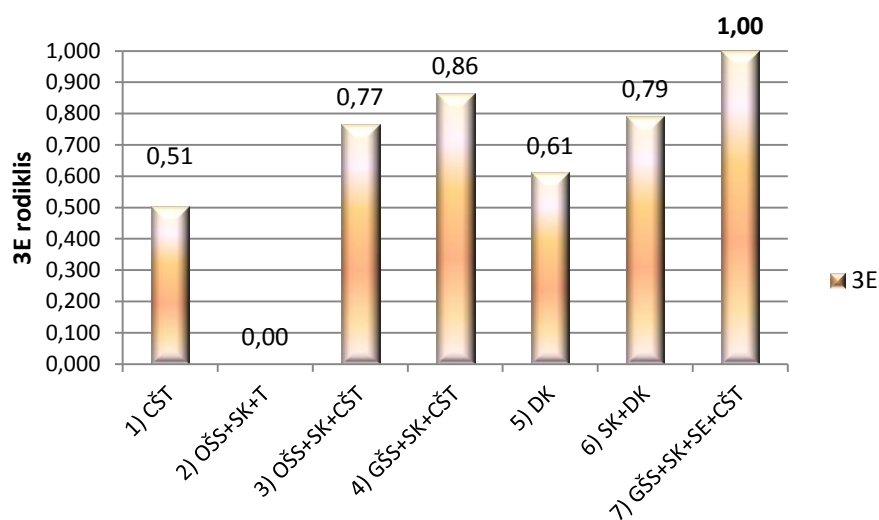
Iš visų sistemų rodiklių išsiskiria saulės kolektorių teršalų bei pirminės energijos rodikliai, kurie yra ženkliai mažesni nei kitų sistemų. Lyginant su CŠT, ši sistema išmeta 88 % mažiau teršalų bei suvartoja 89 % mažiau pirminės energijos. Visų kitų sistemų rodikliai išlieka panašūs.

Atliekant daugiakriterį vertinimą, sistemos buvo analizuojamos įvertinant papildomus šilumos šaltinius, kai pagaminamas visas reikiamas šilumos poreikis. Daugiakriteris vertinimas atliktas pagal 7.2 skyriuje pateiktas formules. Gauti rezultatai pateikti 22 lentelėje.

22 lentelė. Daugiakriteris sistemų vertinimas

Technologinis sprendimas	Vertinimo kriterijai			Nedimensinis rodiklis			3E
	Šilumos savikaina ct/kWh	CO ₂ eq kg/kWh/100 metų	Pirminė energija, MJ/kWh/100 metų	k _{sk}	C _{CO2}	e _{gj}	
Svertinis koeficientas	0,333	0,333	0,333				
1) CŠT	28,5	0,201	4,68	0,448	0,685	0,383	0,505
2) OŠS+SK+T	36,5	0,355	6,32	0,000	0,000	0,000	0,000
3) OŠS+SK+CŠT	23,4	0,152	3,31	0,733	0,906	0,662	0,767
4) GŠS+SK+CŠT	19,9	0,152	2,88	0,932	0,904	0,759	0,865
5) DK	24,3	0,231	3,70	0,683	0,551	0,598	0,611
6) SK+DK	21,3	0,182	2,93	0,852	0,770	0,749	0,790
7) GŠS+SK+SE+CŠT	18,7	0,131	2,50	1,000	1,000	1,000	1,000

Remiantis 22 lentele, sudaryta lyginamoji variantų diagrama (38 pav.).



38 pav. Sistemų 3E rodiklio palyginimas

Iš gautų vertinimo rezultatų matyti, kad optimalus technologinis sprendimas yra 7)GŠS+SK+SE+CŠT, kadangi jo 3E kriterijus turi didžiausią reikšmę. Reikšmė lygi vienetui rodo, kad ši sistema pagal pritaikytus kriterijus parodo geriausius rezultatus. Lyginant šią sistemą su analogiška 4)GŠS+SK+CŠT sistema tik be saulės elementų, matyti, kad šios sistemos 3E rodiklis 0,14 punkto arba 13,5 % mažesnis. Tai rodo, kad saulės elementų sistemos naudojimas yra tikslingas. Saulės elementų sistema sumažina šilumos savikainą 1,2 ct/kWh, teršalų išmetimus 0,021 CO₂ eq kg/kWh/100 metų, pirminės energijos suvartojimą 0,38 MJ/kWh/100 metų.

Išvados

Darbe išnagrinėtos daugiabutį namų šiluma ir elektros energija aprūpinančios technologinės sistemos. Sudaryti visų sistemų skaičiavimo modeliai ir atliktas modeliavimas *EnergyPRO* programa. Visoms sistemoms atlikta inventorinė analizė, nustatyti sunaudojamos energijos ir išsiskiriančių teršalų kiekiai visų sistemų gyvavimo fazių metu. Iš tirtųjų sistemų daugiakriterės analizės metodu nustatytas optimalus daugiabučio namo aprūpinimo energija technologinis sprendinys.

Nustatytas metinis pastato šilumos poreikis 199,36 MWh, o tai yra 181,39 kWh/m². Pastato elektros energijos poreikis 25,36 MWh.

1. Atlikus sistemų modeliavimą ir kitus tyrimus paaiškėjo, kad optimali yra kombinuota sistema sudaryta iš gruntas-vanduo šilumos siurblio, saulės kolektorių, saulės elementų ir centralizuoto šilumos tiekimo (GŠS+SK+SE+CŠT). Tokios sistemos šilumos savikaina yra 18,7 ct/kWh, teršalų emisija – 0,131 CO₂ eq kg/kWh/100 metų, pirminės energijos poreikis – 2,50 MJ/kWh/100 metų. Tokia sistema dengia 85 % pastato metinio šilumos poreikio.
2. Atskyrus AEI naudojančių sistemų veikimą nuo papildomų šaltinių nustatyta, kad geriausius rodiklius pasiekia SK sistema. Šios sistemos šilumos savikaina yra 15,2 ct/kWh, teršalų emisija – 0,025 eq kg/kWh/100 metų, pirminės energijos poreikis – 0,44 MJ/kWh/100 metų. Dėl šios priežasties norint pagerinti visos sistemos rodiklius, reikia didinti šios sistemos įrengtą galią.
3. Vertinant dinaminį sistemų atsipirkimą nustatyta, kad greičiausiai (per 7 metus) atsipirktų dujinių katilų sistema (DK). Naudojant tokio tipo sistemą šilumos savikaina būtų 24,3 ct/kWh. Vertinant GDV ekonominį rodiklį geriausią rezultatą parodo SK+DK sistema, kurios GDV po 25 metų lygi 223 tūkst. Lt.
4. Ištyrus visas sistemų gyvavimo ciklo fazes nustatyta, kad didžiausias teršalų išmetimas ir pirminės energijos suvartojimas yra naudojimo fazės metu. Šios fazės metu sunaudojama ir išskiriama nuo 95 iki 99 % viso reikalingo pirminės energijos bei teršalų kiekio.
5. Norint pritaikyti AEI sistemas tirtam daugiabučiam namui vis tiek reikalingas papildomas šaltinis, todėl atsijungimas nuo CŠT ir miesto elektros tinklų sunkiai įmanomas.
6. Kadangi darbe nebuvo nagrinėtos vėsinimo sistemos, o pagal IPPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ateityje vėsinimo poreikis gali smarkiai išaugti, atliekant tolimesnius tyrimus tikslinga išnagrinėti vėsinimo sistemų pritaikymą tokio tipo pastatuose.
7. Nagrinėtų sistemų pritaikymas ir naudojimas tikslingas tik energetiškai efektyviems pastatams, todėl prieš diegiant AEI būtina pastatus renovuoti, kad sumažėtų investicijos ir AEI pagalba būtų dengiama kuo didesnė poreikių dalis.
8. Tyrimo rezultatai gali būti pritaikomi atnaujinant ir statant daugiabučius ar kitokio tipo pastatus, taip pat tobulinant AEI sistemas bei jų darbą.

Literatūros sąrašas

1. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.
2. UNEP-SBCI, Buildings and Climate Change; Status, Challenge and Opportunities, UNEP Publication, Paryžius, Prancūzija, 2007, p.3-4.
3. Aplinkosauginių reikalavimų įgyvendinimo vertinimas, Lietuvos respublikos finansų ministerija, 2011, p.25-27.
4. Merad M., Dechy N., Serir L. Using a multi-criteria decision aid methodology to implement sustainable development principles within an organization, European journal of operation research 224, 2013, p.603-613.
5. Agya U., Shabbir H. G. Life cycle energy of single landed houses in Indonesia, Energy and Buildings 40, 2008, p.1911–1916.
6. You F., Hu D., Zhang H. Carbon emissions in the life cycle of urban building system in China—A case study of residential buildings, Ecological Complexity 8, 2011, p.201–212.
7. Thormark C. Low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, Building and Environment 37, 2002, p.429 – 435.
8. Dixit M.K., Jose L. Fernandez-Solks, S. L. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review, Energy and Buildings 42, 2010, p.1238–1247. Marszal A.J., Heiselberg P. Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark, Energy 36, 2011, p. 5600-5609.
9. Wang J., Jing Y., Zhang C. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2009, 2263–2278.
10. Duomenų bazė: Rodiklių duomenų bazė [interaktyvus]. Lietuvos statistikos departamentas [žiūrėta 2013-04-20]. Prieiga per internetą: <http://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?id=1112&status=A>
11. Lung H., ir kiti. The role of district heating in future renewable energy systems. Journal Energy 35, 2010, 1381–1390.
12. Ilic D.D., Dotzauer E., Trygg L. District heating and ethanol production through polygeneration in Stockholm. Žurnalas Applied Energy 91, 2011, 214–221
13. Šuksteris V., Jonynas R. 2011. Šilumos siurblio panaudojimo Alytaus daugiabučiame name analizė. KTU.
14. Šuksteris V., Jonynas R. 2011. Daugiabučio namo centralizuoto šilumos tiekimo alternatyvų analizė. KTU.
15. K.J. Chua Integrating renewable energy technologies to support building trigeneration – A multi-criteria analysis. Renewable Energy Volume 41, May 2012, Pages 358–367.
16. Alanne, K., Salo, A., Saari, A., Gustafsson, S.I. Multicriteria evaluation of residential energy supply systems. Energy and Buildings, accepted for publication. Elsevier Science 2006.

