

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Justina Zaleckaitė

**VILNIAUS ORO UOSTO APSIRŪPINIMO ALTERNATYVIAIS ŠILUMOS,
ELEKTROS IR ŠALČIO ENERGIJOS ŠALTINIAIS GALIMYBIŲ STUDIJA**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Egidijus Puida

KAUNAS, 2016

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**VILNIAUS ORO UOSTO APSIRŪPINIMO ALTERNATYVIAIS
ŠILUMOS, ELEKTROS IR ŠALČIO ENERGIJOS ŠALTINIAIS
GALIMYBIŲ STUDIJA**

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (kodas 621E30001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Egidijus Puida
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Valdas Lukoševičius
(data)

Projektą atliko

(parašas) Justina Zaleckaitė
(data)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tvirtinu: _____
Šilumos ir atomo energetikos (parašas, data)
katedros vedėjas Doc. dr. E. Puida
_____ (vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa TERMOINŽINERIJIA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo arba taikomojo pobūdžio darbas (projektas). Jam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo projektu studentas parodo, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, turi pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, geba savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, geba taikyti fundamentines mokslo žinias, išmano socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema - Vilniaus oro uosto apsirūpinimo alternatyviais šilumos, elektros ir šalčio energijos šaltiniais galimybių studija

Patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 03 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Darbo tikslas – Išnagrinėjus Vilniaus oro uosto šildymo, vėsinimo ir elektros energijos poreikius bei atitinkamus teisinius ir technologinius apribojimus, parinkti optimaliausią apsirūpinimo energija alternatyvą. Svarstoma galimybė atsijungti nuo centralizuotų šilumos tinklų ir apsirūpinti energija autonomiškai.

3. Darbo struktūra

Įvadas

1. Oro uostų energetinio aprūpinimo charakteristikos ir teisinė aplinka
2. Vilniaus oro uosto energetinių poreikių analizė
 - 2.1 Statistinių duomenų apibendrinimas
 - 2.2 Energetinių poreikių patenkinimo galimybės
 - 2.3 Modeliavimo metodai
3. Kogeneracinės jėgainės diegimo technologiniai aspektai
 - 3.1 Poveikio aplinkai vertinimas
 - 3.2 Optimali teritorija
 - 3.3 Technologinių variantų detalizavimas
4. Kogeneracinės jėgainės statybos ir eksploatacijos ekonominės aplinkybės
 - 4.1 Investicijos, paramos gavimo galimybių analizė
 - 4.2 Savikaina ir atsipirkimo laikotarpis
 - 4.3 Technologinių variantų palyginimas ir galimi eksploatacijos variantai

Išvados. Literatūra

4. Reikalavimai ir sąlygos. Baigiamasis darbas turi būti parengtas atsižvelgiant į galiojančių Lietuvoje teisės aktų reikalavimus, darbe naudoti profesinės praktikos metu surinktus duomenis.

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 24 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentei Justinai Zaleckaitėi

Užduotį gavau: Justina Zaleckaitė 2015.02.02
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas doc. dr. Egidijus Puida 2015.02.02
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Justina Zaleckaitė

(Studento vardas, pavardė)

Terminžinerija, 621E30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Vilniaus oro uosto apsirūpinimo alternatyviais šilumos, elektros ir šalčio energijos šaltiniais galimybių studija“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 22 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Justinos Zaleckaitės**, baigiamasis projektas tema „Vilniaus oro uosto apsirūpinimo alternatyviais šilumos, elektros ir šalčio energijos šaltiniais galimybių studija“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Zaleckaitė, Justina. VILNIAUS ORO UOSTO APSIRŪPINIMO ALTERNATYVIAIS ŠILUMOS, ELEKTROS IR ŠALČIO ENERGIJOS ŠALTINIAIS GALIMYBIŲ STUDIJA. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Egidijus Puida; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Energijos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *kogeneracija, oro uostas, autonominis, patikimumas, energija, apkrovos.*

Kaunas, 2016. XX p.

SANTRAUKA

Oro uostai, kaip viena pagrindinių miesto transporto infrastruktūros dalių, yra dideli, daug energijos reikalaujantys objektai. Vilniaus oro uostas yra charakteringas vidutinio dydžio oro uosto variantas. Ieškant optimaliausio energijos tiekimo būdo, darbe nagrinėjami teisiniai apribojimai, bei technologiniai ir ekonominiai aspektai. Pagrindiniai statybų oro uostose kriterijai yra statybinių konstrukcijų ir įrenginių blizgumo, statomų pastatų aukštingumo bei leistino užstatymo ploto ribojimas. Taip pat oro uostose yra griežčiau ribojami išmetamų teršalų kiekiai.

Šiuo metu energija Vilniaus oro uostui tiekama centralizuotai. Svarstoma galimybė atsijungti nuo centralizuotų šilumos bei elektros tinklų ir įsirengti nuosavus, energiją gaminančius įrenginius. Nagrinėjamu atveju tinkamiausias energijos gamybos įrenginys yra dujinį kurą naudojantis vidaus degimo variklis. Atsižvelgiant į oro uosto energijos poreikius, numatomos pagrindinės aprūpinimo energija technologinės alternatyvos:

- T.1 - patenkinti Vilniaus oro uosto maksimalius energijos poreikius, įrengiant du vidaus degimo variklius, kurių šiluminė galia siektų 1 MW ir 2 MW vandens šildymo katilą;
- T.2 - patenkinti Vilniaus oro uosto bazinius šiluminės energijos poreikius, o papildomą energiją, maksimalaus vartojimo metu, tiekti iš centralizuotų šilumos tinklų. Baziniai šilumos poreikiai tenkinami dviejų vidaus degimo variklių, kurių šiluminė galia siekia 1 MW, pagalba.

Pagal ekonomiškai priimtinius energijos gamybos įrenginių galios sumažinimus, atliktas apkrovų modeliavimas, vertinant galimas alternatyvas:

- G.1 – šildymo sezono metu gaminti energiją pagal savus poreikius, o nešildymo sezono metu dirbti maksimalia galia ir nepanaudotą šilumos energiją parduoti;
- G.2 – visus metus gaminti energiją pagal savus poreikius;
- G.3 - šildymo sezono metu gaminti energiją pagal savus poreikius, o nešildymo sezono metu dirbti pagal reikalingus elektros energijos poreikius ir nepanaudotą šilumos energiją parduoti.

Planuojamos statyti jėgainės vieta patenka į centralizuoto šilumos tiekimo zoną. Norint jėgainėje pagamintą šilumos ir elektros energiją naudoti savoms reikmėms, turės būti pakeistas specialusis šilumos ūkio planas. Nusprendus tapti nepriklausomu šilumos gamintoju ir energiją pardavinėti, šio plano keisti nereikėtų. Planuojamai Vilniaus oro uosto infrastruktūros plėtrai turės būti atlikta atranka dėl poveikio aplinkai vertinimo.

Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, optimaliausia alternatyva yra visus metus gaminti elektros ir šilumos energiją tik savoms reikmėms. Įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius, nei viena alternatyva neatsiperka, kadangi dalį šiluminės energijos reiktų pirkti iš centralizuotų šilumos tinklų, kas labai padidina eksploatacines išlaidas.

Zaleckaitė, Justina. *FEASIBILITY STUDY OF VILNIUS AIRPORT POWER, HEATING AND COOLING SUPPLY SOURCES ALTERNATIVES*: Master's thesis in Energy engineering / supervisor assoc. prof. Egidijus Puida. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Energy engineering

Key words: *cogeneration, airport, autonomous, security, energy, loads*

Kaunas, 2016. XX p.

SUMMARY

Airports, as one of the main parts of city transport infrastructure, are large structures that require a lot of energy. Vilnius airport is a typical medium sized airport. There are legal restrictions, technical and economic aspects are analysed in this study, in order to find an optimal method of energy supply. The main criterion for conducting construction in airports are restrictions on glossiness of buildings and devices, restriction of buildings height, restriction of built-up area. Furthermore, there are stricter limitations of emissions at the airport.

At this moment, the method of energy supply used in Vilnius airport is by using the city's energy infrastructure. It is being considered to disconnect from the centralized heating and the electricity network and install autonomous energy producing facilities. In this case, the best energy producer is a gas-fueled internal combustion engine. Based on the energy demands of the airport, the main technological alternatives for energy supply are the following:

- T.1 – to satisfy the maximum energy demand for airport. It is planned to install two internal combustion engines with a thermal capacity of 1 MW and water boiler with a capacity of 2 MW;
- T.2 – to satisfy the basic energy demand for airport. During maximum use, additional energy will be supplied by district heating. It is planned to install two internal combustion engines with a thermal capacity of 1 MW.

According to an economically acceptable reduction of plants power, load modelling has been carried out. There is evaluated possible alternatives:

- G.1 – during the heating season to produce energy according to their needs. During the non-heating season to work at maximum load and to sell the surplus of heat energy;
- G.2 – throughout the year to produce energy according to their needs;
- G.3 – during the heating season to produce energy according to their needs. During the non-heating season to produce energy according to the electricity demand and to sell the surplus of heat energy.

The construction site of the planned power plant enters the district heating zone. If the heat energy and electricity is used for personal purposes, the special plan of heat sector will have to be changed. If Vilnius airport is independent supplier and heat energy is sold, the special plan of heat sector would not have to be changed. For the planned expansion of Vilnius airport infrastructure, a screening for an environmental impact assessment will have to be carried out.

The optimum alternative for the installation of 4 MW thermal power plant is to produce electricity and heat energy only for their needs throughout the year. None of the alternatives of the installation of 2 MW thermal power plant pay off, because a part of the thermal energy would always have to be obtained from district heating network, which would then significantly increase operating costs.

TURINYS:

ĮVADAS	10
1 ORO UOSTŲ ENERGETINIO APRŪPINIMO CHARAKTERISTIKOS IR TEISINĖ APLINKA.....	11
2 VILNIAUS ORO UOSTO ENERGETINIŲ POREIKIŲ ANALIZĖ.....	14
2.1 Statistinių duomenų apibendrinimas.....	14
2.2 Energetinių poreikių patenkinimo galimybės	20
2.3 Modeliavimo metodai	26
3 KOGENERACINĖS JĖGAINĖS DIEGIMO TECHNOLOGINIAI ASPEKTAI.....	30
3.1 Poveikio aplinkai vertinimas	30
3.2 Optimali teritorija	35
3.3 Technologinių variantų detalizavimas	38
4 KOGENERACINĖS JĖGAINĖS STATYBOS IR EKSPLOATACIJOS EKONOMINĖS APLINKYBĖS	48
4.1 Investicijos, paramos gavimo galimybių analizė.....	48
4.2 Savikaina ir atsipirkimo laikotarpis	53
4.3 Technologinių variantų palyginimas ir galimi eksploatacijos variantai	58
5 GAUTŲ REZULTATŲ APTARIMAS, IŠVADOS, REKOMENDACIJOS.....	63
6 LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	65
7 PRIEDAI	68
Priedas Nr. 1 Teritorinės jėgainės statybos vietos alternatyvos	68
Priedas Nr. 2 Metinės šilumos energijos sąnaudos pastatų šildymui	69
Priedas Nr. 3 Metinės karšto vandens sąnaudos.....	70
Priedas Nr. 4 Vėdinimo, oro kondicionavimo sistemų schema.....	71
Priedas Nr. 5 Absorbcinio šaldymo įrenginio brėžinys	72
Priedas Nr. 6 2 MW šiluminės galios vidaus degimo variklio techninės specifikacijos	73
Priedas Nr. 7 1 MW šiluminės galios vidaus degimo variklio techninės specifikacijos	76
Priedas Nr. 8 2 MW galios vandens šildymo katilo techninės specifikacijos	79
Priedas Nr. 9 Objekto prijungimo prie AB Skirstomųjų tinklų elektros tinklo nuosavybės ribų aktas.....	84
Priedas Nr. 10 VĮ „Oro navigacija“ techninės sąlygos	87
Priedas Nr. 11 UAB „Vilniaus energija“ techninės sąlygos	88
Priedas Nr. 12 AB „LESTO“ išankstinės sąlygos.....	107
Priedas Nr. 13 AB „Lietuvos dujos“ prisijungimo sąlygos.....	110

LENTELIŲ SĄRAŠAS:

2.1 lentelė. Vidutinis mėnesinis šiluminės energijos suvartojimų pasiskirstymas	15
2.2 lentelė. Pagrindinio pastato oro kondicionavimas	20
2.3 lentelė. Atsinaujinančių energijos išteklių vertinimas	20
2.4 lentelė. Elektros ir šilumos energijos gamybos santykis naudojant skirtingas technologijas	24
2.5 lentelė. Technologinių alternatyvų privalumai ir trūkumai	24
2.6 lentelė. Šiluminės galios pasiskirstymas per metus	28
2.7 lentelė. Šiluminės energijos kiekių pasiskirstymas per metus	28
3.1 lentelė. Gamtinių dujų sandara [11]	30
3.2 lentelė. DLK - vienkartinė didžiausia leistina toksogeno koncentracija [11]	33
3.3 lentelė. Pagrindinis tarifas toksogenams [17]	35
3.4 lentelė. Teritorinių alternatyvų ir jas veikiančių veiksnių matrica	38
3.5 lentelė. Darbinis slėgis	41
3.6 lentelė. Šildymo sezono temperatūrinis grafikas	41
3.7 lentelė. Preliminarūs pastato matmenys	45
3.8 lentelė. Elektros energijos sąnaudos jėgainėje	46
3.9 lentelė. Papildymo vandens kiekis	47
3.10 lentelė. Metinis kuro suvartojimas	48
4.1 lentelė. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų kainos [22]	49
4.2 lentelė. Investicijos technologinės dalies įrengimui	50
4.3 lentelė. Investicijos, priklausančios nuo technologinių alternatyvų [18]	50
4.4 lentelė. Investicijos, priklausančios nuo jėgainės statybos vietos [18]	51
4.5 lentelė. Bendros pradinės investicijos	51
4.6 lentelė. Išlaidos techninei priežiūrai	52
4.7 lentelė. Išlaidos vandentiekio vandeniui, suvartotam jėgainėje per metus	52
4.8 lentelė. Išlaidos kurui per metus	53
4.9 lentelė. Bendros eksploatacinės išlaidos	53
4.10 lentelė. Pagaminamos šilumos energijos savikaina	53
4.11 lentelė. Pagaminamos elektros savikaina	54
4.12 lentelė. Bendros pajamos per metus	55
4.13 lentelė. Nepriklausomų šilumos gamintojų galia Vilniuje, MW [19]	60