17. Subačiūtė I. Mažaenerginio administracinio pastato sezoninės energijos poreikių ypatybės. Magistrinis darbas. VGTU:2012m.
18. International energy agency, 25 energy efficiency policy. Recommendations 2011.
19. Kublickis J. Daugiakriterė pastato mišraus aprūpinimo šiluma variantų analizė. Magistrinis darbas. VGTU:2012m.
20. Power, A. 2008. Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?, *Energy Policy* 36(12): p. 4487–4501.
21. Ignatavičius Č. Stambiaplokščių namų natūriniai tyrimai, išvados ir rekomendacijos namų modernizavimui: Mokslo darbo ataskaita. 2009.
22. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. [žiūrėta 2013-04-22]. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/files/silumossuvartojimas/100729_Silumos%20suvartojimas_Svetainei.pdf
23. STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“
24. STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“
25. Bojic M., Kalogirou S., Petronijević K. Simulation of a solar domestic water heating system using a time marching model. *Renewable Energy* 27,2002, 441-452.
26. E.Pralgauskis. Gyvenamųjų namų pastatytų iki 1990 metų elektros apkrovų tyrimas. Magistrinis darbas. ŠU:2011m.
27. H.Ren, W.Gao, Y.Ruan. Optimal sizing for residential CHP system. *Applied Thermal Engineering* 28, 2008, 514-523.
28. LRŪM 2005 m. gegužės 28 d. patvirtintos „Pastatų karšto vandens sistemų įrengimo taisyklės
29. Čiuprinskas K., Rogoža A. The application of 3E factor as sustainability expression for multi-criteria optimisation of energy systems. 6th International Conference Energy for Buildings, Proceedings. Vilnius:Technika, 2004, p. 48–57.
30. Rogoža. A., Čiuprinskas. K., Šiupšinskas. G. The optimisation of energy systems by using 3E factor: the case studies. *Journal of civil engineering and managment* VOL 12, 2006, p. 63-68.
31. Saulės šildymo sistemos. Mokymo kursų medžiaga. Lietuvos energetikos institutas. Kaunas 2006 m.
32. Kjellsson E., Hellstrom G., Perers B. Optimization of systems with the combination of ground-source heat pump and solar collectors in dwellings. *Energy* 2009.
33. Prieiga per internetą: <http://www.2013solarstorm.net> [žiūrėta 2013-04-22].
34. Prieiga per internetą <http://www.atnaujinkbusta.lt/index.php/lt/p/atnaujink-busta/valstybes-parama> [žiūrėta 2013-05-15].
35. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. [žiūrėta 2013-04-10]. Prieiga per internetą <http://www.regula.lt/lt/vartotojams/kainos-tarifai/>
36. Giupponi.C, Mysiak.J, Fassio.A. Cogan.V. A computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. *Giupponi Mathematics and Computer in Simulation* 64, 2004,13-24.

Priedai



ALTERNATYVIŲ ŠILUMOS ŠALTINIŲ PANAUDOJIMO KARŠTAM VANDENIUI RUOŠTI DAUGIABUTYJE DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ

Martynas Matuzas¹, Artur Rogoža²

¹magistrantas, ²docentas,

Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
el. p. ¹m4rcius@gmail.com, ²artur.rogaza@vgtu.lt

Anotacija. Šio darbo tikslas yra naudojantis daugiakriterė analize rasti optimalią technologiją karštam vandeniui ruošti daugiabučiame name. Tiriamos centralizuoto šilumos tiekimo sistemą (esamas variantas) papildančios alternatyvos: šilumos siurblio oras – vanduo sistema, saulės kolektorių sistema bei šių dviejų sistemų derinys. Gyvavimo ciklo analizės (GCA) metu išanalizuoti keturi karšto vandens ruošimo variantai per 100 metų jų veikimo laikotarpį. Įvertintos transportavimo, sunaikinimo bei perdirbimo fazės. Siekiant atlikti įvairiapusių alternatyvų įvertinimą buvo nustatytas energijos poreikis, teršalų emisijos, dinaminis sistemų atsipirkimo laikas, pritaikius daugiakriterės analizės principus pagal keletą kriterijų rastas optimalus karšto vandens ruošimo būdas.

Reikšminiai žodžiai: karšto vandens sistema, saulės kolektoriai, šilumos siurblys oras-vanduo, daugiabutis namas, pirminė energija, klimato kaita, gyvavimo ciklo analizė, daugiakriterė analizė.

Įvadas

Pastatų sektorius Lietuvoje yra viena iš didžiausių potencialą turinčių sričių, galinčių žymiai sumažinti išmetamų teršalų kiekį ir pirminės energijos sąnaudas. Laikantis tvariosios plėtros principų, turėtų būti vertinamas ne tik pastato energijos poreikis, bet ir visa jo medžiagoms bei konstrukcijoms pagaminti reikalinga pirminė energija. Pastatai daugiausia teršalų išskiria ir energijos suvartoja dviejų pagrindinių fazių metu: jų sukūrimo ir naudojimo. Gyvenamieji skirtingų tipų pastatai statybos fazėje skirtingų autorių darbuose gali suvartoti nuo 9 % (Utama 2008) iki 14 % (You 2011) pirminės energijos. Tačiau energijos sąnaudos skirtingų tipų pastatuose gali būti labai skirtingos. Mažaenergiuose pastatuose statybos ir sunaikinimo fazė gali sudaryti nuo 40 % (Thormark 2002) iki 70 % (Dixit 2010) suvartotos energijos per visą objekto gyvavimo laiką, o nulinės energijos pastatuose net visą pirminės iškastinės energijos kiekį (Anna 2011). Lietuvoje aktualiausia yra gyvenamųjų pastatų problema, nes namų ūkiai suvartoja daugiau nei 31 % visos šalies galutinės energijos (Statistikos departamentas 2011). Lietuvoje įsibėgėjant daugiabučių renovacijos procesui yra puiki proga priimti racionalius ir įvairiapusiškai naudingus aprūpinimo šiluma sprendimus.

Šis tiriamasis darbas skirtas nustatyti optimalų daugiabučio pastato aprūpinimo karštu vandeniu technologinį sprendimą. Geriausias variantas bus atrinktas naudojantis daugiakriterė analize, įvertinant ekologinį, energinį bei ekologinį (3E) aspektus.

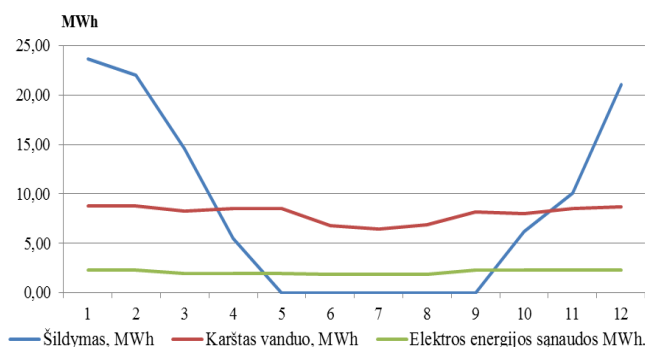
Atskirų energinių sistemų tyrimų, skaičiuojant jų ekonominį atsiperkamumą, yra atlikta ne vienas. Iki šiol parengti Lietuvos autorių darbai, skirti daugiabučių namų aprūpinimui šiluma šilumos siurbliais (Šuksteris 2011), saulės kolektoriais bei iškastinio kuro katilais (Šuksteris 2011). Panašių darbų, naudojant daugiakriterė analizę, yra atlikta ir užsienio autorių (Alanne 2006), kurie yra išanalizavę įvairių sistemų darbą skirtingose pastatų grupėse.

Šio darbo naujumas susijęs su kompleksiniu požiūriu į šilumos gamybą daugiabučio namo karšto vandens ruošimui. Panašus darbas buvo atliktas Lietuvos autoriaus, kuris tyrė poilsio namų šilumos aprūpinimo sistemų alternatyvas (Kublickis 2012). Tačiau pateikti autoriaus rekomenduojami rodikliai negali visapusiškai atspindėti pastaruoju metu naudojamų sistemų pranašumų, nes beveik nebuvo paliestos atsinaujinančius energetinius išteklius (AEI) naudojančios sistemos. Būtina pastebėti, kad daugumos autorių tyrimų objektai patenka į pastatų kategoriją, kurių šilumos ir elektros poreikių ypatybės ypač skiriasi nuo daugiabučių namų, kurie šiuo metu Lietuvoje

suvartoja nemažą dalį energijos. Šiame darbe, įvertinus kelis kriterijus (3E), nustatytas optimalus technologinis daugiabučio namo sprendinys karštam vandeniui ruošti, analizuojamas dviejų energijos gamybos šaltinių darbas bei pateiktos išvados ir rekomendacijos.