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS:

1.1 pav. Tiriama teritorija	12
1.2 pav. Šilumos ūkio specialiojo plano ištrauka [6]	13
1.3 pav. Aukštybinių pastatų išsidėstymo koncepcijos ištrauka	13
2.1 pav. Šiluminės galios šildymui pasiskirstymas skirtingais metais	15
2.2 pav. 5-erių metų šiluminių galių šildymui pasiskirstymo vidurkis	16
2.3 pav. Bendros šiluminės galios poreikio pasiskirstymas	17
2.4 pav. Valandinis elektros apkrovų grafikas („AEROUOSTAS/I įvadas“)	18
2.5 pav. Valandinis elektros apkrovų grafikas („AEROUOSTAS/II įvadas“)	18
2.6 pav. Mėnesinis elektros apkrovų grafikas	19
2.7 pav. Bendras mėnesinis energijos poreikių pasiskirstymas	19
2.8 pav. Trigeneracinio įrenginio pagaminama energija	22
2.9 pav. Katilo naudingumo koeficiento kreivė	27
2.10 pav. Galios modeliavimas įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius	29
2.11 pav. Galios modeliavimas įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius	29
3.1 pav. Technologinė schema, kai įrenginių šiluminė galia – 4 MW	40
3.2 pav. Technologinė schema, kai įrenginių šiluminė galia – 2 MW	41
3.3 pav. Principinė šilumokaitinės schema	42
3.4 pav. Prisijungimas prie esamo elektros tinklo	44

3.5 pav. Prisijungimo prie dujotiekio 1 alternatyva.....	45
3.6 pav. Prisijungimo prie dujotiekio 2 alternatyva.....	46
4.1 pav. Šilumos energijos kainos sandara (T.1, G.1).....	54
4.2 pav. Elektros energijos kainos sandara (T.1, G.1).....	55
4.3 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.1; G.1)	56
4.4 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.1; G.2)	57
4.5 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.1; G.3)	57
4.6 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.2; G.1)	58
4.7 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.2; G.3)	58
4.8 pav. UAB „Vilniaus energija“ palyginamosios šilumos gamybos sąnaudos [19]	60
4.9 pav. Kauno nepriklausomų šilumos gamintojų palyginimas [20]	61
4.10 pav. Šilumos energijos kainų palyginimas	62

IVADAS

Energija yra neatsiejama kiekvieno reiškinių dalis. Tai visų materijos formų, gebančių transformuotis viena į kitą, kiekybinis matas [3]. Energija yra skirstoma į: mechaninę, elektros, cheminę, magnetinę, elektromagnetinę, branduolinę, gravitacinę ir šiluminę energiją. Žmogus jau nuo neatmenamų laikų išmoko panaudoti ugnį, kaip energijos formą siekiant sušilti, paruošti maistą ir pan. Galima sakyti, kad nuo tada buvo pradėtas valdyti šilumos gavybos ir panaudojimo procesas.

Šiuo metu, norint užtikrinti žmogui komfortines gyvenimo sąlygas, yra sukurtos specialios sistemos, aprūpinančios atitinkama energijos rūšimi, kaip pavyzdžiui šildymas. Šiuo metu Lietuvoje apytiksliai yra pagaminama 13045 GWh šilumos energijos [12]. Kasmet vartotojų skaičius vis auga, šilumos gamybos ir tiekimo efektyvumo klausimas tampa vis aktualesnis. Kuo objekto ar jų grupės energijos poreikiai yra didesni, tuo sudėtingesnė ir galingesnė sistema yra įrengiama. Įvairios energijos gamybos sistemos skiriasi veikimo principu, kuro rūšimi, pradinių investicijų dydžiu ir kitais aspektais. Siekiant rasti optimaliausią sprendimą turi būti atlikti skirtingų aprūpinimo energija alternatyvų palyginimai.

Šilumos vartotojų sudėties kitimą ir vartojimo dinamiką stipriai įtakoja šalies infrastruktūra. Vienas didžiausių ir pagrindinių infrastruktūros vienetų yra oro uostai. Šis objektas iš kitų šilumos vartotojų išsiskiria įvairiais technologiniais apribojimais. Lietuvoje charakteringas vidutinio dydžio oro uosto pavyzdys yra Vilniaus oro uostas. Šio darbo tikslas – išnagrinėjus Vilniaus oro uosto šildymo, vėsinimo ir elektros energijos poreikius bei atitinkamus teisinius ir technologinius apribojimus, parinkti optimaliausią apsirūpinimo energija alternatyvą. Svarstoma galimybė atsijungti nuo centralizuotų šilumos tinklų ir apsirūpinti energija autonomiškai.

Pirmasis darbo uždavinys - apžvelgti teisinius reglamentus, ribojančius atitinkamų pastatų statybą ir veiklą oro uosto ribose. Išanalizuoti nagrinėjamo objekto energetinius poreikius bei parinkti reikalingą optimalią galią. Išanalizuoti galimas apsirūpinimo energija alternatyvas.

Antrasis uždavinys, parinkti optimalią statybos teritoriją ir įvertinti planuojamų statyti įrenginių poveikį aplinkai. Išanalizavus kogeneracinės jėgainės diegimo technologinius aspektus, apskaičiuoti investicijas ir jų atsipirkimo laikotarpį. Vertinant technologines alternatyvas išanalizuoti pagamintos energijos realizavimo galimybes bei galimybes gauti finansinę paramą. Galiausiai, atlikus nagrinėjamų alternatyvų palyginimą, bei numčius galimus eksploatacijos variantus, pateikiamos išvados.

1 ORO UOSTŲ ENERGETINIO APRŪPINIMO CHARAKTERISTIKOS IR TEISINĖ APLINKA

Lietuvos Respublikoje energetikos sektoriaus veiklą reglamentuoja įvairūs teisės aktai, tokie kaip Energetikos įstatymas, Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, Šilumos ūkio įstatymas ir pan. Valstybės įstatymų rengimui ir jų koregavimui didelę įtaką turi Europos Sąjungos direktyvų nuostatos bei Vyriausybės programa. Šiuose aktuose apibrėžiama bendra energetikos veikla, energetikos plėtojimas bei reguliavimas. Pagrindinis dėmesys yra skiriamas efektyviam energijos bei energijos resursų vartojimui. Vis labiau remiamos veiklos, kurios naudoja vietinius bei atsinaujinančius energijos išteklius.

Oro uostai, kaip viena pagrindinių infrastruktūros dalių, yra didelis, daug energijos reikalaujantis objektas. Siekiant nustatyti efektyviausią energijos poreikių patenkinimo būdą turi būti įvertintos trys pagrindinės galimybės: „zonos“ centralizavimas, decentralizavimas ir mišrus šilumos tiekimo būdas. Didžioji dalis oro uostų įrengti miestuose ar netoli jų, todėl pagrindinis dėmesys skiriamas susidariusiai oro taršai bei energetiniam patikimumui.

Vertinant oro uostų energijos poreikių patenkinimo būdus ekonominiu aspektu, turi būti atsižvelgiama į galimybę gauti finansines paramas. Europos parlamento ir tarybos direktyvoje [13] numatytas pagrindinis tikslas – skatinti didelio efektyvumo elektros energijos ir šilumos kogeneraciją, kuri remtųsi esama šilumos paklausa. Direktyva numato, kad efektyvios kogeneracijos būdu pagamintai elektros energijai galima taikyti finansinės paramos mechanizmus. Tai gali būti parama pradinėms investicijoms, mažesni reikalaujami mokesčiai ar atleidimas nuo jų, bei tiesioginės kainų rėmimo programos. Lietuvoje efektyvia kogeneracija laikomas toks elektros energijos ir šilumos gamybos būdas, kai sutaupoma 5% pirminių energijos išteklių dabar veikiančiose elektrinėse. Naujai planuojamoms statyti elektrinėms šis rodiklis pakyla iki Europos Sąjungoje naudojamų - 10% [13]. Tačiau reikia pabrėžti, kad pagal apibrėžimus, vartojamus dabartiniame įstatyme, šis rodiklis yra apskaičiuojamas naudojant ne harmonizuotas atskaitines vertes, bet remiantis naujausiomis šalyje vartojamomis technologijomis.

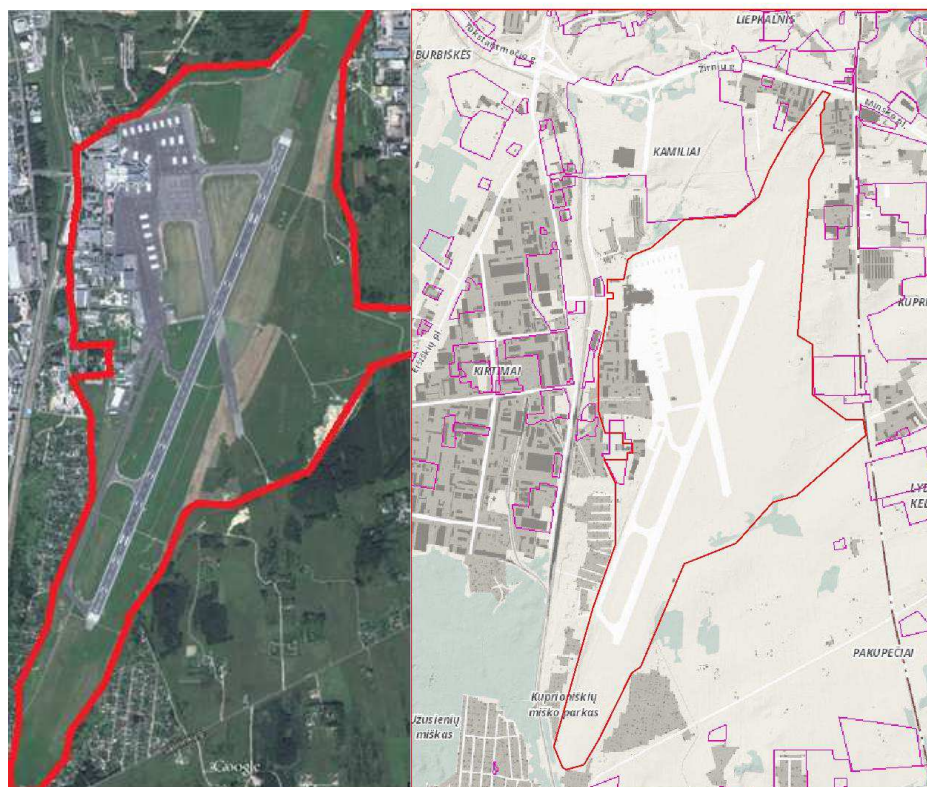
Nacionalinėje darnaus vystymosi strategijoje [14] numatomas šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų mažinimas. Įvairiomis rėmimo programomis skatinamas atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas. Taip pat išvelgiama galimybė plačiau panaudoti dujas dėl pakankamai išvystytos gamtinių dujų tiekimo sistemos bei naujo gamtinių dujų importo terminalo, tačiau gamtinių dujų naudojimas įvardijamas kaip grėsmė energijos tiekimo patikimumui bei kainų stabilumui.

Energijos poreikių patenkinimo būdus vertinti tik ekonominiu požiūriu nepakanka. Kadangi oro uostai yra specifinis objektas, svarbu įvertinti visus technologinius apribojimus. Pagrindinis kriterijus yra gero matomumo išlaikymas. Siekiant užtikrinti patikimą oro uosto paslaugų tiekimą, yra ribojamas statybinių konstrukcijų ir įrenginių blizgumas. Šioje teritorijoje yra draudžiama

aukštybinių pastatų statyba bei ribojamas leistinas užstatymo plotas. Taip pat oro uostose yra griežčiau ribojami išmetamų teršalų kiekiai.

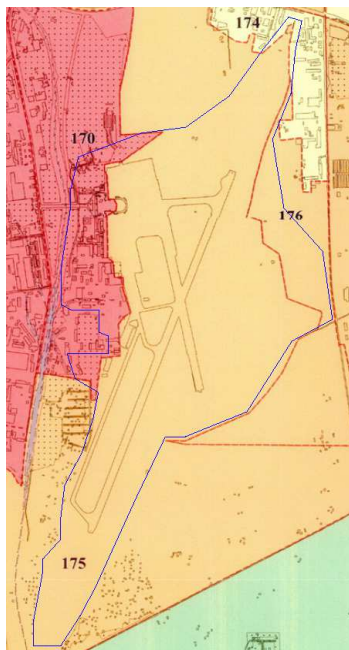
Šiame darbe nagrinėjamas konkretus objektas – Lietuvos oro uostų Vilniaus filialas 1.1 pav. Jis yra charakteringas vidutinio dydžio oro uosto variantas. Bendras teritorijos plotas siekia 326 ha. Šis oro uostas įsikūręs Vilniaus mieste, tik 7 km iki centro. Jis teikia aviacines ir neaviacines paslaugas šalies bei užsienio ūkio subjektams, taip pat fiziniams asmenims. Kilimo-tūpimo tako ilgis yra 2 515 m, o plotis - 50 m. Šiam oro uostui suteikta II tiksliojo artėjimo tūpti kategorija (CAT II).

Šiuo metu Vilniaus oro uostui energija tiekama centralizuotai. Svarstoma galimybė atsijungti nuo centralizuotų šilumos bei elektros tinklų ir įsirengti nuosavus, energiją gaminančius įrenginius. Remiantis specialiajame plane [6] pateiktomis suskirstytomis zonomis (1.2 pav.) matyti, kad Vilniaus oro uostas apima centralizuoto šilumos tiekimo zoną (raudona spalva) ir konkurencinę zoną (geltona spalva).



1.1 pav. Tiriama teritorija

Labiausiai tikėtina, kad planuojamos statyti jėgainės vieta pateks į tankiai užstatytą teritoriją, kurioje vyrauja daugiaaukštė statyba ir numatyta šilumą tiekti centralizuotai. Tokiu atveju, norint jėgainėje pagamintą šilumos ir elektros energiją naudoti savoms reikmėms, turės būti pakeistas specialusis šilumos ūkio planas. Nusprendus tapti nepriklausomu šilumos gamintoju (NŠG) ir energiją pardavinėti, šio plano keisti nereikėtų. Bet kokių atveju, šioje teritorijoje galima statyti jėgainę, naudojančią tik dujinį kurą [5].



1.2 pav. Šilumos ūkio specialiojo plano ištrauka [6]

Aukštybinių pastatų išdėstymo specialiojo plano koncepcijoje nurodyta, kad Vilniaus oro uosto teritorija patenka į A1 zoną (1.3 pav.), kurioje draudžiama statyti aukštybinius pastatus. Pastatų aukštis negali būti didesnis kaip 35 m arba 12 aukštų.

Pagal Lietuvos Respublikos planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymą, nagrinėjamas objektas yra planuojama ūkinė veikla, kuri dėl savo pobūdžio, masto ar numatomos statybos vietos ypatumų gali daryti reikšmingą poveikį aplinkai. Norint įgyvendinti šį projektą turi būti atliekama atranka dėl poveikio aplinkai vertinimo.



1.3 pav. Aukštybinių pastatų išsidėstymo koncepcijos ištrauka

Šiuo metu Vilniaus oro uostui šilumos energija yra tiekiamu centralizuotais šilumos tinklais. Lietuvos aprūpinimo šiluma balanse centralizuotas šilumos tiekimas užima labai reikšmingą dalį.

Visuose šalies miestuose veikia didelę teritorijos dalį apimančios ir gerai išvystytos centralizuoto šilumos tiekimo sistemos. Nors šis šilumos tiekimas turi daug privalumų, siekiant energetinės nepriklausomybės, Vilniaus oro uostas planuoja įsirengti nuosavus, energiją gaminančius įrenginius. Pagrindinės autonominio aprūpinimo energija technologijos yra kogeneracija ir atsinaujinančioji energetika. Atsinaujinančiajai energetikai gali būti priskirtos biokuro katilinės, šilumos siurbliai, saulės, vėjo ir kitos jėgainės. Taip pat viena iš technologijų yra biomasės dujųofikavimas, tai yra termocheminės konversijos technologija. Tinkamiausia energijos poreikių patenkinimo technologija parenkama atsižvelgiant į objekto paskirtį, energijos poreikius bei skirtingų pagaminamos energijos rūšių santykį.

Šio darbo tikslas – išnagrinėjus Vilniaus oro uosto šildymo, vėsinimo ir elektros energijos poreikius bei atitinkamus teisinius ir technologinius apribojimus, parinkti optimaliausią apsirūpinimo energija alternatyvą.

Darbe keliami tokie esminiai uždaviniai:

1. išnagrinėti ir įvertinti teisinius reglamentus, ribojančius atitinkamų pastatų statybą ir veiklą oro uosto ribose;
2. išanalizuoti nagrinėjamo objekto energetinius poreikius bei parinkti reikalingą optimalią galią;
3. išanalizuoti galimas apsirūpinimo energija alternatyvas ir parinkti tinkamiausią;
4. parinkti optimalią statybos teritoriją ir įvertinti planuojamų statyti įrenginių poveikį aplinkai;
5. įvertinant technologines alternatyvas, išanalizuoti pagamintos energijos realizavimo galimybes bei galimybes gauti finansinę paramą;
6. išanalizavus kogeneracinės jėgainės diegimo technologinius aspektus, apskaičiuoti investicijas ir jų atsipirkimo laikotarpį.

2 VILNIAUS ORO UOSTO ENERGETINIŲ POREIKIŲ ANALIZĖ

2.1 Statistinių duomenų apibendrinimas

Norint apskaičiuoti šiluminės energijos poreikį pastatų šildymui, reikia žinoti nagrinėjamos teritorijos klimatinius duomenis [1]. Kiekvieną šildymo sezoną šie rodikliai skiriasi. Skirtumą įtakoja temperatūrų svyravimai. Priklausomai nuo to ar metai buvo šilti ar ne, skiriasi energijos sąnaudos. Skaičiuojant projektinius šilumos nuostolius turi būti naudojamos norminės sąlygos [7].

Kadangi Vilniaus oro uostas yra stambus ir sudėtingai aprūpinamas vartotojas, energijos poreikiai buvo įvertinti naudojantis pateiktomis oro uosto kelių metų energijos suvartojimo ataskaitomis. Lietuvos oro uostų Vilniaus filialas susideda iš oro uostui priklausančių pastatų ir jo teritorijoje

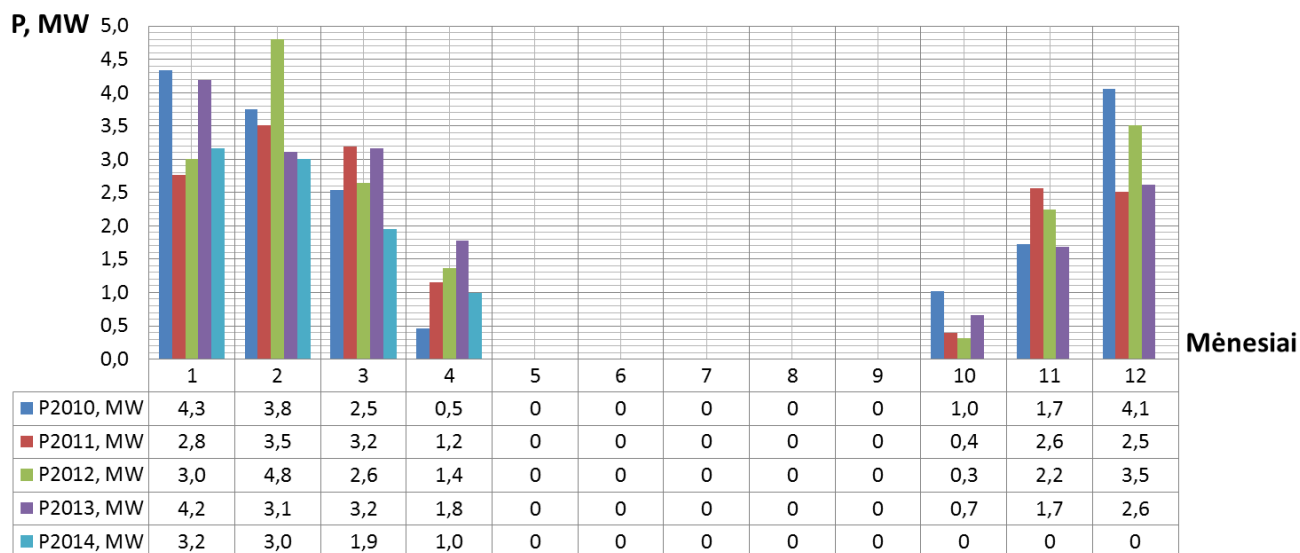
įsikūrusių nuomininkų. Vidutinis mėnesinis šiluminės energijos pasiskirstymas pastatuose pateiktas 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Vidutinis mėnesinis šiluminės energijos suvartojimų pasiskirstymas

Eil. Nr.	Abonento pavadinimas	Kodas	MWh
1	VĮ tarpt. Vilniaus oro uostas	0612700010	583,844
2	Bendrbutis Nr.24	910309	23,258
3	Bendrbutis Nr.26	910311	31,420
4	Bendrbutis Nr.28	910310	19,611
5	UAB "FI Technics"	423370010	20,456
6	UAB "VA REALS"	423360010	100,142
7	VGTU (Rodūnios k.30)	704500018	8,327
8	VGTU (Rodūnios k.32)	704510065	5,447
9	Gustaičio 7 (11F-127)	0612700020	0,462
10	Gustaičio 8 (11F-127)	0612700020	0,533
Viso:			793,500

Šiluminė galia šildymui apskaičiuota remiantis bendrais šiluminės energijos sąnaudų duomenimis. Vidutinė galia kiekvieną mėnesį buvo įvertinta remiantis turimais (2010 – 2014 metų) šiluminės energijos suvartojimais šildymui (priedas Nr.2) [2]. Gauti rezultatai pavaizduoti 2.1 pav.

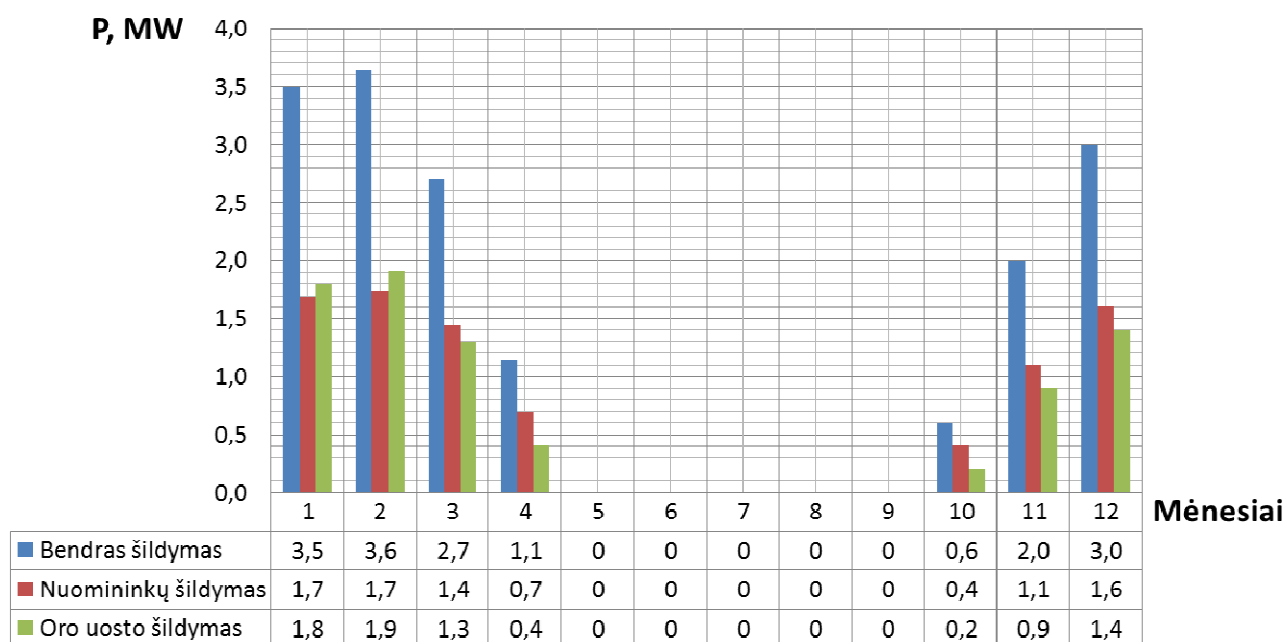
Reikalinga galia



2.1 pav. Šiluminės galios šildymui pasiskirstymas skirtingais metais

Norminė šildymo sezono trukmė Vilniuje, kai vidutinė paros oro temperatūra žemesnė už 8 °C, yra 204 paros [7]. Gauti rezultatai įrodo, kad šiluminės galios poreikiai šildymui kasmet kito tendencingai. 2012 metų sausio mėnesį buvo pasiektas maksimalus galios poreikis – 4,8 MW. Galima pastebėti, jog 2014 m. galios šildymui poreikiai visais mėnesiais buvo mažesni nei 2013 m. Šį pokytį galėjo įtakoti dalinė pastatų renovacija.

Reikalinga galia



2.2 pav. 5-erių metų šiluminių galių šildymui pasiskirstymo vidurkis

Vidutiniai kiekvieno mėnesio šiluminės galios poreikiai šildymui gauti skaičiavimuose priimanant kiekvienų metų to paties mėnesio šiluminės energijos poreikių vidurkius. Pagal suvartotą šiluminę energiją, išskirti atitinkami šiluminės galios poreikiai oro uosto bei nuomininkų šildymo poreikiams patenkinti, pateikti 2.2 pav.