Tyrimo objektas

Tyrimo objektu pasirinktas realus daugiabutis namas ir keturios energijos tiekimo sistemos. Pastatas yra tipinis 20-ies butų 5 aukštų su rūsiu ir sutapdintu stogu daugiabutis namas. Bendras gyvenamasis pastato plotas sudaro 1099 m², tūris – 8901 m³. Pastatas renovuotas 2008 metais ir šiuo metu sienų atitvarų charakteristikos tenkina norminius atnaujinamų namų reikalavimus (STR 2.05.01:2005). Namas šilumą aprūpinamas iš centralizuotų šilumos tiekimo tinklų, prie kurių yra prijungtas pagal nepriklausomą schemą. Pastato energijos poreikiai, nuskaityti nuo skaitiklio rodmenų 2009 - 2010 metais, buvo perskaičiuoti į norminius ir pateikti 1 pav. Šildymo sistemos metinis poreikis lygus 103,08 MWh, o karšto vandens poreikis 96,91 MWh. Darbe bus nagrinėjama tik karšto vandens ruošimo dalis.



1 pav. Metinis pastato energijos poreikis

Tyrimo metu buvo nagrinėjamos šios karšto vandens ruošimo sistemos: 1. Centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT) – bazinis variantas. Šiluma vandens ruošimui tiekama iš CŠT. 2. Saulės kolektorių sistema (SK) su CŠT. Sistemą sudaro 44 m² plokščiųjų saulės kolektorių. Sistema šilumą akumuliuoja šilumos punkte esančioje 2,5 m³ tūrio talpoje. 3. Šilumos siurblio (ŠS) oras - vanduo sistema su CŠT. Šilumos siurblys naudoja per vėdinimo kanalus šalinamo oro šilumą (bendras šalinamas oro kiekis yra 1600 m³/h). Tokiu principu veikiančio šilumos siurblio elektrinė galia – 1,8 kW, šiluminė galia – 6,3 kW, o sezoninis efektyvumas – COP= 3,5. Naudojant šią sistemą taip pat yra pagerinamas patalpų vėdinimas. Ši-

lumos siurblys šilumą kaupia vienoje 2 m³ akumuliacinėje talpoje. 4. Saulės kolektorių (22,08 m² ploto) ir oras - vanduo šilumos siurblio kombinuota sistema (KS). Trūkstamas šilumos kiekis tenkinamas CŠT sistema.

Metodika

Pagrindiniai skaičiavimai atlikti pasitelkus gyvavimo ciklo analizės metodą (GCA). Šio metodo principai ir reikalavimai reglamentuoti perimtuose Lietuvos standartuose (LST EN ISO 14040, LST EN ISO 14044). Pagal minėtą metodą buvo tiriamos daugiabučio namo energijos aprūpinimo sistemos: saulės kolektoriai, šilumos siurblys ir CŠT. Išnagrinėtos pagrindinės trys gyvavimo ciklo fazės: sukūrimo, naudojimo ir sunaikinimo-perdirbimo. GCA taikymą sudaro keletas etapų, kurie aptariami toliau.

Tikslo ir apimties nustatymas. Suformuluotas analizės tikslas buvo ištirti tris pasirinktas inžinerines sistemas ir nustatyti šių sistemų poveikio aplinkai ir ekonominius rodiklius. Tyrimo apimčiai nustatyti buvo priimtos šios prielaidos:

- Pastato gyvavimo laikotarpis - 100 metų;
- *Gamybos fazėje* vertinama tik medžiagų gamyba ir transportavimas nuo sistemos elementų gamybos iki objekto;
- Nuo gamybos iki sandėliavimo vietos vežama skirtingu autotransportu (3,5 ir 16t);
- *Naudojimo fazėje* vertinamas sistemų elementų keitimas naujais, jų transportavimas, sistemų energijos suvartojimas, aptarnavimo transportas.

Medžiagos, sudarančios iki 5 % elementų masės nevertinamos dėl menkos įtakos galutiniam rezultatui. Elektros energija ir šiluma gaminama kombinuoto ciklo jėgainėse, medžiagos perdirbamos 100 %.

Inventorinė analizė. Ji skirta sudaryti visų sistemų elementų medžiagų ir energijos balansus. Šiam tikslui buvo naudojamosi techninės gamintojų specifikacijos ir įvairiais žinytais. Sistemų energijos gamybos tyrimui buvo naudojama *EnergyPRO* modeliavimo programa.

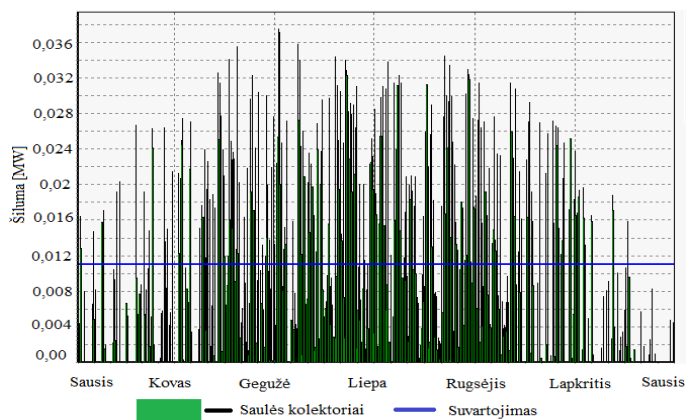
Poveikio įvertinimas. Įvertinime dėl išmestų teršalų buvo nuspręsta tirti klimato kaitos problemą, t. y. nustatyti į aplinką pateksiančio CO₂ ekvivalentų kiekį. Minėta įtakos kategorija tirta *IPCC 2007 GWP* modelio pagrindu, o ji pasirinkta dėl savo aktualumo ekologiniu požiūriu.

Interpretavimas – tai paskutinysis GCA etapas. Jame analizuojami ir vertinami gauti duomenys pagal nustatytus svertinius energinio ir ekologinio aspektų rodiklius. Papildomai sistemos vertintos ir pagal ekonominį rodiklį. Kad būtų galima tinkamai įvertinti sistemas, visų sistemų gauti rodikliai privalo būti apskaičiuoti funkciniam vienetui. Kadangi šiame tyrime pagrindinė energijos rūšis yra šiluma, vertinimas atliekamas 1kWh reikalingos karšto vandens sistemoje šilumos. Skaičiavimuose įvertinta prielaida, kad visais šilumos gamybos atvejais šilumos poreikis 1 m³ suvartoto vandens bus vienodas. Gauti funkciniam vienetui rodikliai buvo naudojami daugiakriteriam vertinimui atlikti.

Sistemų modeliai

Sistemų dydis ir jų elementai parinkti atsižvelgiant į realius tiriamojo objekto šilumos poreikius, geometrinę pastato struktūrą, pastato tipą bei supančią aplinką. Įrangos parinkimas atliktas naudojantis gamintojų ir ekspertų rekomendacijomis.

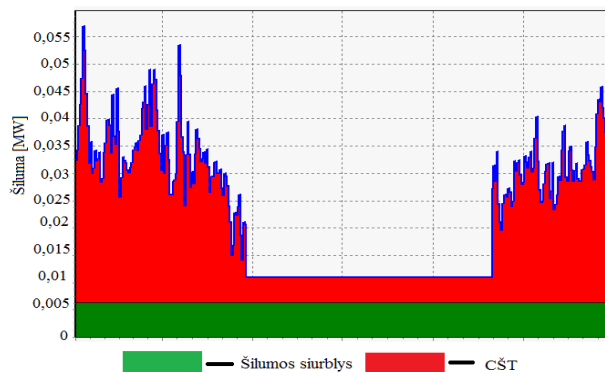
Sukomplektuotų sistemų veikimas buvo modeliuojamas *EnergyPro* programa. Saulės kolektorių sistemos šilumos gamybos modeliavimo rezultatai pateikti 2 pav.



2 pav. Saulės kolektorių šilumos gamybos potencialas ir šilumos poreikis

Sumodeliavus SK sistemą buvo nustatyta, kad bus padengta 23,5 MWh metinio karšto vandens poreikio, o tai sudaro 24,2 % viso šilumos poreikio. Atsižvelgiant į Lietuvos ir užsienio ekspertų atliktų projektų rezultatus ir rekomendacijas, buvo priimta prielaida, kad 1m³ karšto vandens paruošti per parą reikia 10 – 12 m² saulės kolektorių ploto. Tiriamojo pastato karšto vandens paros poreikis yra 4,1 m³, todėl pasirinkta 44 m² saulės kolektorių sistema. Siekiant gaminti didesnę dalį šilumos iš atsinaujinančių energijos išteklių (AEI), reikėtų didinti saulės

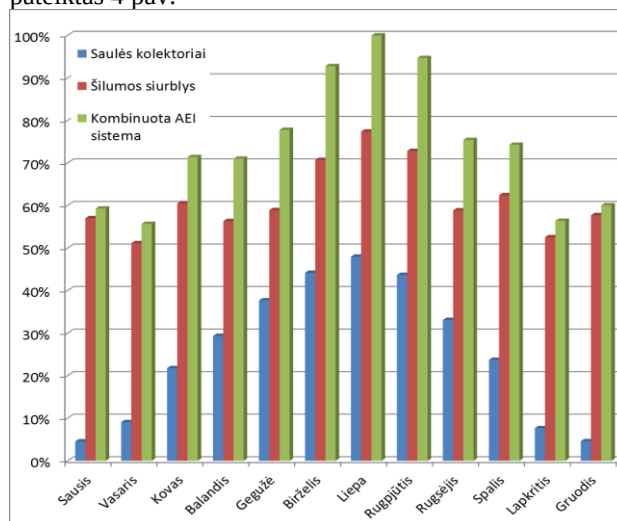
kolektorių plotą, o tai reikalauja ženkliai didesnių investicijų. Šilumos siurblio sistemos modeliavimo rezultatai pateikti 3 pav.



3 pav. Šilumos siurblio sistemos veikimo grafikas

Kadangi šilumos siurblys įrengtas ant pastato vėdinimo kanalų, kurių išmetamo oro srautas (80 m³/butui) ir temperatūra (19 °C) laikomi pastoviais, ŠS pagamintas šilumos kiekis ir COP buvo įvertinti kaip pastovūs. Modeliavimo metu nustatyta, kad ŠS sistema padengs 58,7 MWh šilumos kiekio, o tai sudaro 60,6 % viso karšto vandens sistemos poreikio.

Analogiškai buvo modeliuojama ir trečioji KS sistema. KS sistema šilumą iš saulės kolektorių ir šilumos siurblio kaupia 4 m³ tūrio akumuliacinėje talpoje. KS sistemos AEI dalis sudarė 72,7 % šilumos poreikio. Detalesnis alternatyvių sistemų šilumos poreikių tenkinimas pateiktas 4 pav.



4 pav. AEI gaminamos šilumos dalis iš bendro karšto vandens sistemos šilumos poreikių balanso

Kaip matome iš 4 pav., visos sistemos didesnė poreikių dalis tenkinama vasaros laikotarpiu. Taip yra todėl,

kad vasaros metu yra intensyvesnė saulės spinduliuotė bei dėl atostogų meto sumažėja pats vandens suvartojimas. Tolimesniems sistemų tyrimams buvo atlikta medžiagų, kurių reikia pagaminti visas tris sistemas, inventorinė analizė. Šie duomenys buvo gauti pasinaudojant techninėmis įrangos specifikacijomis, žinynais ir gamintojų katalogais. Didžiausią medžiagų dalį sudaro plienas: SK sistemoje – 42 %; ŠS sistemoje – 85 %; kombinuotoje sistemoje – 66 %. Saulės kolektorių sistemoje nemažą dalį sudaro stiklas – 24 %. Visi šie kiekiai, įvertinus elementų keitimą dėl nusidėvėjimo, buvo skaičiuoti visam pastato gyvavimo 100 metų periodui. Dėl šios priežasties, buvo nustatomas kiekvieno elemento tarnavimo laikas kuriam praėjus elementas buvo keičiamas nauju. Skaičiavimuose priimta prielaida, kad pagrindinių sistemų elementų tarnavimo laikas yra 25 metai.

Energinio vertinimo rezultatai

Atliekant energinį vertinimą buvo skaičiuojamas pirminės energijos poreikis sistemos gamybos, transportavimo, naudojimo ir sunaikinimo-perdirbimo fazėse. Vertinant įvairių sistemų rodiklius priimama prielaida, kad šilumos punktas jau yra įrengtas ir papildomų sistemų kaštų bei teršalų srautų nebus per visą nagrinėjamą laikotarpį. Atliekant skaičiavimus buvo laikoma, kad miesto tinklų elektros ir šilumos energija gaminama naudojant iškastinį kurą – gamtines dujas. Vertinant energijos kiekius iš miesto šilumos ir elektros tinklų GCA požiūriu buvo naudojami 1 lentelėje pateikti santykiniai rodikliai.

1 lentelė. Miesto tinklų santykiniai rodikliai

CŠT	kgCO ₂ /kWh	f _{PRn, vnt.}	MJ/kWh
Šiluma	0,226	1,3	4,7
Elektra	0,566	2,8	10,1

Čia: $f_{R,PRn,E}$ – atskaitinis neatsinaujinančios pirminės energijos faktorius elektros energijai (STR 2.01.09:2012).

Pirminės energijos poreikių skaičiavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Per visą sistemų gyvavimo ciklą sunaudotos pirminės energijos kiekiai

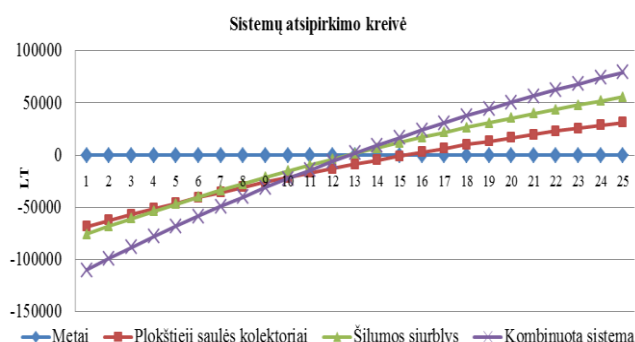
Iš skaičiavimo rezultatų matome, kad visų sistemų

Sistemos	Gamyba, GJ	Naudojimas, GJ	Transportavimas, GJ	Perdirbimas, GJ	Suma, GJ
CŠT	0	45355	0	0	45355
SK+CŠT	995	35136	27	-79	36078
ŠS+CŠT	1034	34717	18	-30	35740
KS + CŠT	1883	35106	29	-88	36930

naudojančių AEI, pirminės energijos poreikis panašus. Mažiausiai pirminės energijos bus sunaudota diegiant šilumos siurblio sistemą. Visais atvejais didžioji pirminės energijos dalis priklauso naudojimo fazei, nes į šį kiekį yra įtrauktas šilumos poreikio trūkumas, kompensuojamas iš CŠT ir ŠS (kai jis diegiamas) sunaudojama elektros energija. Nagrinėjant atskiras sistemas, SK ir ŠS sistemų gamyba sudarytų apie 3 %, o KS 5 % nuo visos sunaudotos energijos per 100 metų. Perdirbimo–sunaikinimo metu yra atgaunama palyginti nežymi dalis energijos.

Ekonominio vertinimo rezultatai

Atliekant ekonominį vertinimą buvo priimta prielaida, kad skaičiavimo periodas yra 25 metai, o diskonto norma lygi 5 %. Taip pat numatyta, kad, renovuojant daugiabučius pastatus, gyventojai gauna 30 % išlaidų kompensavimą. Elektros ir šilumos energijos kainos iš miesto tinklų pirmaisiais metais atitinkamai lygios 52 ct/kWh ir 29,7 ct/kWh. Priimama prielaida, kad kainos atitinkamai augs po 1% ir 1.5 % kasmet. Skaičiavimo rezultatai pateikti 5 pav.



5 pav. Dinaminis sistemų atsipirkimo laikas

Investicijų skaičiavimu nustatyta, kad saulės kolektorių sistemos kaina – 2200 Lt/m², o šilumos siurblio – 11839 Lt/kW_s. Iš gautų rezultatų matome, kad nors šilumos siurblio ir kombinuotos sistemos investicijos yra didesnės, jų atsipirkimo laikas CŠT atžvilgiu (<13 metų) trumpesnis už saulės kolektorių (<16 metų). Taip yra todėl, kad šilumos siurblio investicijos vienam pagamintam šilumos kiekiui vienam yra mažesnės nei saulės kolektorių sistemos, atitinkamai 1373 Lt/MWh ir 2918 Lt/MWh/per metus. Vertinant šilumos savikainą geriausią rezultatą pasiekia kombinuota sistema – 22 ct/kWh. Toliau išsidėsto šilumos siurblys – 24 ct/kWh; saulės kolektoriai

26 ct/kWh ir CŠT 30 ct/kWh. Vertinant grynąją dabartinę vertę (GDV), patraukliausia technologija yra kombinuota sistema, kurios GVD po 25 metų lygi 79 tūkst. Lt, saulės kolektorių – 31 tūkst. Lt, šilumos siurblio – 56 tūkst. Lt

Ekologinio vertinimo rezultatai

Sistemų daromas poveikis aplinkai buvo vertinamas pagal jų išskiriamą anglies dvideginio ekvivalentų kiekį. Visi teršalų kiekiai buvo skaičiuojami per visą sistemų gyvavimo ciklą. Kaip matome 3 rezultatų lentelėje, didžiausias teršalų kiekis susidaro naudojimo fazėje. Visų sistemų gamybos fazėje didžiausias teršalų kiekis susidaro dėl plieno naudojimo. Perdirbant, transportuojant ir prižiūrint sistemas teršalų išmetimai bei energijos kiekiai yra nežymūs.

3 lentelė. Per visą sistemų gyvavimo ciklą CO₂ eq kiekis

Sistemos	Gamyba, t CO ₂ eq	Naudojimas, t CO ₂ eq	Transportavimas, t CO ₂ eq	Perdirbimas, t CO ₂ eq	Suma, t CO ₂ eq
CŠT	0	2190	0	0	2190
SK+CŠT	14,78	1703	1,63	-6,05	1713
ŠS+CŠT	11,01	1809	1,15	-2,71	1818
KS+CŠT	22,59	1831	1,78	-7,24	1848

Daugiakriterės analizės pritaikymas

Atlikus skaičiavimus buvo gauti sistemų rodikliai tenkinantys visą šilumos poreikį. Tačiau atskyrus AEI naudojančių sistemų gaminamą šilumos kiekį nuo papildomo CŠT šaltinio gaminamo šilumos kiekio, galima pamatyti AEI sistemų privalumus. Sistemų parametrai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. AEI naudojančių sistemų parametrai be papildomo šilumos šaltinio CŠT

Sistema	Šilumos savikaina ct/kWh	CO ₂ eq kg/kWh/100 metų	Pirminė energija, MJ/kWh/100 metų
CŠT	0,30	0,226	4,68
SK	0,14	0,023	0,73
ŠS	0,20	0,163	3,04
KS	0,19	0,140	2,70

Kaip matome iš 4 lentelės, visos alternatyvios sistemos visais parametrais lenkia CŠT, tačiau geriausius rezultatus pasiekia saulės kolektorių sistema.