Vilniaus oro uostas pateikė mėnesinius suvartoto karšto vandens kiekius, išreikštus kubiniais metrais (priedas Nr. 3). Šiluminė galia karštam vandeniui ruošti apskaičiuota pagal formulę [2]:

$$E_i = k_d \cdot c \cdot \rho \cdot V_i \cdot (T_1 - T_2); \quad (2.1)$$

čia:

E_i - energijos kiekis vandeniui pašildyti per i-tąjį mėnesį;

k_d - koeficientas lygus $2,78 \cdot 10^{-7}$;

c - savitoji vandens šiluma lygi $4190 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$;

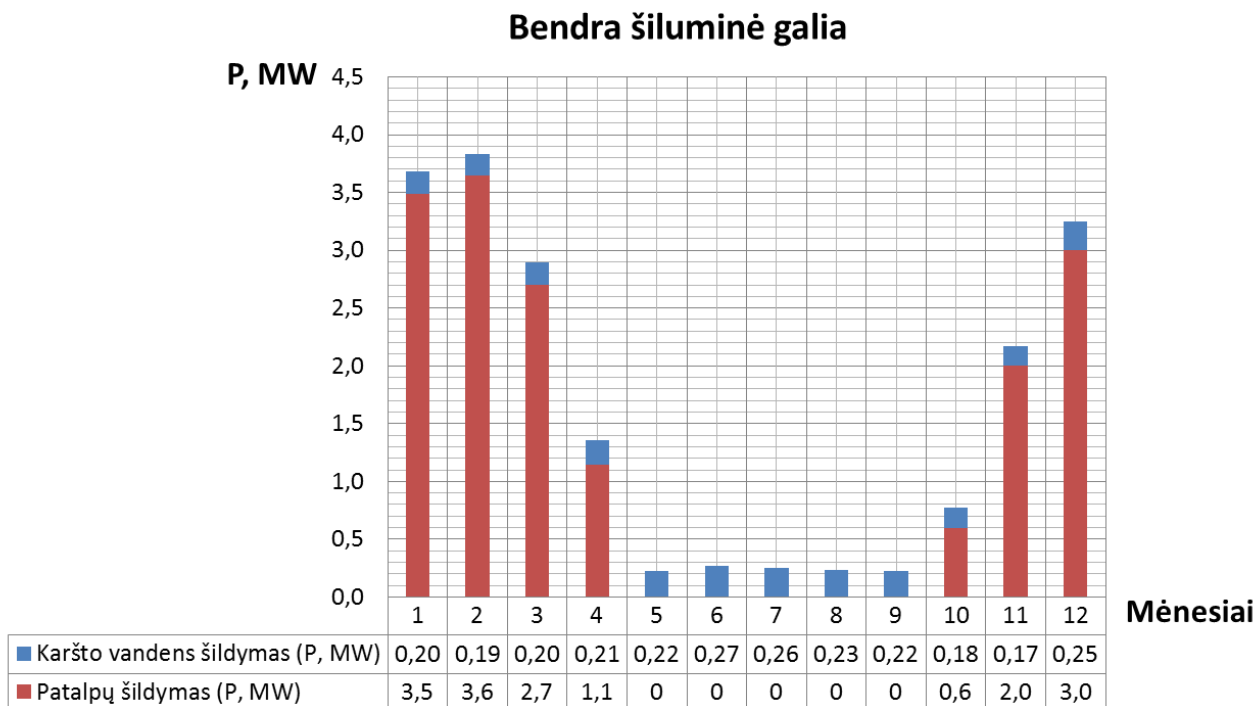
ρ - vandens tankis lygus 1000 kg/m^3 ;

V_i - sunaudoto vandens tūris per mėnesį (m^3);

$T_1 - T_2$ - temperatūrų skirtumas, skaičiavimuose priimtas ($55 - 12 = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Gauti atsakymai pavaizduoti 2.3 pav. Matyti, kad šilumos poreikiai karštam vandeniui ruošti yra žymiai mažesni, nei pastatų šildymui. Karšto vandens ruošimas apytiksliai siekia iki 10% šiluminės galios poreikio, todėl neturi reikšmingos įtakos galios parinkimui. Visų penkerių metų

bendros šiluminės galios poreikio maksimumas - 3,8 MW. Su 5,3% atsarga, priimta projektinė šiluminė galia – 4 MW.



2.3 pav. Bendros šiluminės galios poreikio pasiskirstymas

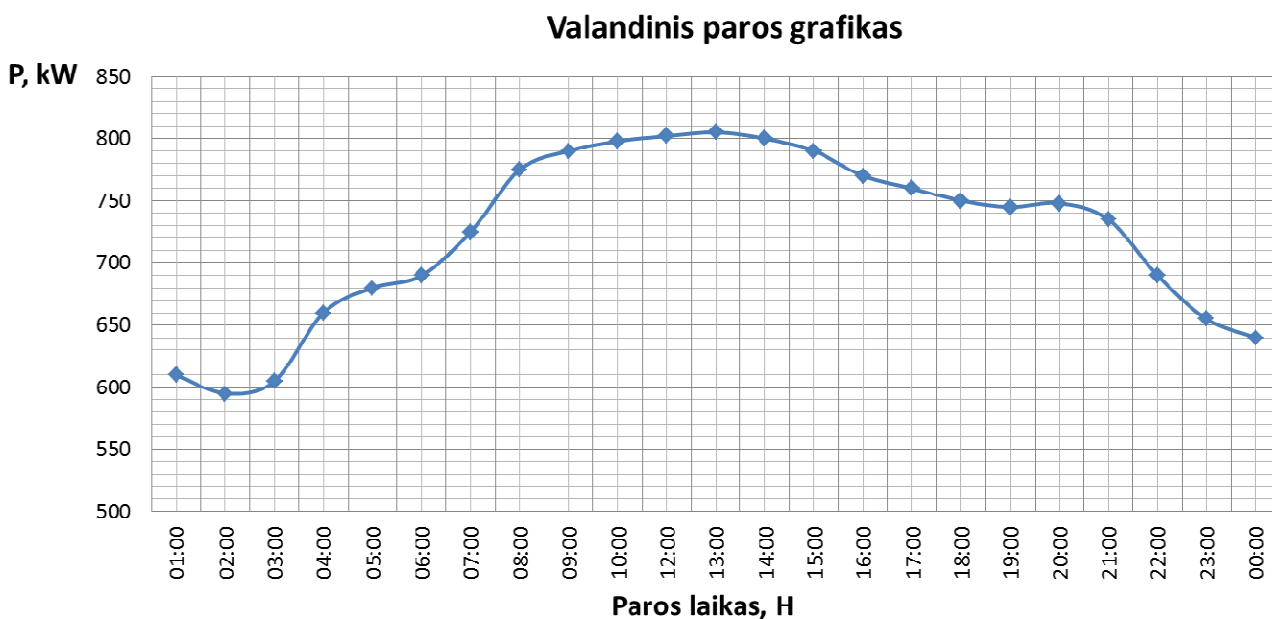
Lokalų Vilniaus oro uosto elektros tinklą sudaro pagrindinė 10 kV skirstykla SP-80, į kurią elektros energija tiekama, operatoriui AB „ESO“ (buvusio AB „LESTO“) priklausančiais dviem pagrindiniais kabeliais („TP AEROUOSTAS/I įvadas“ bei „TP AEROUOSTAS/II įvadas“) ir vienu rezerviniu („TP CENTRAS“). SP-80 yra pagrindinis oro uosto vidutinės įtampos skirstomasis punktas, sujungtas į dvi šynų sekcijas. Tarp sekcijų įrengta automatinė perjungimo įranga, kurios tikslas automatiškai pakeisti sugedusį vieną iš trijų elektros energijos įvadų, veikiančiu rezerviniu. Tokiu būdu užtikrinama antra elektros energijos tiekimo kategorija .

Iš SP-80 skirstomojo punkto elektros energija tiekama į visus oro uosto teritorijoje esančius 10 kV paskirstymo taškus - pastotes, kurių tikslas transformuoti ir paskirstyti elektros energiją mažesniems subvartotojams. Iš viso tokių pastočių yra keturiolika. Šie paskirstymo taškai suskirstyti pagal apkrovos dydžius ir apkrovos paskirtį. Pagrindinių vartotojų pastotės yra: TP-18, TP-17A, TP-17 ir TP-15, žiūr. 3.4 pav.

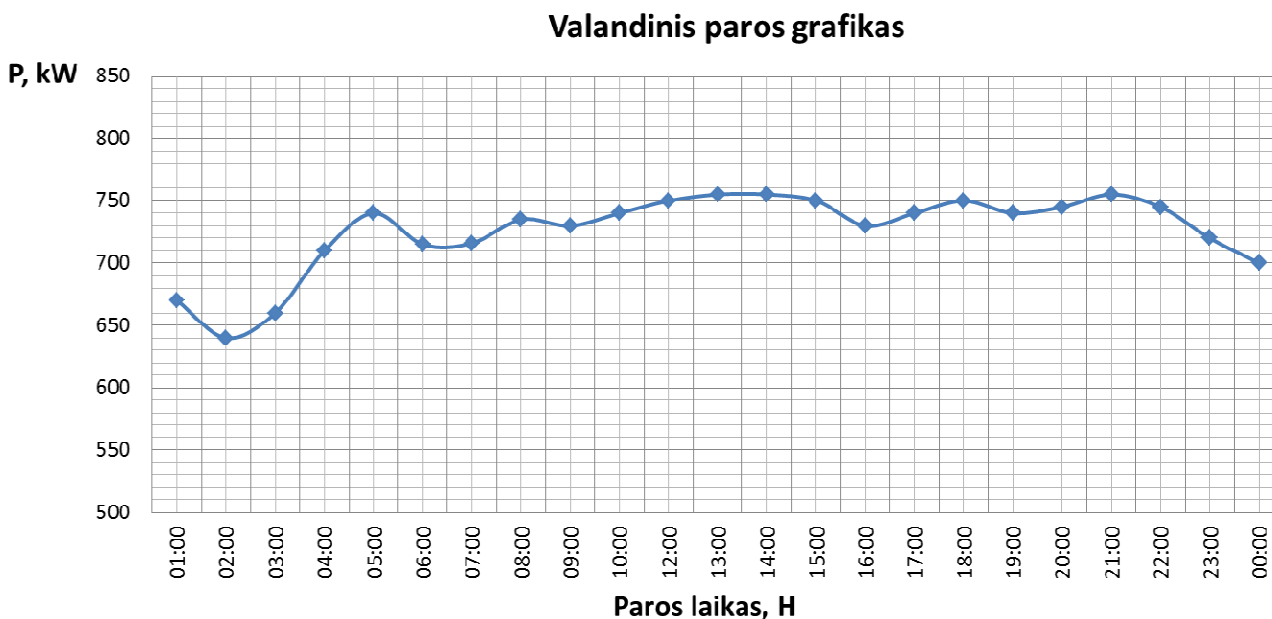
Visa oro uosto suvartojama elektros energija yra registruojama elektros energijos skaitikliais, įrengtais SP-80 skirstymo punkte ant įvadinių kabelių. Suvartotas energijos kiekis automatizuotu būdu per ryšio priemones perduodamas operatoriui, kuris apdorojęs duomenis pateikia vartotojui sąskaitą.

Pagal AB „ESO“ pateiktus elektros skaitiklių Nr. 271148 ir Nr. 343001 valandinių apkrovų duomenis per septynerius metus (2008 – 2014 m), apskaičiavus jų vidurkius buvo sudaryti valandi-

niai elektros apkrovų grafikai 2.4 pav., 2.5 pav. Galima pastebėti, kad galios poreikio svyravimas nėra didelis - iki 30%. Elektra vartojama visą parą, kadangi skrydžiai vykdomi ir naktį.



2.4 pav. Valandinis elektros apkrovų grafikas („AEROUOSTAS/I įvadas“)



2.5 pav. Valandinis elektros apkrovų grafikas („AEROUOSTAS/II įvadas“)

Mėnesinis elektros poreikio grafikas (2.6 pav.) rodo, kad žiemą elektros suvartojama daugiau. Šį svyravimą įtakoja orinės šildymo sistemos bei elektrinių šildytuvų veikla, taip pat trumpėjant dienoms išauga apšvietimo poreikis. Elektros apkrovos pateiktos įvertinant ir elektros energijos kiekį, suvartojamą šaldymo įrenginiuose (420 kW). Dėl pastatų modernizavimo metinis suvartojimas kasmet nežymiai auga, todėl numatyta elektros įrenginių projektinė galia yra 2 MW.

Pateikti duomenys apie vėsinimo poreikius yra neišsamūs. Žinoma tik tiek, kad šiems poreikiams tenkinti oro uoste yra įrengta:

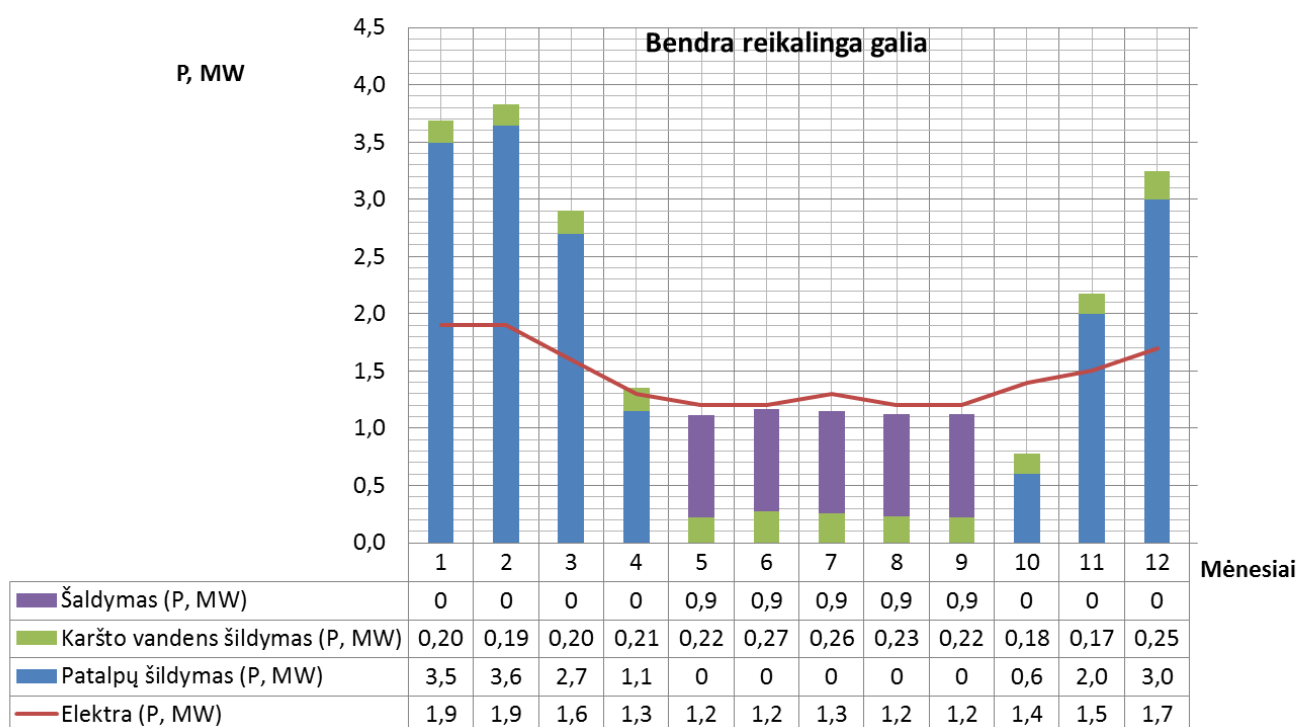
1. Trylika oro kondicionierių (elektros energijos suvartoja – 68,9 kW);

2. Du dideli šaldymo įrenginiai (elektros energijos suvartoja – 328 kW);
3. Du „York“ kondicionieriai (elektros energijos suvartoja – 23 kW).