Atliekant daugiakriterį vertinimą sistemos buvo analizuojamos įvertinant papildomą CŠT šilumos šaltinį, kai pagaminamas visas šilumos poreikis. Kadangi daugeliu atvejų AEI dengiama šilumos poreikių dalis nėra didelė (ypač SK sistemos), gauti sistemų parametrai mažai skiriasi nuo esamos CŠT sistemos. Daugiakriteriam vertinimui buvo naudojami 3 kriterijai: 1) šilumos savikaina

(kaina CŠT atveju) ct/kWh; 2) CO₂ teršalų išmetimai, tenkantys patiektos šilumos vienetui CO₂ eq kg/kWh/100 metų; 3) pirminės energijos kiekis, tenkantis patiektos šilumos vienetui MJ/kWh/100 metų. Svertiniai vertinimo kriterijų koeficientai buvo priimti vienodi, laikantis nuostatos, kad visi sistemų rodikliai vienodai svarbūs. Vertinant sistemas buvo naudojamas šilumos poreikio funkcinis vienetas (1 kWh).

Nedimensiniai dydžiai buvo skaičiuojami pagal formulę (Rogoža 2006):

$$e_{gj} = \frac{E_{\max}^{gj} - E_n^{gj}}{E_{\max}^{gj} - E_{\min}^{gj}}; \quad (1)$$

čia: $E_{\max}^{gj}$, $E_{\min}^{gj}$ – maksimali ir minimali skaičiuojamojo kriterijaus vertė; E_n^{gj} – skaičiuojamos sistemos rodiklio vertė.

Siekiant nustatyti optimalų visais trimis požiūriais (energetiniu, ekonominiu ir ekologiniu) variantą, įvedamas vienas (3E) rodiklis, kuriam nustatyti naudojama formulė:

$$3E = e_n \cdot s_e + k_n \cdot s_k + c_n \cdot s_c; \quad (2)$$

čia: s_e , s_k , s_c – energetinio, ekonominio ir ekologinio rodiklio svarbos (svorio) koeficientai.

Gauti rezultatai pateikti 5 lentelėje.

Atlikus daugiakriterį vertinimą, buvo gauta, kad iš keturių tirtų sistemų optimalus yra kombinuotasis sistemų variantas (KS). Šios sistemos 3E kriterijus turi didžiausią reikšmę. Kombinuotoji sistema yra didžiausia iš tirtųjų sistemų, pagaminanti didžiausią energijos kiekį iš AEI. Vienintelis kriterijus, pagal kurį ši sistema nusileidžia kitoms dviem AEI naudojančioms sistemoms, yra pirminės energijos kiekis.

Išvados ir pasiūlymai

1. Atlikus sistemų modeliavimą buvo nustatyta, kad SK sistema padengia 24,2 %; ŠS – 60,6 %, o KS 73 % karšto vandens poreikio. Ekonominė analizė parodė, kad greičiausiai atsipirktų (<13 metų) šilumos siurblio sistema. Visos sistemos, naudojančios AEI, visais kriterijais stipriai lenkia CŠT sistemą, bet pritaikius daugiakriterę analizę gautas optimalus variantas yra kombinuota saulės kolektorių ir šilumos siurblio sistema. Šios sistemos šilumos savikaina yra 22 ct/kWh; teršalų emisija – 0,191 CO₂ eq kg/kWh/100 metų; pirminės energijos suvartojimas – 3,81 MJ/kWh/100 metų.

5 lentelė. Daugiakriteris sistemų vertinimas

Variantas	Vertinimo kriterijai			Nedimensinis rodiklis			3E
	Šilumos savikaina ct/kWh	CO ₂ eq kg/kWh/100 metų	Pirminė energija, MJ/kWh/100 metų	k _{sk}	c _{CO2}	e _{gj}	
Svertinis koeficientas	0,333	0,333	0,333				
CŠT	0,30	0,226	4,68	0,000	0,000	0,000	0,000
Saulės kolektoriai + CŠT	0,26	0,177	3,72	0,500	1,000	0,965	0,822
Šilumos siurblys + CŠT	0,24	0,188	3,69	0,683	0,780	1,000	0,821
Kombinuota sistema + CŠT	0,22	0,191	3,81	1,000	0,718	0,876	0,865

2. Išanalizavus atskirų AEI ir kombinuotųjų sistemų darbą, galima teigti, kad platesnis ir didesnių apimčių AEI sistemų naudojimas, ženkliai pagerintų karšto vandens ruošimo sistemos rodiklius, palyginti su esamu CŠT variantu. Pritaikius šias technologijas, būtų gauti geresni rezultatai ne vien energiniu ir ekologiniu kriterijais, bet sprendimas būtų naudingas ir ekonominiu požiūriu. Didžiausią įtaką visiems tirtiesiems rodikliams darytų saulės kolektorių sistema, kurios šilumos savikaina būtų 0,14 ct/kWh; teršalų emisija – 0,023 CO₂ eq kg/kWh/100 metų ir 0,73 MJ/kWh/100 metų pirminės energijos.

3. Tyrimo rezultatai galėtų būti pritaikyti daugiabučių namų modernizavimo programoje, ruošiant investicinius ir techninius darbo projektus.

Literatūra

- Alanne, K., Salo, A., Saari, A. and Gustafsson, S.I. Multicriteria evaluation of residential energy supply systems. Energy and Buildings, accepted for publication. Elsevier Science 2006.
- Dixit M.K., Jose L. Fernandez-Solks, S. L., Charles, Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review, Energy and Buildings 42 (2010), p.1238–1247.
- Energijos suvartojimas namų ūkiuose. Statistikos departamentas. Vilnius, 2011m.
- F.You, D.Hu, H. Zhang, Carbon emissions in the life cycle of urban building system in China—A case study of residential buildings, Ecological Complexity 8 (2011), p.201–212.
- Kublickis, J. Daugiakriterė pastato mišraus aprūpinimo šiluma variantų analizė. Magistrinis darbas. VGTU:2012m.
- LST EN ISO 14040:2007. Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara.
- LST EN ISO 14044:2007. Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai.
- Marszal Anna Joanna, Per Heiselberg, Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark, Energy 36 (2011), p. 5600-5609.
- Rogoža. A., Čiuprinskis, K., Šiupšinskis, G., The optimisation of energy systems by using 3E factor: the case studies, Journal of civil engineering and management VOL. 12 (2006), p. 63-68.

STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“.

STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“.

Šuksteris, V., Jonynas, R. Šilumos siurblio panaudojimo Alytaus daugiabučiame name analizė. KTU: 2011m.

Šuksteris, V., Jonynas, R. Daugiabučio namo centralizuoto šilumos tiekimo alternatyvų analizė. KTU: 2011m.

Thormark C., Allow energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, Building and Environment 37 (2002), p.429 – 435.

Utama Agya, Shabbir H. Gheewala, Life cycle energy of single landed houses in Indonesia, Energy and Buildings 40 (2008), p.1911–1916.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF ALTERNATIVE HOT WATER PREPARATION SYSTEMS IN RESIDENTIAL BUILDING

M. Matuzas, A. Rogoža

Summary

Abstract. The goal of this work is to find the optimal technological solution for preparing domestic hot water in residential building. Objects of this analysis are district heating system (the current version) alternative systems: heat pump air - water system, solar collectors system, and the combination of these two systems. Four hot water systems in their 100-year period of operation, were analysed using life-cycle analysis (LCA) method. In this work transportation, disposal and recycling phases are included. In order to make versatile analysis, the demand of energy, emissions to air, dynamic payback times were calculated. Applying the principles of multi-criteria analysis, according to several criteria, the optimal way of hot water preparation was found.

Priedas Nr. 2. Sistemų žiniaraščiai ir medžiagų kiekiai

Poz Nr.	Įrengimų ir medžiagų pavadinimas ir techninė charakteristika	Įrengimų tipas, markė	Mato vnt.	Kiekis	Tarnavim o laikas metais	keitimų skaičius	Svoris vnt	Medžiagos	kg/100 metų
1. Centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT)									
1.	Plokštelinis variu lituotas šilumokaitis „Sanistal“ CB27 24H - 56 kW	Plokštelinis	vnt.	1	10	9	4,9	Ner. Plienas	42,3
								Varis	1,8
2.	Plokštelinis variu lituotas šilumokaitis „Sanistal“ CB27 50M - 110 kW	Plokštelinis	vnt.	1	10	9	8,1	Ner. Plienas	69,3
								Varis	3,6
2) OŠS+SK+T ir 3) OŠS+SK+CŠT									
1.	Multifunkcinė talpa talpoje su dviem šilumokaičiais ir elektriniu tenu P = 3 bar., t = 95 0C	V = 1500 ltr.	vnt	1	25	4	240	Plienas	796,0
								Varis	68,0
								Guma	32,0
								Poliuretano putos	64,0
2.	Akumuliacinė talpa P = 3 bar., t = 95 0C	V = 2000 ltr.	vnt	1	25	4	260	Plienas	862,3
								Varis	73,7
								Guma	34,7
								Poliuretano putos	69,3
3.	Akumuliacinė talpa P = 3 bar., t = 95 0C	V = 1500 ltr.	vnt	1	25	4	227	Plienas	752,9
								Varis	64,3
								Guma	30,3
								Poliuretano putos	60,5
Saulės kolektorių dalis									
4.	Plokščiasis terminis saulės kolektorius, P darb.max 10 bar. Šil izoliacija 40 mm mineraline vata,3,2 mm saugus, skaidrus padidinto šviesos laidumo antirefleksinis stiklas, transmisija 90%	F =1,84 m2	kompl.	55	25	4	41	Plienas	1342,3
								Varis	914,3
								Akmens vata	787,9
								Gofruotas kartonas	451,0
								Stiklas	3036,0
								Propylen gliukolis	327,5
								Aluminis	442,7
5.	Saulės kolektorių stotelė su siurblio grupės, apsauginiu vožtuvu, automatiniu valdymo bloku.	kompl	1	20	5	15	Plienas	35,0	
							Varis	5,0	
							Pilkasis ketus	25,0	
							HDPE	10,0	
6.	3-eigis sumaišymo vožtuvas su pavara akumuliacinėms talpoms DN 40,	vnt	3	30	4	0,88	Nerūdijantis plienas	2,6	
							Žalvaris	7,9	
7.	Apsauginis vožtuvas DN 40,3bar	vnt	1	20	5	2,8	Varis	17,0	
8.	Ventiliai išsiplėtimo indo DN20 uždarymui, plombuojami	vnt.	2	40	3	0,863	Plienas	2,6	
							Guma	1,4	
							Žalvaris	1,2	