Mėnesinis apkrovos grafikas



2.6 pav. Mėnesinis elektros apkrovų grafikas



2.7 pav. Bendras mėnesinis energijos poreikių pasiskirstymas

Priimta, kad vėsinimo poreikiai yra pastovūs ir reikalingi tik nešildymo sezono metu. Pagrindiniame pastate oro kondicionavimo poreikių pasiskirstymas pateiktas 2.2 lentelėje. Nuomininkai įsikūrę oro uosto teritorijoje patys apsirūpina vėsinimu. Daugumai jų pakanka natūralaus vėdinimo. Lyginant su visais energijos poreikiais, vėsinimo poreikiai santykinai yra nedideli, žiūr. 2.7 pav. Projektinė galia vėsinimui priimta 900 kW.

2.2 lentelė. Pagrindinio pastato oro kondicionavimas

Nr.	Aptarnaujamos patalpos	Paduodamo oro kiekis, t.m ³ /h	Ištraukiamo oro kiekis, t.m ³ /h	Šalčio galios poreikis, kW
PI-01	Laukiamieji 1 aukšte	7950	5720	55,7
PI-02	Išvykimo salė 2a. (kairė)	10920	10920	76,5
PI-03	Išvykimo salė 2a. (dešinė)	10920	10920	76,5
PI-04	Salė 2a.	21520	21520	150,8
PI-05	Salės II ir III 2a.	12610	10280	88,4
PI-06	Salės V ir VI 2a.	12610	10860	88,4
PI-07	Laukimo salė I 2a.	8650	8650	60,6
PI-08	Laukimo salė VII 2a.	8650	8650	60,6
PI-09	Salė 3a. (kairė)	10180	8750	71,3
PI-10	Salė 3 a. (dešinė)	10180	8610	71,3
PI-14	Verslo ir VIP patalpos 3a.	7560	7100	53,0
PI-15	Kavinė 3a.	6040	3620	42,4
Viso:		127790	115600	895,5

Apibendrinant statistinius duomenis, priimtos projektinės energijos gamybos įrenginių galios:

1. šiluminė galia – 4 MW;
2. elektrinė galia – 2 MW;
3. šaldymo galia – 0,9 MW.

2.2 Energetinių poreikių patenkinimo galimybės

Remiantis teisiniais reglamentais, galima daryti išvadą, kad Europos Sąjungos paramą būtų galima gauti įrengiant jėgainę, naudojančią atsinaujinančius energijos išteklius. Nagrinėjamu atveju, atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą apsunkina anksčiau išvardinti apribojimai. Visi atsinaujinančių energijos išteklių plusai ir minusai pateikiami 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Atsinaujinančių energijos išteklių vertinimas

Energijos rūšis	Privalumai	Trūkumai
Hidroenergija	Atsinaujinantis energijos šaltinis, neteršiantis aplinkos; galimybė gauti Europos Sąjungos paramą; mažos eksploataavimo išlaidos;	Nėra artimų tekančio vandens šaltinių; priklauso nuo gamtos sąlygų, nedidelis pagaminamos energijos kiekis; reikalingos didelės pradinės investicijos.

Energijos rūšis	Privalumai	Trūkumai
	efektyvi ir patikima gamyba.	
Vėjo energija	Atsinaujinantis energijos šaltinis, neteršiantis aplinkos; galimybė gauti Europos Sąjungos paramą; mažos eksploataavimo išlaidos.	Priklauso nuo gamtinių sąlygų (vėjo), mažas instaliuotosios galios panaudojimo koeficientas; didelės pradinės investicijos; generatorių galia yra santykinai nedidelė, todėl reikia didelio jų kiekio; įrenginiai netenkina aukštybinių pastatų apribojimo; reikalingi atitinkami galios rezervai, kurie kompensuotų vėjo energijos svyravimus, o tai gali ženkliai paveikti galutinę elektros energijos kainą.
Biokuras	Atsinaujinantis energijos šaltinis; galimybė gauti Europos Sąjungos paramą; galimybė derinti elektros energijos ir šilumos gamybą.	Gana didelės pradinės investicijos; neefektyvu, nes reikiama galia santykinai yra nedidelė; didelės eksploataavimo išlaidos; neatitinka specialiojo plano reikalavimų.
Saulės energija	Atsinaujinantis energijos šaltinis; galimybė gauti Europos Sąjungos paramą; mažos eksploataavimo išlaidos	Priklauso nuo gamtinių sąlygų (saulės); netenkinamas blizgių elementų apribojimas; esant dabartinėms technologijoms reikalingi dideli žemės plotai netgi nedideliems elektros energijos kiekiams pagaminti.
Geotermija	Atsinaujinantis energijos šaltinis; galimybė gauti Europos Sąjungos paramą; ekonomišką šildymo būdą.	Reikalingos didelės pradinės investicijos; reikalingas didelis žemės plotas; šalčiausiomis dienomis naudojami elektriniai šildytuvai, todėl išauga elektros sąnaudos; ženkliai mažėja įrenginio naudingumas ruošiant aukštesnės temperatūros nei 35°C vandenį.

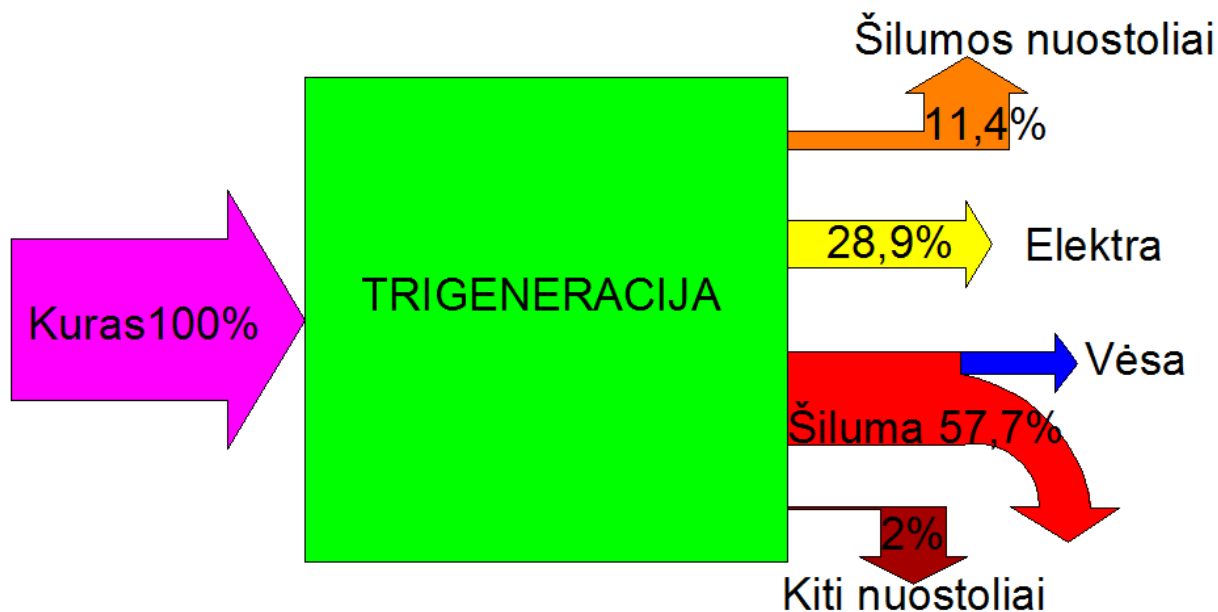
Pagal lentelėje pateiktus duomenis matome, kad visų rūšių atsinaujinančios energijos panaudojimas neatitinka teisinių reglamentų apribojimų, todėl šios energijos panaudojimas dėl specifinės objekto paskirties yra negalimas. Siekiant patenkinti visus teisinius apribojimus, galima naudoti tik dujinį kurą. Dėl pakankamai išvystytos gamtinių dujų tiekimo sistemos bei naujo gamtinių dujų importo terminalo, kuru pasirinktos gamtinės dujos.

Gamtinės dujos gali būti naudojamos kogeneraciniuose įrenginiuose. Kadangi nagrinėjamą objektą reikės aprūpinti ir vėsa (kondicionavimas), jai pagaminti gali būti panaudojama šiluma arba elektra iš kogeneracinio įrenginio. Toks išplėstinis kogeneracijos panaudojimas vadinamas trigeneracija. Nagrinėjamame objekte trigeneracijos įrenginys pagamintų 28,9 % elektros ir 57,7 % šilumos energijos. Apytiksliai 13,4 % energijos prarandama dėl nuostolių, žiūr. 2.8 pav.

Trigeneracijos nauda:

- patikimesnis elektros energijos tiekimas;
- sudaro sąlygas decentralizuotam energijos tiekimui;

- efektyviau panaudojamas kuras;
- mažesnis poveikis aplinkai.



2.8 pav. Trigeneracinio įrenginio pagaminama energija

Šiuo metu naudojama gana daug kogeneracinių įrenginių, paremtų įvairiomis energijos generavimo technologijomis:

1. Organinis Renkino ciklas (ORC). Kogeneracinėse jėgainėse, kuriose taikomas organinis Renkino ciklas, deginamas kuras, ir degimo metu susidarę karšti degimo produktai perduoda šilumą tepalui. Šis tarpinis tepalo ciklas leidžia lengviau reguliuoti perduodamą temperatūrą. Iš tepalo ciklo šiluma perduodama darbo agentui, kuris virsta garais. Patekę į turbiną garai plečiasi ir atlieka darbą. Gauta mechaninė energija generatoriuje verčiama į elektros energiją. Toliau garai keliauja į kondensatorių, kur šiluma gali būti paimama vandeniui įkaitinti. Vėliau susikondensavęs darbo agentas grąžinamas į garintuvą [4]. Siekiant padidinti elektros gamybos efektyvumą gali būti naudojamas rekuperatorius (įrengiamas už turbinos, prieš kondensatorių). Šiluma taip pat gali būti paimama iš panaudotų išmetamųjų dujų. Organinis Renkino ciklas skirtas žemo potencialo energijos vertimui darbu, todėl naudojami tokie darbo agentai, kurie garuoja esant santykinai žemoms temperatūroms. Organiniu Renkino ciklu pagrįstos kogeneracinės jėgainės gali pasiekti elektrinę galią iki 300 kW_{el} ir tiekti šilumą decentralizuotiems pramonės objektams ar gyvenamiesiems namams. Renkino ciklo modulio galia siekia nuo 200 kW iki 1,5 MW. Didesnė galia gaunama sujungus kelis modulius lygiagrečiai.
2. Vidaus degimo varikliai (VDV). Vidaus degimo varikliai – plačiai paplitusi ir puikiai žinoma technologija, kurios elektrinė galia svyruoja nuo kelių kilovatų iki 5 MW. Vidaus degi-

mo varikliai gali būti naudojami kogeneracinėse jėgainėse, kuriose, be elektros energijos, dar gaminamas karštas vanduo arba žemų parametrų garas. Vidaus degimo varikliuose elektra gaminama efektyviau nei dujų turbinose, tačiau labiau komplikotas šilumos panaudojimas, nes ji pasiskirsčiusi tarp išmetamųjų dujų ir variklio aušinimo sistemos.

Kogeneracinėse jėgainėse dažniausiai naudojami Oto ciklu veikiantys stūmokliniai vidaus degimo varikliai. Degimo metu kuro energija transformuojama į veleno mechaninį darbą ir šiluminę energiją. Velenas suka generatorių, o šis generuoja elektros energiją. Šiluminė energija gali būti paimama iš panaudotų dujų ir (arba) nukreipiama nuo variklį aušinančio agento. Kaip jau buvo minėta, šiluminė energija dažniausiai gaunama karšto vandens arba žemų parametrų garo pavidalu. Dyzeliniuose varikliuose naudojamas nuo suspaudimo savime užsidegantis kuras. Kai kurui naudojamos gamtinės dujos, vidaus degimo variklių galia siekia 1÷5 MW, o bendras efektyvumas – 88÷96 %. Dyzeliniuose varikliuose taip pat gali būti naudojamas mišrus kuras, t. y. gamtinės dujos su nedideliu kiekiu dyzelinio kuro, kuris reikalingas kuro mišiniui užsidegti. Šiuo atveju galia – 0,5÷16 MW, o bendras efektyvumas - 93÷95 % [4].