Poz Nr.	Įrengimų ir medžiagų pavadinimas	Įrengimų tipas, markė	Mato vnt.	Kiekis	Tarnavimo laikas metais	Keitimų skaičius	Svoris vnt	Medžiagos	kg/100 metų
9.	Saulės kolektorių sistemos išsiplėtimo indas V=80 ltr, 6bar		vnt	1	20	5	6,98	Plienas	25,9
								Guma	9,0
10.	Talpų išsiplėtimo indas V=400 ltr, 3bar		vnt	1	20	5	43,55	Plienas	161,2
								Guma	56,6
11.	Atbulinis vožtuvas bronzinis	DN 32x1,5	vnt.	3	40	3	0,30	Bronza	2,7
12.	Rutuliniai ventiliai TMAX100° C	DN20	vnt	10	40	3	8,63	Plienas	133,7
DN25		vnt	6	40	3	2,80	Guma	96,0	
14.		DN32	vnt	2	40	3	0,42	Žalvaris	82,2
15.	Termometras	0÷120°C	vnt	2					
16.	Presuojami plieniniai vamzdžiai su išoriniu galvaniniu cinkavimu ir fasoninėmis detaėmis DN 22x1,0		m	108	50	2	0,63	Plienas	135,2
17.	Presuojami plieniniai vamzdžiai su išoriniu galvaniniu cinkavimu ir fasoninėmis detaėmis DN 32x1,5		m	40	50	2	1,52	Plienas	121,8
18.	Cinkuoti vamzdžiai	DN 25	m	20	50	2	1,29	Plienas	51,6
19.	evalais λ=0,04	DN 20	m	108	50	2	0,25	Akmens vata	42,6
20.	evalais λ=0,04	DN 32	m	40	50	2	0,58	Aliuminis	26,7
21.	evalais λ=0,04	DN25	m	20	50	2	0,29		
22.	Saulės kolektorių laikikliai		vnt.	55	50	2	6	Plienas	330,0
								Aliuminis	330,0
23.	Vamzdžių ir įrengimų tvirtinimo detalės		kompl.	1	50	2	22	Plienas	44,0
Šilumos siurblio dalis									
1.	Šilumos siurblys, 230V/50Hz/1~; 1,92 kW – el. galia; 7,33 kW – šildymo galia.		vnt.	1	25	4	175	Plienas	500,0
								Varis	120,0
								Stiklas	0,8
								Aliuminis	16,0
								Ferūdijantis plienas	2,0
								Guma	1,2
								HDPE	20,0
								Žalvaris	20,0
2.	Kompresorius ir ventiliatorius		vnt.	1	10	9	52,6	Bronza	20,0
								Plienas	118,8
								Varis	171,0
								Aliuminis	33,3
								HDPE	16,2
								Žalvaris	27,0
								Guma	8,1
	Feromagnetikas	99,0							

Poz. Nr.	Įrengimų ir medžiagų pavadinimas ir techninė charakteristika	Įrengimų tipas, markė	Mato vnt.	Kiekis	Tarnavimo laikas metais	Keitimų skaičius	Svoris vnt	Medžiagos	kg/100 metų
3.	Mechaninis žalvarinis filtras ½" PN16		vnt.	1	25	4	0,40	Žalvaris	1,6
4.	Atbulinis vožtuvas, ½" PN16		vnt.	1	40	3	0,72	Bronza	2,2
5.	Manometras su patikra Ø100 0–10bar		vnt.	1	50	2	0,72	Plienas	1,4
6.	Išleidimo sklendė ½" PN25		vnt.	7	40	3	0,30	Plienas	6,3
7.	Balansinis ventilis,		vnt.	2	40	3	2,20	Nerūdijantis plienas	2,6
								Žalvaris	4,0
								Bronza	6,6
8.	Lankstus daugiasluoksnis Pex-Al-Pex vamzdis Ø25x2,3, tame tarpe fasoninės dalys	m	40	50	2	0,17	0,17	Aliuminis	0,8
								HDPE	12,9
9.	Izoliaciniai kevalai vamzdynui vid. Ø25mm, izol. δ=19mm.	m	40	50	2	0,29	0,29	Akmens vata	12,8
								Aliuminis	10,0
10.	Apvalūs ortakiai ir fasoninės dalys 250x0,5mm	vnt.	41,5	50	2	3,67	3,67	Plienas	298,8
								Cinkas	5,6
11.	Apvalūs ortakiai ir fasoninės dalys 300x0,5mm	vnt.	5	50	2	5,59	5,59	Plienas	55,0
								Cinkas	0,9
12.	Cinkuotos skardos gaubtai ventiliacijos šachtoms	vnt.	4	50	2	15,20	15,20	Plienas	120,0
								Cinkas	1,6
13.	Cinkuota skarda	m2	35	50	2	7,21	7,21	Plienas	490,0
								Cinkas	14,7
14.	Akmens vata, 50 mm	m3	2	50	2	139,50	139,50	Akmens vata	279,0
15.	Freonas R410A	kg	3	5	20	3,00	3,00	Freonas R410A	60,0

4) GŠS+SK+CŠT

1.	Multifunkcinė talpa talpoje su dviem šilumokaičiais ir elektriniu tenu P = 3 bar., t = 95 0C	V = 1500 ltr	vnt	1	25	4	240	Plienas	796,0
								Varis	68,0
								Guma	32,0
								Poliuretano putos	64,0
2.	Akumuliacinė talpa P = 3 bar., t = 95 0C	V = 2000 ltr	vnt	1	25	4	260	Plienas	862,3
								Varis	73,7
								Guma	34,7
								Poliuretano putos	69,3
3.	Akumuliacinė talpa P = 3 bar., t = 95 0C	V = 1500 ltr	vnt	1	25	4	227	Plienas	752,9
								Varis	64,3
								Guma	30,3
								Poliuretano putos	60,5
Šilumos siurblio dalis									
1.	Šilumos siurblys WPF 32 SET		vnt.	1	25	4	257	Plienas	734,3
								Varis	176,2
								Stiklas	1,2
								Aliuminis	23,5
								Nerūdijantis plienas	2,9
								Guma	1,8
								HDPE	29,4
								Žalvaris	29,4
Bronza	29,4								

Poz. Nr.	Įrengimų ir medžiagų pavadinimas ir techninė charakteristika	Įrengimų tipas, markė	Mato vnt.	Kiekis	Tarnavimo laikas metais	Keitimų skaičius	Svoris vnt	Medžiagos	kg/100 metų
2.	Kompresorius		vnt.	1	10	9	15,0	Plienas	81,0
								Varis	18,0
								Aliuminis	4,5
								HDPE	3,6
								Žalvaris	27,0
								Guma	0,9
3.	Plastikinis vamzdis gręžiniams PE-32x2,9		m	1000	50	2	0,3	HDPE	558,0
4.	Plastikinis vamzdis įvadui PE- 63x5,8		m	40	50	2	0,4	HDPE	28,0
5.	Atbulinis vožtuvas, 1½" PN16		vnt.	6	40	3	1,1	Bronza	19,4
6.	Metras su patikra Ø100 0–10bar ½"		vnt.	1	50	2	0,7	Plienas	1,4
7.	Išleidimo sklendė 1½" PN25		vnt.	2	40	3	1,1	Plienas	6,3
8.	3-eigis sumaišymo vožtuvas su pavara akumuliacinėms talpoms DN 65		vnt	4	30	3	1,2	Nerūdijantis plienas	8,6
								Žalvaris	4,0
9.	Šilumnešio skirstytuvas		m	2	50	2	5,0	Žalvaris	20,0
10.	Vamzdžių izoliavimas akmens vatos kevalais DN65 $\lambda=0,04\text{W/m}^\circ\text{K}$ su aliuminio folija $\delta_{iz}=40\text{mm}$		m	40	50	2	1,2	Aliuminis	10,4
								Akmens vata	86,2
11.	Bentonitas		kg	4400	50	2	4400,0	Bentonitas	8800,0
12.	Freonas R410A		kg	10	25	4	10,0	Freonas R410A	40,0
13.	Vandens - Gliukolio mišinys	"Tyfocor"	kg	500	50	2	125,0	Gliukolio mišinys	250,0

5) DK

1.	Dujiniai kondensaciniai pakabinami katilai 50 kW. Junkers		vnt	2	12,5	8		Plienas	693,3
								Varis	16,6
								Guma	24,3
								Akmens vata	61,3
								HDPE	36,7
2.	Nerūdijančio plieno kaminais d200		m	20	100	1	2	Nerūdijantis plienas	40,0
3.	Talpa karštam vandeniui P = 3 bar., t = 95 OC	V = 1000 ltr.	vnt	1	25	4	158,9	Plienas	527,0
								Varis	45,0
								Guma	21,2
								Poliuretano putos	42,4

6)SK+DK

1.	Kondensacinis pakabinamas kat	Junkers	vnt.	1	12,5	8		0	0,0
								Plienas	346,7
								Varis	8,3
								Guma	12,1
								Akmens vata	30,7
2.	Nerūdijančio plieno kaminais d200							HDPE	36,7