3. Dujų turbina su šilumos atgavimo sistema. Plačiai naudojamos dvi dujų turbinos su šilumos atgavimo sistema schemas:
 - Visa atlikusi degimo produktų šilumos energija panaudojama šilumos tiekimui. Dujų turbina veikia Braitono ciklu. Šiluminis naudingumo koeficientas priklauso nuo darbinės medžiagos suspaudimo kompresoriuje laipsnio. Kuo labiau suspaudžiamos dujos, tuo aukštesnė būna jų temperatūra. Turbinoje išsiplėtę degimo produktai patenka į katilą, kuriame jie šildo vandenį arba generuoja garus. Ši energija dažniausiai panaudojama šildymo reikmėms, džiovinimo arba kitiems šilumos energijos reikalaujantiems procesams.
 - Dalis pagaminto garo tiekama atgal į dujų turbiną (Čengo ciklas). Čengo ciklas – tai dujų turbinos degimo produktų šiluminės energijos panaudojimo alternatyva. Degimo produktai iš dujų turbinos patenka į katilą, kuriame generuojamas garas. Dalis garo grąžinama į dujų turbinos degimo kamerą ir turbiną, kita dalis gali būti tiekama pramonės įmonėms, kur garas panaudojamas technologiniams procesams arba tiekiamas į centralizuoto šilumos energijos tiekimo sistemas. Dalį garo grąžinant į dujų turbiną, padidinama jos elektrinė galia ir bendrasis efektyvumas [3].
4. Mikroelektrinės su Stirlingo varikliais. Šiose elektrinėse energija gali būti gaminama naudojant labai įvairų kurą: tinka gamtinės ir kitos dujos, skystas ar kietas kuras ir netgi saulės energija. Tokia mikroelektrinė dirba tyliai, kadangi turi mažai judančių dalių, yra kompaktiška ir puikiai tinka gyvenamųjų namų sektoriui.

Stirlingo variklis dirba uždaru ciklu, kurio metu darbinės dujos (helis, vandenilis, azotas arba oras) yra suspaudžiamos šalto cilindro talpoje (apie 25 °C÷75 °C) ir išsiplečia karšto cilindro talpoje (paprastai apie 680 °C÷780 °C). Tokiam varikliui reikalingas išorinis kaitinimas, todėl tam tikslui naudojama degimo kamera (dujų generatorius), kurioje deginamas kuras, o degimo produktai, per Stirlingo variklyje esantį kaitintuvą, perduoda šilumą kaitintuve esančioms darbinėms dujoms, kurios dėl slėgių skirtumo priverčia sukintis alkūninį veleną, o šis, savo ruožtu, suka elektros generatorių [4].

Stirlingo varikliai su helio ar vandenilio dujomis yra efektyviausi, tačiau dėl šių dujų mažo molekulinio svorio yra sudėtinga pagaminti izoliacinį stūmoklio sluoksnį, kuris darbinės dujas išlaikytų viduje, o tepalams neleistų patekti į cilindro vidų. Stirlingo variklių didžiausia galia siekia 35 kW, o ateityje turėtų padidėti iki 100 kW.

Optimaliausia energijos gamybos technologija parenkama atsižvelgiant į elektros ir šilumos energijų gamybos santykį. Vilniaus oro uosto baziniai šiluminės ir elektros energijos poreikiai yra apylygiai – apie 2 MW pastatų šildymui ir karšto vandens ruošimui ir apie 2 MW elektrai.

2.4 lentelė. Elektros ir šilumos energijos gamybos santykis naudojant skirtingas technologijas

Technologija	Elektros/šilumos energijų gamybos santykis										
	0,18	0,23	0,33	0,43	0,53	0,63	0,73	0,83	0,93	1,03	1,13
Garso turbina											
Vidaus degimo variklis											
Dujų turbina											
Kondensacinis Renkino ciklas											
Kombinuotas garo ciklas											

Kaip matome 2.4 lentelėje, vidaus degimo variklis ir dujų turbina gali pagaminti vienodą kiekį tiek šilumos, tiek ir elektros energijos. Tačiau vidaus degimo variklių tiek elektrinis, tiek ir šiluminis naudingumo koeficientai didesni nei turbinų. Be to, dirbant daliniu apkrovimu, vidaus degimo variklių efektyvumas sumažėja labai nežymiai. Pagrindiniai privalumai ir trūkumai garo ir dujų turbinų, bei vidaus degimo variklio pateikti 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. Technologinių alternatyvų privalumai ir trūkumai

Įrenginiai	Privalumai	Trūkumai
Garso turbinos	Aukštas bendras efektyvumas; gali būti panaudojamos visos kuro rūšys; keičiamas generuojamos šilumos/ elektros santykis; įvairių parametru šilumos generavimas;	Aukštas generuojamos šilumos/elektros santykis; didelės investicijos; lėtas paleidimas.

Įrenginiai	Privalumai	Trūkumai
	platus gaminamų įrenginių galios spektras; patvarumas	
Dujų turbinos	Aukštas patikimumas, galimybė ilgą laiką eksploatuoti be priežiūros; generuojama aukštų parametrų šiluma; pastovus generuojamos elektros energijos dažnis; elektros generavimo galios reguliavimas; aukštas generuojamos elektros energijos/ įrengimo svorio santykis; nereikalingas aušinantis vanduo; mažesnės santykinės investicijos, tenkančios 1 kW _{el} ; mažos teršalų emisijos.	Reikalingos aukšto slėgio dujos (arba reikia statyti kuro kompresorių); aukštas aukštame dažnyje skleidžiamo triukšmo lygis; žemas efektyvumas, dirbant mažu apkrovimu; aukšti reikalavimai naudojamam kuro švarumui; galia krenta, pakilus lauko oro temperatūrai (krenta degimui naudojamam oro tankis); remontas užima ilgą laiką.
Vidaus degimo varikliai	Aukštas elektros generavimo efektyvumas; mažesnės santykinės investicijos, tenkančios 1 kW _{el} ; platus įrenginių galios spektras (nuo 3 kW); galimybė dirbti daliniu apkrovimu (nuo 30 % iki 100 %), nesumažinant efektyvumo; gali dirbti visiškai atskirtas nuo bendro tinklo; greitas (iki 15 s) paleidimas, lyginant su dujų turbina, kurią paleisti reikia 0,5÷2 valandas; galimybė dirbti naudojant žemesnio slėgio gamtines dujas.	Turi būti pastoviai aušinamas, net jei nukreipiama šiluma nenaudojama; žemas generuojamos elektros energijos/ įrengimo svorio santykis, reikia įrengti tvirtą pagrindą; aukštas žemame dažnyje skleidžiamo triukšmo lygis; didelės priežiūros išlaidos.

Įvertinus visus paminėtus aspektus galima daryti išvadą, kad nagrinėjamu atveju tinkamiausias kogeneracinis įrenginys yra vidaus degimo variklis. Kadangi šiuo metu Vilniaus oro uostas aprūpinamas šalčiu su esamais elektriniais įrenginiais, jiems būtų galima tiekti elektros energiją, pagamintą vidaus degimo varikliu (trigeneracija). Pagal šią alternatyvą, autonominiu būdu aprūpinamos šalčio gamybos sistemos, kurias sudaro tokie įrenginiai kaip oro kondicionieriai, šaldytuvai ir du kompresoriniai šaldymo įrenginiai būtų nekeičiami, kadangi įranga nenusidėvėjusi.

Kompresorinių įrenginių šaldymo agento parametrai - 7/12 °C. Suvartojama elektros galia siekia 328 kW, o pagaminama šalčio galia – 794 kW. Esamos situacijos principinė schema pateikta priede Nr. 4. Kompresorinių šaldymo įrenginių privalumai:

1. izoterminiai šilumos mainai kondensatoriuje ir garintuve užtikrina minimalius termodinaminius nuostolius juose;

2. yra pakankamas natūralių ir dirbtinių (sintetinių) darbo agentų pasirinkimas, kurių savybės (adiabatės eksponentė artima vienetui, didelė savitoji garavimo šiluma, ekologiškumas) tinka šių transformatorių ciklams;
3. izoterminiai garavimo ir kondensacijos procesai sąlygoja mažą aprašomą kompresoriaus tūrį, t.y. jo gabaritus ir, tuo pačiu, efektyvų kompresoriaus darbą.

Kita galima alternatyva - kompresorinius šaldymo įrenginius pakeisti absorbciniais. Šiuo atveju, sumažėtų elektros energijos poreikiai ir nešildymo sezono metu būtų galima panaudoti pagaminamą susidariusią šilumą (trigeneracija).

Absorbcinių įrenginių veikimas pagrįstas antruoju termodinamikos dėsniu: norint perduoti šaltį iš aukštesnio temperatūrinio potencialo į žemesnį, reikia atlikti tam tikrą darbą. Šį darbą absorbcinio siurblio generatoriuje atlieka aukštų parametrų karštas vanduo (rekomenduojama palaikyti ne žemesnę nei 90 °C temperatūrą ir apie 10 bar slėgį), tiekiamas iš kogeneratorių. Generatoriuje kaitinamas pvz.: amoniako ir vandens mišinys. Siurbliu šis mišinys tiekiamas į generatorių. Slėgis pakeičiamas tiek, kad kondensuotųsi lakesnio komponento, arba šaldymo agento garai nuvedant šilumą į aplinką. Garai gaunami kaitinant mišinį – tai distiliavimo procesas (kartais net vykdoma rektifikacija). Sukondensuotas agentas droseliuojamas iki virimo slėgio ir taip gaunamas šaldymo procesas. Po to garas patenka į indą, kuriame susimaišo su nudroseliuotu skysčiu iš generatoriaus.

Šaldymo agento parametrai numatomi tokie patys - 7/12 °C. Paduodamo termofikacinio vandens minimalią temperatūrą patartina palaikyti 90 °C, norint užtikrinti ekonomišką šaldymo įrenginio veikimą. Šio tipo įrenginių naudingumo koeficientas siekia 50 %, todėl projektinė šiluminės energijos galia šalčiui gaminti turėtų būti 1,8 MW. Absorbcinių šaldymo įrenginių matmenys didesni nei kompresorinių, jų brėžinys pateikiamas priede Nr. 5.

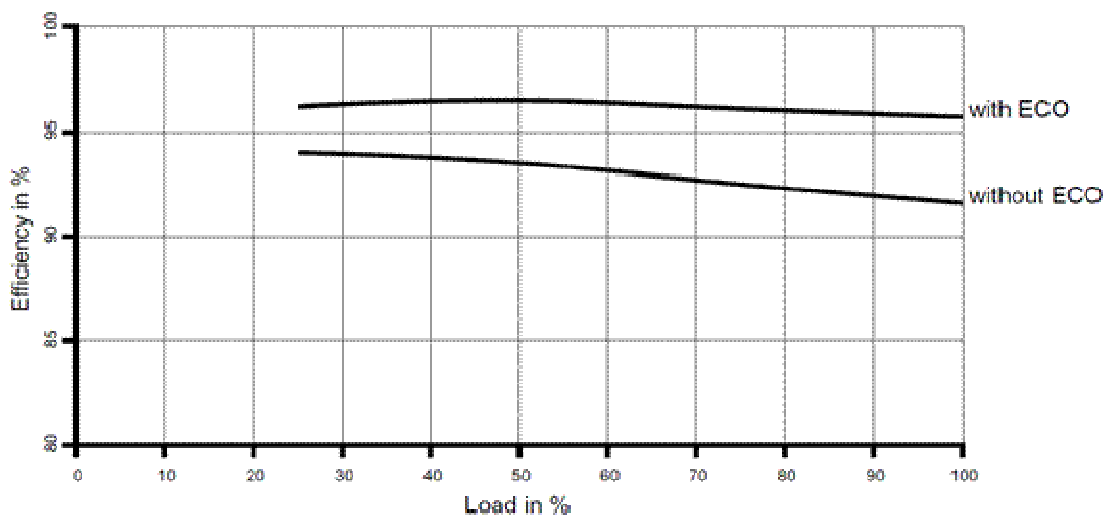
Siekiant išvengti papildomų išlaidų naujiems įrenginiams ir įrengimo darbams, numatoma palikti esamus kompresorinius šaldymo įrenginius.

2.3 Modeliavimo metodai

Pagal nustatytus Vilniaus oro uosto energijos poreikius, pasirenkami modeliavimo metodai tolimesnei analizei. Numatomos pagrindinės aprūpinimo energija technologinės alternatyvos:

- T.1 - patenkinti Vilniaus oro uosto maksimalius energijos poreikius, įrengiant du vidaus degimo variklius, kurių šiluminė galia siektų 1 MW ir 2 MW vandens šildymo katilą;
- T.2 - patenkinti Vilniaus oro uosto bazinius šiluminės energijos poreikius, o papildomą energiją, maksimalaus vartojimo metu, tiekti iš centralizuotų šilumos tinklų. Baziniai šilumos poreikiai tenkinami dviejų vidaus degimo variklių, kurių šiluminė galia siekia 1 MW, pagalba.

Vandens šildymo katilo pajėgumas maksimaliai gali būti sumažintas iki 25 %. Labiau mažinti katilo galios negalima, nes jo darbas taps neefektyvus. Katilo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos pateikta 2.9 pav. Vidaus degimo variklių maksimalus galios sumažinimas siekia 50 %, tuomet naudingumo koeficientas sumažėja apytiksliai 2 %. Dar didesnis galios mažinimas yra neekonomiškas, nes darbo režimas bus iškraipytas ir neefektyvus.



2.9 pav. Katilo naudingumo koeficiento kreivė

Pagal ekonomiškai priimtinas energijos gamybos įrenginių galios sumažinimus, apkrovų modeliavimas atliekamas vertinant galimas alternatyvas:

- G.1 – šildymo sezono metu gaminti energiją pagal savus poreikius, o nešildymo sezono metu dirbti maksimalia galia ir nepanaudotą šilumos energiją parduoti. Norint parduoti šilumos energiją, visą nurodytą laikotarpį turi būti galimybė tiekti techninėse sąlygose įvardintą šiluminę galią. Kitu atveju, UAB „Vilniaus energija“ gali skirti atitinkamas baudas arba nepasirašyti šilumos pirkimo sutarties. Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, šildymo sezono metu kogeneratorių apkrovos reguliuojamos pagal elektros energijos poreikius, trūkstamą šilumos energiją tiekia vandens šildymo katilas. Nešildymo sezono metu Vilniaus oro uosto šilumos poreikis yra nedidelis, todėl nusprendus parduoti šilumą, pastovi galima tiekti šiluminę galią siekia 3,7 MW. Įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius, šildymo sezono metu kogeneratorių darbas reguliuojamas pagal šilumos poreikius, o nešildymo sezono metu pastovi galima tiekti pardavimui šiluminę galią siekia 1,7 MW. Pagrindinis šios alternatyvos trūkumas yra tai, kad susidaro nemažas kiekis perteklinės elektros energijos.
- G.2 – visus metus gaminti energiją pagal savus poreikius. Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, visus metus kogeneratorių apkrovos reguliuojamos pagal elektros energijos poreikius, trūkstamą šilumos energiją tiekia vandens šildymo katilas. Įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius, šildymo sezono metu kogeneratorių darbas reguliuojamas pagal šilumos

poreikius, o nešildymo sezono metu pagal elektros energijos poreikius. Šiuo atveju perteklinė elektros energija susidaro tik įrengus 2 MW įrenginius.

- G.3 - šildymo sezono metu gaminti energiją pagal savus poreikius, o nešildymo sezono metu dirbti pagal reikalingą elektros galią ir nepanaudotą šilumos energiją parduoti. Šis atvejis nagrinėjamas tik įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, siekiant išvengti perteklinės elektros energijos gamybos. Pardavimui nešildymo sezono metu numatoma tiekti 2,6 MW šiluminės galios.

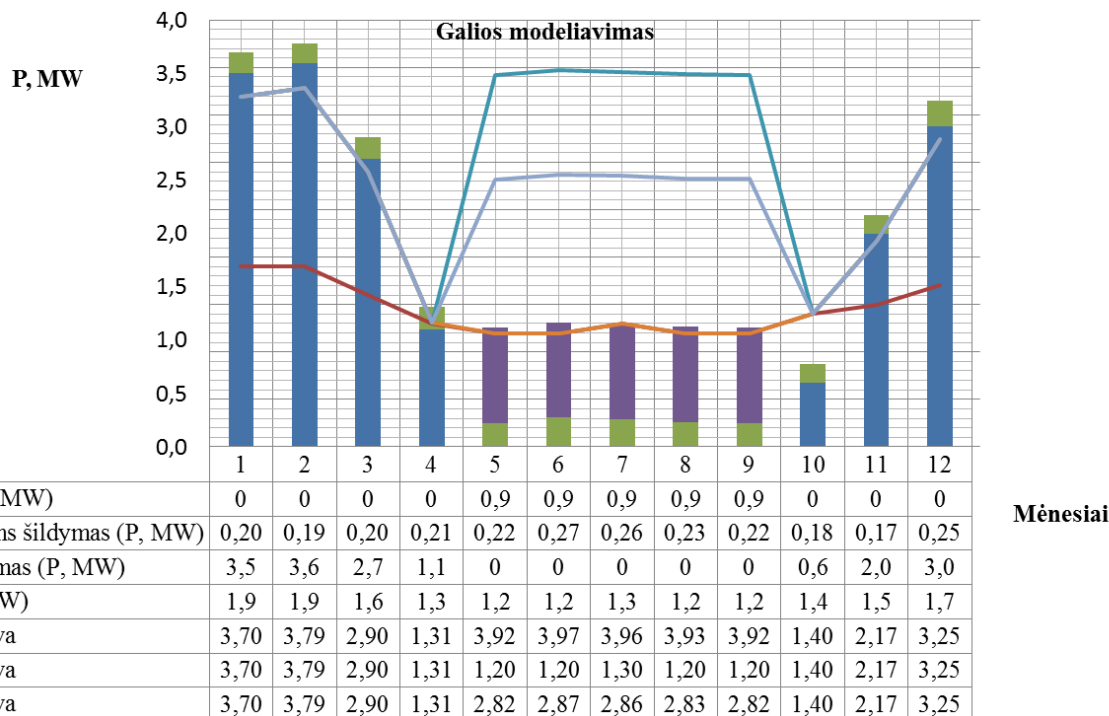
Šiluminės galios pasiskirstymas per metus pagal nurodytas alternatyvas, pateiktas 2.6 lentelėje. Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, jų pagaminamos energijos pilnai pakanka patenkinti visus vartotojų poreikius. Įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius, patenkinami tik baziniai Vilniaus oro uosto šilumos energijos poreikiai, o papildoma šiluma perkama iš centralizuotų šilumos tinklų. Apskaičiuotas šiluminės energijos balansas pateiktas 2.7 lentelėje. Visi pagaminami energijos kiekiai apskaičiuoti įvertinant šilumos gamybos įrenginių darbo stabdymą dėl remontų. Elektros poreikiai per metus savoms reikmėms siekia 11849 MWh.

2.6 lentelė. Šiluminės galios pasiskirstymas per metus

T.1	G.1	3,70	3,79	2,90	1,31	3,92	3,97	3,96	3,93	3,92	1,40	2,17	3,25
	G.2	3,70	3,79	2,90	1,31	1,20	1,20	1,30	1,20	1,20	1,40	2,17	3,25
	G.3	3,70	3,79	2,90	1,31	2,82	2,87	2,86	2,83	2,82	1,40	2,17	3,25
T.2	G.1	2,00	2,00	2,00	1,31	1,92	1,97	1,96	1,93	1,92	1,40	2,00	2,00
	G.2	2,00	2,00	2,00	1,31	1,20	1,20	1,30	1,20	1,20	1,40	2,00	2,00

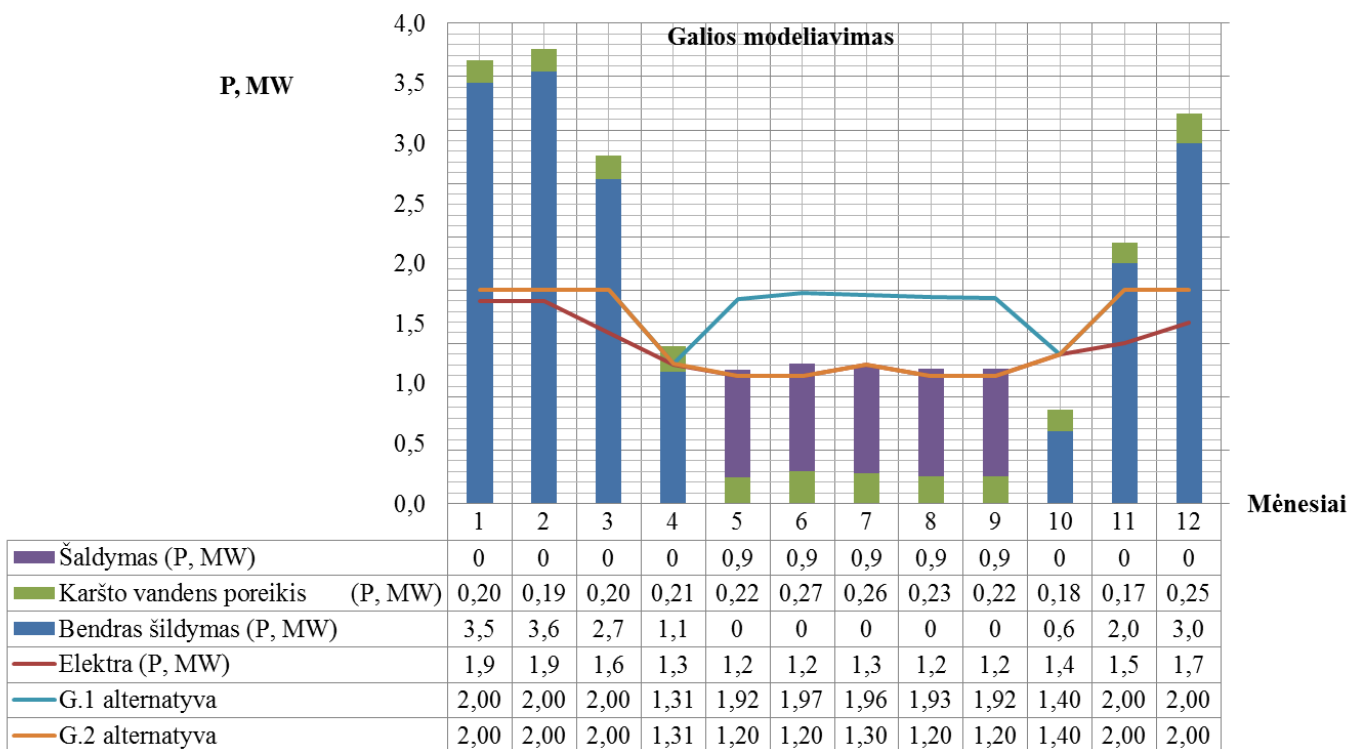
2.7 lentelė. Šiluminės energijos kiekių pasiskirstymas per metus

T.1 alternatyva			
G.1 alternatyva			
Pagaminama energija, MWh	Sunaudojama energija, MWh	Parduodama energija, MWh	Perkama energija, MWh
26051	12921	12698	0
G.2 alternatyva			
16716	12921	0	0
G.3 alternatyva			
22276	12921	8923	0
T.2 alternatyva			
G.1 alternatyva			
15281	12921	5834	3906
G.2 alternatyva			
12809	12921	0	3906



2.10 pav. Galios modeliavimas įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius

Remiantis UAB „Filter“ pateiktomis vidaus degimo variklių techninėmis specifikacijomis (priedai Nr. 6 ir 7), skaičiavimuose priimta, kad vidaus degimo varikliai pagamina vienodą kiekį tiek šilumos, tiek ir elektros energijos. Atsižvelgiant į šilumos gamybos įrenginių technines specifikacijas, priimta, kad vandens šildymo katilo minimali galima pasiekti galia yra 0,5 MW, o vidaus degimo variklių minimali šiluminė galia - 1 MW. Galimi eksploatacijos scenarijai pateikti 2.10 pav. ir 2.11 pav.



2.11 pav. Galios modeliavimas įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius

3 KOGENERACINĖS JĖGAINĖS DIEGIMO TECHNOLOGINIAI ASPEKTAI

3.1 Poveikio aplinkai vertinimas

Pagal planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymą [16], planuojamos jėgainės statyba gali daryti reikšmingą poveikį Europos ekologinio tinklo „Natura 2000“ teritorijoms. Buvo nustatyta, kad planuojamai ūkinei veiklai yra privaloma atlikti poveikio aplinkai vertinimo atranką, nors bendra kogeneracinės jėgainės galia ir nesiekia 20 MW. Apytikslės išlaidos atrankos (PAVa) atlikimui siektų 2000 Eur (be PVM) ir darbai truktų apytiksliai 4 mėnesius. Tuo atveju, jei būtų nuspręsta, kad poveikio aplinkai vertinimas (PAV) turi būti atliktas, bendros išlaidos išaugtų iki 5000 Eur (be PVM) ir trukmė siektų nuo 6 iki 12 mėnesių. Prognozuojama, kad poveikio aplinkai vertinimo atlikti nereikės.

Pagal nustatytas vienkartinės didžiausias leistinas toksogeno koncentracijas [11] gamtines dujas naudojančiam katilui (3.2 lentelė), apskaičiuoti išmetimai ir parinktas kamino aukštis:

3.1 lentelė. Gamtinių dujų sandara [11]

CH ₄ ^s	C ₂ H ₆ ^s	C ₃ H ₈ ^s	C ₄ H ₁₀ ^s	O ₂ ^s	N ₂ ^s	CO ₂ ^s		Q _ž ⁿ kJ/m ³
89,9	3,1	0,9	0,4	0,2	5,2	0,3		35410

Teorinis degimui reikalingas oro kiekis prie normalių sąlygų [10]:

$$V_o^t = 0,0476 \left[\sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n^s - O_2^s \right] = 9,4 \left(\frac{nm^3}{nm^3} \right); \quad (3.1)$$

Triatomų dujų tūris sudegus 1 m³ gamtinių dujų:

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (CO_2^s + CO^s + \sum m C_m H_n^s) = 1,1 \left(\frac{nm^3}{nm^3} \right); \quad (3.2)$$

Azoto tūris dūmuose:

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot V_o^t + 0,01 N_2^s = 9,71 \left(\frac{nm^3}{nm^3} \right); \quad (3.3)$$

čia α - oro pertekliaus koeficientas, nagrinėjamu atveju – 1,3;

Vandens garo kiekis:

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(H^s_{2} + \sum \frac{n}{2} C_m H_n^s + 0,124 \cdot d_d + 0,0161 \alpha V_o^t \right) = 1,95 \left(\frac{nm^3}{nm^3} \right); \quad (3.4)$$

čia d_d - teorinis drėgmės kiekis kure, gamtinėse dujose – 0,000157 g/m³ [11];

Bendras dūmų tūris:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2} + (\alpha - 1)V_o^t + V_{H_2O} = 15,48 \left(\frac{nm^3}{nm^3} \right); \quad (3.5)$$

Kuro suvartojimas, esant 4 MW šiluminės galios įrenginiams:

$$B_{4MW} = \frac{Q_{kat}}{Q_z^n \cdot \eta} = 741 m^3 / h = 0,2 m^3 / s; \quad (3.6)$$

Kuro suvartojimas, esant 2 MW šiluminės galios įrenginiams:

$$B_{2MW} = \frac{Q_{kat}}{Q_z^n \cdot \eta} = 529 m^3 / h = 0,15 m^3 / s; \quad (3.7)$$

Tikrasis dūmų tūris, išeinantis iš katilų:

$$V_R^1 = \frac{T_1 \cdot V_d}{T_2} = 22,17 \left(\frac{m^3}{m^3} \right); \quad (3.8)$$

čia:

T_1 - iš katilo išeinančių dūmų vidutinė temperatūra, 391 K;