7)GŠS+SK+SE+CŠT Saulės šiluminė dalis

1.	Saulės elementai 40 vnt.	ITP ZDNY-240P60	m2	51	25	4	660	SimaPRO	2640
2.	Keitiklis	Fronic solplus	vnt.	1	10	10	40		400

Priedas Nr. 3 Perdirbamos sistemų medžiagos

Eil. Nr.	Medžiaga	Bendra masė kg.	Perdirbimo dalis %	MJ	kgCO2	Laidojamų komponentų masė, kg
1) Centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT)						
1	Nerūdijantis plienas	112	0%	0	0	112
2	Varis	5	0%	0	0	5
2. Orinio oras - vanduo šilumos siurblio ir saulės kolektorių sistema + tenas (OŠS+SK+T)						
1	Akmens vata	1122	0%	0	0	1122
2	Aliuminis	859	100%	-169605	-10072	0
3	HDPE	59	100%	-4089	-101	0
4	Žalvaris	144	0%	0	0	144
5	Guma	269	0%	0	0	269
6	Nerūdijantis plienas	403	0%	0	0	403
7	Pilkasis ketus	25	0%	0	0	25
8	Bronza	31	0%	0	0	31
9	Plienas	6385	100%	-56746	-5665	0
10	Varis	1433	0%	0	0	1433
11	Stiklas	3037	100%	-14445	-2353	0
12	Poliuretano putos	194	0%	0	0	194
13	Propylen-gliukolis	327	0%	0	0	327
14	Gofruotas kartonas	451	100%	-13645	-516	0
15	Cinkas	23	0%	0	0	23
16	Freonas R410A	60	0%	0	0	60
17	Feromagnetikas	99	0%	0	0	99
			Σ=	-258530,32	-18706,89	
4. Gruntas - vanduo šilumos siurblio ir saulės kolektorių sistema + CŠT (OŠS+SK+CŠT)						
1	Akmens vata	917	0%	0	0	917
2	Aliuminis	838	100%	-165328	-9818	0
3	HDPE	625	100%	-43267	-1067	0
4	Žalvaris	172	0%	0	0	172
5	Guma	263	0%	0	0	263
6	Nerūdijantis plienas	410	0%	0	0	410
7	Pilkasis ketus	25	0%	0	0	25
8	Bronza	52	0%	0	0	52
9	Plienas	5618	100%	-49926	-4984	0
10	Varis	1337	0%	0	0	1337
11	Stiklas	3037	100%	-14447	-2354	0
12	Poliuretano putos	194	0%	0	0	194
13	Propylen-gliukolis	577	0%	0	0	577
14	Gofruotas kartonas	451	100%	-13645	-516	0
15	Bentonitas	8800	0%	0	0	8800
16	Freonas R410A	40	0%	0	0	40
			Σ=	-286614,22	-18738,29	
5. DK sistema						
1	0	40	100%	-356	-35	0
2	Plienas	1220	0%	0	0	1220
3	Varis	62	0%	0	0	62
4	Guma	24	0%	0	0	24
5	Akmens vata	61	100%	-4243	-105	0
6	Nerūdijantis plienas	37	0%	0	0	37
7	Guma	21	0%	0	0	21
	0	1465	Σ=	-4599	-140	1364

Eil. Nr.	Medžiaga	Bendra masė kg.	Perdirbimo dalis %	MJ	kgCO2	Laidojamų komponentų masė , kg
6. SK+DK						
1	Akmens vata	843	0%	0	0	843
2	Aliuminis	357	100%	-70400	-4181	0
3	HDPE	41	100%	-2814	-69	0
4	Žalvaris	91	0%	0	0	91
5	Guma	268	0%	0	0	268
6	Nerūdijantis plienas	435	0%	0	0	435
7	Pilkasis ketus	25	0%	0	0	25
8	Bronza	3	0%	0	0	3
9	Plienas	4795	100%	-42612	-4254	0
10	Varis	1489	0%	0	0	1489
11	Stiklas	3036	0%	0	0	3036
12	Poliuretano putos	194	0%	0	0	194
13	Propylen-gliukolis	327	0%	0	0	327
14	Gofruotas kartonas	451	100%	-13645	-516	0
			Σ=	-129470	-9020	

Perdirbamos medžiagos 100 %

	Atgaunama	
	MJ/kg	kgCO2/kg
Medžiagos		
Stiklas	-4,76	-0,77
Polietilenas	-69,19	-1,71
Aliuminis	-197,35	-11,72
Popierius	-30,26	-1,14
Plienas	-8,89	-0,89

Priedas Nr.4. 7) GŠS+SK+SE+CŠT transporto skaičiavimas (kitos sistemos skaičiuotos analogiškai)

Eil. Nr.	Komponentas	Keitimų skaičius	Pakeistų komponentų masė, kg	Gamintojas	Gamintojo adresas (šalis)	Transportavimas iš gamintojo į perpardavėjo sandėlį, km	Transportavimas iš pardavėjo sandėlio į objektą, km	Sunkiojo transporto tkm	Vidutinio svorio transporto tkm	Sunkusis		Vidutinis
										MJ	kgCO2	MJ
7) Gruntas - vanduo šilumos siurblio sistema GŠS+SK+CŠT+SE												
1	Multifunkcinė talpa talpoje su dviem šilumokaičiais ir	4	960	AKSolar	Hemiksem (Belgija)	1721	15	1652	14	3442	192	80
2	Akumuliacinės talpa P = 3 bar., t = 95 0C	4	1040	AKSolar	Hemiksem (Belgija)	1721	15	1790	16	3729	208	87
3	Akumuliacinės talpa P = 3 bar., t = 95 0C	4	908	AKSolar	Hemiksem (Belgija)	1721	15	1563	14	3256	182	76
4	Plokščiasis terminis saulės	4	7698	Ensol	Lenkija (Raciborz)	844	15	6497	115	13536	756	645
5	Saulės kolektorių stotelė su	5	75	Ensol	Lenkija (Raciborz)	844	15	63	1	132	7	6
6	3-eigis sumaišymo vožtuvas su	3	11	Vexve	Sastamala Finland	879	15	9	0	19	1	1
7	Apsauginis vožtuvas DN 40,	5	17	Vexve	Sastamala Finland	879	15	15	0	31	2	1
8	Ventiliai išsiplėtimo indo	3	5	Vexve	Sastamala Finland	879	15	5	0	9	1	0
9	Saulės kolektorių sistemos	5	35	Vexve	Sastamala Finland	879	15	31	1	64	4	3
10	Talpų išsiplėtimo indas V=400	5	218	Reflex	Ahlen Germany	1442	15	314	3	654	37	18
11	Atbulinis vožtuvas bronzinis	3	3	Reflex	Ahlen Germany	1442	15	4	0	8	0	0
12	Rutuliniai ventiliai TMAX100°C, PN1 MPa	3	134	Vexve	Sastamala Finland	879	15	118	2	245	14	11
13	Rutuliniai ventiliai TMAX100°C, PN1 MPa	3	96	Vexve	Sastamala Finland	879	15	84	1	176	10	8
14	Rutuliniai ventiliai TMAX100°C, PN1 MPa	3	82	Vexve	Sastamala Finland	879	15	72	1	151	8	7
15	Termometras	3		Vexve	Sastamala Finland	879	15	0	0	0	0	0
16	Presuojami plieniniai vamzdžiai	2	135	Viega	Attendorn, Germany	1547	15	209	2	436	24	11
17	Presuojami plieniniai vamzdžiai	2	122	Viega	Attendorn, Germany	1547	15	188	2	393	22	10
18	Cinkuoti vamzdžiai T<120°C,	2	52	MV-STIL	Himki, Podzerkovo Russia	782	15	40	1	84	5	4
19	Vamzdžių izoliavimas akmens	2	43	RockWool	Hedehusene Denmark	1362	15	58	1	121	7	4
20	Vamzdžių izoliavimas akmens	2	13	RockWool	Hedehusene Denmark	1362	15	18	0	38	2	1
21	Vamzdžių izoliavimas akmens	2	13	RockWool	Hedehusene Denmark	1362	15	18	0	38	2	1
22	Saulės kolektorių laikikliai	2	660	RockWool	Hedehusene Denmark	1362	15	899	10	1873	105	55
23	Vamzdžių ir įrengimų tvirtinimo	2	44	Ensol	Lenkija (Raciborz)	844	15	37	1	77	4	4
24	Šilumos siurblys WPF 32 SET 30,86 kWš - 9,06 kWe	4	1028	Stiebel eltron	Holzminden (Vokietija)	1333	15	1370	15	2855	159	86
25	Kompresorius	10	150	Stiebel eltron	Holzminden (Vokietija)	1333	15	200	2	417	23	13
26	Plastikinis vamzdis gręžiniams PE- 32x2,9	2	558	uponor	Helsinki(finland)	690	15	385	8	802	45	47
27	Plastikinis vamzdis įvadui PE- 63x5,8	2	28	uponor	Helsinki(finland)	690	15	19	0	40	2	2
28	Atbulinis vožtuvas, 1½” PN16	3	19	Vexve	Sastamala Finland	879	15	17	0	36	2	2
29	Manometras su patikra Ø100 0–10bar ½"	2	1	Vexve	Sastamala Finland	879	15	1	0	3	0	0
30	Išleidimo sklendė 1½" PN25	3	6	Danfoss	Nordborg (Danija)	1516	15	10	0	20	1	1
31	3-eigis sumaišymo vožtuvas su	3	13	Danfoss	Nordborg (Danija)	1516	15	19	0	40	2	1
32	Šilumnešio skirstytuvai	2	20	Stiebel eltron	Holzminden (Vokietija)	1333	15	27	0	56	3	2
33	Vamzdžių izoliavimas akmens	2	97	RockWool	Hedehusene Denmark	1362	15	131	1	274	15	8
34	Bentonitas	2	8800	Tavilta	Vilnius, Lietuva	20	15	176	132	367	20	737
35	Freonas R410A	4	40	Tazzeti	Volpiano, Italija	2132	15	85	1	178	10	3
36	Saulės elementai 40 vnt.	4	2640	ITP ZDNY 240P60	kinija	6237	15	16466	40	34306	1916	221
37	Keitiklis	10	400	Solutronic	Vokietija(kongen)	1650	15	660	6	1375	77	34

1. Perpardavėjo sandėlio vieta priimama Vilniuje.

2. Atstumas nuo gamintojo iki pardavėjo sandėlio priimamas kaip atstumas tarp šių juridinių asmenų buveinių miestų

3. Atstumai skaičiuojami google maps pagalba

4. Iš gamintojo pardavėjui medžiagos transportuojamos sunkiu

5. Į objektą pristatomos medžiagos sunkvežimiais 3,5-16t

6. Vidutinis atstumas tarp tiekėjo ir objekto priimamas

Priedas Nr.5 Atsipirkimo laiko skaičiavimas

Metai	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Diskonto koeficientas	1,000	0,952	0,907	0,864	0,823	0,784	0,746	0,711	0,677	0,645	0,614	0,585	0,557	0,530	0,505	0,481	0,458	0,436	0,416	0,396	0,377	0,359	0,342	0,326	0,310	0,295
2) OŠS+SK+T																										
Pinigų srautas didėjimo tvarka, Lt	-202633	-209858	-216546	-222726	-228427	-233674	-238493	-242908	-246941	-250615	-253949	-256963	-259676	-262106	-264269	-266181	-267858	-269313	-270562	-271615	-272487	-273188	-273729	-274122	-274375	-274499
Sutaupymai	-7692	-7225	-6688	-6180	-5701	-5247	-4819	-4415	-4033	-3673	-3334	-3014	-2713	-2430	-2163	-1912	-1677	-1456	-1248	-1054	-871	-701	-542	-393	-254	-124
3) OŠS+SK+CŠT																										
Pinigų srautas didėjimo tvarka, Lt	-202633	-185290	-168493	-152225	-136471	-121214	-106439	-92130	-78273	-64854	-51859	-39276	-27090	-15290	-3864	7201	17914	28289	38334	48061	57479	66599	75428	83978	92256	100270
Sutaupymai	17762	17344	16797	16267	15754	15257	14775	14309	13857	13419	12995	12584	12186	11800	11426	11064	10714	10374	10045	9727	9418	9119	8830	8549	8278	8015
4) GŠS+SK+CŠT																										
Pinigų srautas didėjimo tvarka, Lt	-224337	-199421	-175236	-151762	-128978	-106866	-85406	-64580	-44370	-24758	-5727	12740	30658	48044	64912	81278	97155	112559	127503	141999	156062	169703	182935	195770	208220	220294
Sutaupymai	25713	24916	24185	23474	22783	22112	21460	20826	20210	19612	19031	18467	17918	17386	16868	16366	15878	15404	14944	14497	14063	13641	13232	12835	12449	12075
5) DK																										
Pinigų srautas didėjimo tvarka, Lt	-65500	-54671	-43992	-33468	-23100	-12891	-2843	7043	16766	26325	35719	44948	54012	62911	71644	80213	88619	96861	104942	112861	120621	128223	135668	142957	150093	157077
Sutaupymai	10977	10829	10678	10524	10368	10209	10048	9886	9723	9559	9394	9229	9064	8899	8734	8569	8405	8242	8081	7920	7760	7602	7445	7290	7136	6984
6) SK+DK																										
Pinigų srautas didėjimo tvarka, Lt	-180058	-158169	-136852	-116094	-95883	-76206	-57050	-38402	-20252	-2587	14604	31333	47612	63450	78859	93849	108431	122614	136410	149826	162874	175562	187899	199895	211557	222896
Sutaupymai	22475	21889	21317	20758	20211	19677	19156	18647	18150	17665	17191	16729	16278	15838	15409	14990	14582	14184	13795	13417	13048	12688	12337	11996	11663	11338
7) GŠS+SK+SE+CŠT																										
Pinigų srautas didėjimo tvarka, Lt	-319737	-288415	-258120	-228820	-200481	-173071	-146559	-120914	-96108	-72112	-49801	-28177	-7219	13092	32777	51854	70342	88259	105621	122447	138751	154550	169860	184695	199069	212998
Sutaupymai	31938	31323	30294	29300	28339	27410	26513	25645	24806	23995	22311	21624	20958	20312	19685	19077	18488	17917	17363	16825	16304	15799	15310	14835	14375	13928

Priedas Nr.6 Priimtas elektros, šilumos, g.dujų kainos kitimas

Metai	Elektros energijos kaina, Lt/kWh	Šilumos kaina, Lt/kWh	G.Dujų kaina Lt/n.m3	Elektros supirkimo tarifas Lt/kWh
1	0,52	0,28	2,08	0,75
2	0,52	0,29	2,10	0,75
3	0,53	0,29	2,12	0,75
4	0,53	0,30	2,14	0,75
5	0,54	0,30	2,16	0,75
6	0,55	0,31	2,19	0,75
7	0,55	0,31	2,21	0,75
8	0,56	0,32	2,23	0,75
9	0,56	0,32	2,25	0,75
10	0,57	0,33	2,27	0,75
11	0,57	0,33	2,30	0,57
12	0,58	0,34	2,32	0,58
13	0,58	0,34	2,34	0,58
14	0,59	0,35	2,37	0,59
15	0,60	0,35	2,39	0,60
16	0,60	0,36	2,41	0,60
17	0,61	0,36	2,44	0,61
18	0,61	0,37	2,46	0,61
19	0,62	0,37	2,49	0,62
20	0,63	0,38	2,51	0,63
21	0,63	0,38	2,54	0,63
22	0,64	0,39	2,56	0,64
23	0,65	0,40	2,59	0,65
24	0,65	0,40	2,61	0,65
25	0,66	0,41	2,64	0,66

Priedas Nr.7 Karšto vandens poreikio kitimo paroje skaičiavimas

Valanda	Apkrova %	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	Vidurkis, kWh
1	20	5,99	6,65	5,64	6,01	5,79	4,79	4,41	4,69	5,75	5,47	6,00	5,91	5,59
2	15	4,49	4,99	4,23	4,51	4,34	3,59	3,31	3,52	4,31	4,10	4,50	4,43	4,19
3	15	4,49	4,99	4,23	4,51	4,34	3,59	3,31	3,52	4,31	4,10	4,50	4,43	4,19
4	15	4,49	4,99	4,23	4,51	4,34	3,59	3,31	3,52	4,31	4,10	4,50	4,43	4,19
5	15	4,49	4,99	4,23	4,51	4,34	3,59	3,31	3,52	4,31	4,10	4,50	4,43	4,19
6	15	4,49	4,99	4,23	4,51	4,34	3,59	3,31	3,52	4,31	4,10	4,50	4,43	4,19
7	25	7,48	8,31	7,05	7,51	7,24	5,99	5,51	5,86	7,19	6,84	7,50	7,39	6,99
8	40	11,97	13,30	11,29	12,02	11,59	9,58	8,82	9,37	11,51	10,94	11,99	11,82	11,18
9	60	17,96	19,95	16,93	18,03	17,38	14,37	13,23	14,06	17,26	16,41	17,99	17,74	16,78
10	70	20,96	23,28	19,75	21,04	20,27	16,77	15,44	16,40	20,14	19,14	20,99	20,69	19,57
11	55	16,47	18,29	15,52	16,53	15,93	13,17	12,13	12,89	15,82	15,04	16,49	16,26	15,38
12	40	11,97	13,30	11,29	12,02	11,59	9,58	8,82	9,37	11,51	10,94	11,99	11,82	11,18
13	35	10,48	11,64	9,87	10,52	10,14	8,38	7,72	8,20	10,07	9,57	10,49	10,35	9,79
14	45	13,47	14,97	12,70	13,52	13,03	10,78	9,92	10,55	12,94	12,30	13,49	13,30	12,58
15	30	8,98	9,98	8,46	9,02	8,69	7,19	6,62	7,03	8,63	8,20	8,99	8,87	8,39
16	25	7,48	8,31	7,05	7,51	7,24	5,99	5,51	5,86	7,19	6,84	7,50	7,39	6,99
17	20	5,99	6,65	5,64	6,01	5,79	4,79	4,41	4,69	5,75	5,47	6,00	5,91	5,59
18	35	10,48	11,64	9,87	10,52	10,14	8,38	7,72	8,20	10,07	9,57	10,49	10,35	9,79
19	60	17,96	19,95	16,93	18,03	17,38	14,37	13,23	14,06	17,26	16,41	17,99	17,74	16,78
20	95	28,44	31,59	26,80	28,55	27,52	22,75	20,95	22,26	27,33	25,98	28,48	28,08	26,56
21	80	23,95	26,61	22,57	24,04	23,17	19,16	17,64	18,75	23,01	21,87	23,99	23,65	22,37
22	55	16,47	18,29	15,52	16,53	15,93	13,17	12,13	12,89	15,82	15,04	16,49	16,26	15,38
23	45	13,47	14,97	12,70	13,52	13,03	10,78	9,92	10,55	12,94	12,30	13,49	13,30	12,58
24	35	10,48	11,64	9,87	10,52	10,14	8,38	7,72	8,20	10,07	9,57	10,49	10,35	9,79