T_2 - aplinkos oro temperatūra, priimama 273 K;

$$V_{4MW} = V_R^1 \cdot B_{4MW} = 4,43 \left(\frac{m^3}{m^3} \right); \quad (3.9)$$

$$V_{2MW} = 3,33 \left(\frac{m^3}{m^3} \right); \quad (3.10)$$

Deginant gamtines dujas iš galimų toksogenų susidaro tik azoto oksidai bei anglies monoksidas. Lokieji pelenai, sieros dioksidas bei vanadžio pentoksidas nesusidaro. Azoto oksidų kiekis dūmuose:

$$M^{4MW}_{NO_x} = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot K_{4MW} \cdot B_{4MW} \cdot Q_z^n \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \varepsilon_1 \cdot r) \cdot \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 = 0,78 g / s ; \quad (3.11)$$

$$M^{2MW}_{NO_x} = 0,4 g / s ; \quad (3.12)$$

čia K - koeficientas, apibūdinantis susidarančių azoto oksidų kiekį, tenkantį 1 t sutartinio kuro, kg/t. Kai katilo našumas $D = 30-70$ t/h, koeficientas K apskaičiuojamas pagal formulę:

$$K_{4MW} = \frac{D}{20} = 6,88 ; \quad (3.13)$$

$$K_{2MW} = 4,76 ; \quad (3.14)$$

čia:

β_1 - koeficientas, įvertinantis azoto kiekį kure, dujiniam kurui $\beta_1 = 0,9$;

β_2 - degiklių konstrukciją įvertinantis koeficientas, priimame $\beta_2 = 0,85$;

β_3 - šlako pašalinimo būdą įvertinantis koeficientas, priimame $\beta_3 = 1$;

ε_1 - koeficientas, įvertinantis recirkuliuojamų dūmų poveikį azoto oksidų susidarymui, priklausomai nuo jų tiekimo vietos, priimame $\varepsilon_1 = 0,03$;

ε_2 - koeficientas, įvertinantis azoto oksidų susidarymo sumažėjimą tiekiant dalį oro ne per degiklius, priimame $\varepsilon_2 = 0,62$;

r - recirkuliuojamų dūmų dalis nuo išmetamų dūmų tūrio, priimame $r = 0,2$

Kadangi projektuojamoje jėgainėje oro pertekliaus koeficientas aukštas ($\alpha=1,3$) anglies monoksidas nesusidaro. Žinant išeinančių dūmų bei išsiskyrusių toksinių medžiagų kiekį, apskaičiuojami priverstinės traukos kamino parametrai. Minimalus katilo aukštis apskaičiuojamas kiekvienam toksogenui atskirai:

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{A \cdot M_x \cdot F \cdot m \cdot n}{DLK \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}} ; \quad (3.15)$$

čia:

A - koeficientas, priklausantis nuo atmosferos temperatūrinės stratifikacijos ir apibūdinantis toksogenų išsisklaidymą atmosferos ore vertikalia ir horizontalia kryptimis, kai meteorologinės sąlygos tam nepalankios. Lietuvoje $A = 160$;

M_x - į atmosferą išmetamo toksogeno kiekis prieš kaminą;

F - nedimensinis koeficientas, įvertinantis toksogenų nusėdimo atmosferos ore greitį: dujiniams toksogenams (SO_2 , NO_x , CO ir V_2O_5) $F = 1$, dulkėms ir pelenams $F = 2$;

m ir n - nedimensiniai koeficientai, priklausantys nuo dūmų išmetimo iš kamino žiočių sąlygų. Šiame skaičiavime priimama: $m = n = 1$;

DLK - vienkartinė didžiausia leistina toksogeno koncentracija pateikta 3.2 lentelėje;

ΔT - iš katilo išmetamų vidutinės dūmų temperatūros t_{is}^d (118°C) ir aplinkos oro temperatūros t_o [7] skirtumas. Aplinkos oro temperatūra t_o pasirenkama pagal šalčiausio metų mėnesio 13 h vidutinę temperatūrą, Vilniuje – 27°C [7].

3.2 lentelė. DLK - vienkartinė didžiausia leistina toksogeno koncentracija [11]

Toksogenas	DLK, mg/m^3
Kietosios dalelės P	0,05
Sieros dioksidas SO_2	0,5
Azoto oksidai NO_x	0,085
Anglies monoksidas CO	5
Vanadžio pentoksidas V_2O_5	0,001

$$H_{\min 4MW}^{NO_x} = 14,06m ; \quad (3.16)$$

$$H_{\min 2MW}^{NO_x} = 10,63m ; \quad (3.17)$$

Kamino žiočių skersmuo:

$$D^{4MW}_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{4MW}}{\pi \cdot w_0}} = 0,97m ; \quad (3.18)$$

$$D^{2MW}_0 = 0,84m \quad (3.19)$$

čia w_0 - dūmų greitis parinktas pagal kamino aukštį [11];

Priimami standartiniai kamino matmenys: $H_{4MW} = 15\text{ m}$, $D^{4MW}_0 = 1\text{ m}$ ir $H_{2MW} = 15\text{ m}$, $D^{2MW}_0 = 0,9\text{ m}$. Dūmų greitis kanale apskaičiuojamas:

$$w^{4MW}_0 = \frac{4 \cdot V_{4MW}}{\pi \cdot D^{4MW}_o} = 5,65 m/s; \quad (3.20)$$

$$w^{2MW}_0 = 5,23 m/s; \quad (3.21)$$

Kamino tinkamumas patikrinamas pagal Richterio kriterijų vasaros laikotarpiu:

$$R_{4MW} = \frac{(\lambda + 8 \cdot i) \cdot h^{4MW}_o}{(\rho_o - \rho_d) \cdot D^{4MW}_o} = 5,28; \quad (3.22)$$

$$R_{2MW} = 5,03; \quad (3.23)$$

čia:

λ - trinties pasipriešinimo koeficientas, mūriui ar gelžbetoniui pasirenkamas 0,03-0,05 [11];

i – kamino viršutinės dalies vidinės sienelės nuolydis. Gelžbetoniniams kaminams: 0,01 – 0,015;

ρ_o - aplinkos oro tankis, esant 27 °C temperatūrai: 1,218 kg/m³;

ρ_d - dujų tankis prie 118 °C temperatūros: 0,914 kg/m³;

h_o – dūmų dinaminis slėgis kamino žiotyse (Pa), apskaičiuojamas:

$$h^{4MW}_0 = \frac{w^{4MW}_0^2}{2} \rho_d = 14,58 Pa; \quad (3.24)$$

$$h^{2MW}_0 = 12,5 Pa; \quad (3.25)$$

Kadangi apskaičiuotas Richterio kriterijus abiem atvejais netenkina sąlygos $R < 1$ ir neatitinka taršos reikalavimų vasaros laikotarpiu, parenkami kaminai didesniu diametru ir dar kartą patikrinami skaičiavimais:

- kai $D^{4MW}_o = 1,4 m$, $R_{4MW} = 0,98$;
- kai $D^{2MW}_o = 1,3 m$, $R_{2MW} = 0,8$;

Metiniai taršos mokesčiai, kuriuos energetinis objektas turės sumokėti, neviršijus normatyvo (DLT) apskaičiuojami atsižvelgiant į mokesčių tarifus, pateiktus 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Pagrindinis tarifas toksogenams [17]

Teršalas	Mokesčio tarifas T , Eur/t	Tarifų koeficientai b
Kietosios dalelės p	61	1,5
Sieros dioksidas SO_2	104	1,5
Azoto oksidai NO_x	196	1,5
Anglies monoksidas CO	21,43	1,5
Vanadžio pentoksidas V_2O_5	3855	300

Į atmosferą išmetamų teršalų kiekis per metus:

$$M^{4MW}_{NO_x}{}^{met} = 0,6 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot \frac{365}{10^6} = 24,49 \text{ t/metus}; \quad (3.26)$$

$$M^{2MW}_{NO_x}{}^{met} = 12,72 \text{ t/metus}; \quad (3.27)$$

Metiniai mokesčiai:

$$M^{4MW}_{mok}{}^X = M^{4MW}_{NO_x}{}^{met} \cdot T \cdot b = 7200,06 \text{ Eur/metus}; \quad (3.28)$$

$$M^{2MW}_{mok}{}^X = 3739,68 \text{ Eur/metus}; \quad (3.29)$$

Siekiant kuo mažiau paveikti aplinką jėgainės statybos metu, planuojama imtis atitinkamų apsaugos priemonių. Teritorijoje nuimtas dirvožemio sluoksnis bus laikinai sandėliuojamas tam numatytose vietose vėlesniam panaudojimui arba išvežamas. Objekto statybos bei eksploatacijos metu dirvožemis nepažeidžiamas, neteršiamas. Fizikinių ir biologinių teršalų susidarymo nebus.

Statybos darbų atlikimo metu teritorija bus nuolatos valoma, kad pravažiuojantis sunkiasvoris transportas sukeltų kuo mažiau dulkių. Prieš transporto priemonėms išvažiuojant iš statybos aikštelės į miesto gatves, bus nuvalomos prie ratų prilipusios žemės ir purvas. Tuo atveju, jei transportas užterš gatvę, nedelsiant bus vykdomi gatvės dangos valymo darbai. Iš statybos aikštelės išvežamos dulkančias atliekos, turės būti uždengtos.

3.2 Optimali teritorija

Naujos kogeneracinės jėgainės statybos galimybės Lietuvos oro uostų Vilniaus filiale įvertinamos remiantis parengtų ir patvirtintų, arba rengiamų teritorijų planavimo dokumentų sprendiniais. Tokiu būdu parenkamos pagrindinės teritorinės alternatyvos. Atsižvelgiama į jėgainės statybos urbanistinius rodiklius:

1. minimalūs katilinės matmenys turėtų būti: 12x15x7 m;

2. apskaičiuotas minimalus dūmtraukio aukštis - 15 m;
3. mažiausias reikalingo sklypo plotas, neskaitant privažiavimo kelių, turėtų siekti 5,5 a.

Taip pat turi būti atsižvelgta į mažiausių leistinų atstumų išlaikymą nuo gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų bei kitų inžinerinių tinklų. Katilinės padėtis įvertinama daugiaaukščių pastatų atžvilgiu ir vyraujančių vėjų krypties požiūriu. Jei dėl jėgainės veiklos susikondensuojantys garai pasiektų ir apgaubtų skrydžių valdymo bokšto (maždaug 30 metrų aukščio) viršūnėje esančią darbo patalpą, tai dėl riboto matomumo ir galimo oro teršalų patekimo į skrydžių valdymo patalpos vidų, būtų sutrikdytas paslaugų teikimas. Dėl šios priežasties tikslinga planuojamo objekto statybos vietą parinkti kuo toliau nuo skrydžių valdymo bokšto.

Įvertinus visus kriterijus, numatytos ir išnagrinėtos keturios preliminarios jėgainės statybos vietos (priedas Nr. 1). Jos patenka į centralizuoto šilumos tiekimo zoną:

1. A1 – pastatas, Rodūnios kelias 6B;
2. A2 – esama mašinų aikštelė prie pastato Rodūnios kelias 6B;
3. A3 – esama mašinų aikštelė prie pastato Rodūnios kelias 3;
4. A4 – esama mašinų aikštelė prie pastato Rodūnios kelias 10A.

A1 alternatyvos galimas naudoti statyboms plotas siekia 3,8 a. Atstumas iki skrydžių valdymo bokšto – 142 metrai. Numatyti preliminarūs atstumai iki prisijungimo prie inžinerinių tinklų:

- elektros transformatorinė įrengta pastate;
- lietaus nuotekos – 22,53 m;
- vandentiekio įvadas įrengtas pastate;
- du nuotekų kanalizacijos įvadai įrengti pastate;
- šilumos tinklų įvadas įrengtas pastate;
- telekomunikacijų ryšių įvadas įrengtas pastate;
- prisijungimas prie dujotiekio oro uosto zonos ribose yra nutolęs dideliu atstumu. Strategiškai patogesnė prisijungimo vieta yra už nuosavybės ribų. Atstumas iki jos siekia ~ 625 m.

Pagrindinis šios alternatyvos pliusas yra tai, kad ji numatoma jau esamame pastate, kuriame įrengti prisijungimai prie inžinerinių tinklų. Kadangi šiame pastate įrengta transformatorinė, galimi didesni saugumo reikalavimai. Pagrindinis šios teritorijos trūkumas – ribotas statybos plotas.

A2 alternatyvos galimas naudoti statyboms plotas siekia 8 a. Atstumas iki skrydžių valdymo bokšto – 159 metrai. Numatyti preliminarūs atstumai iki prisijungimo prie inžinerinių tinklų:

- elektros pastotė – 2 m;
- lietaus nuotekos – 45 m;
- vandentiekis – 3 m;
- nuotekų kanalizacija – 2 m;
- šilumos tinklai – 17 m;

- kertami du telekomunikacijų kabeliai;
- prisijungimas prie dujotiekio oro uosto zonos ribose yra nutolęs dideliu atstumu. Strategiškai patogesnė prisijungimo vieta yra už nuosavybės ribų. Atstumas iki jos siekia ~ 600 m.

Šioje teritorijoje prisijungimas prie inžinerinių tinklų yra nesudėtingas, maži atstumai iki šiluminių kamerų. Didžiausias trūkumas - komplikuotas reikalaujamų atstumų išlaikymas iki pastatų ir vandentiekio trasos. Pasirinkus šią teritoriją, turės būti išardoma naudojama mašinų aikštelė.

A3 alternatyvos galimas naudoti statyboms plotas siekia 9 a. Atstumas iki skrydžių valdymo bokšto – 228 metrai. Numatyti preliminarūs atstumai iki prisijungimo prie inžinerinių tinklų:

- elektros pastotė – 102 m;
- lietaus nuotekos – 434 m;
- vandentiekis – 24 m;
- nuotekų kanalizacija – 47 m;
- šilumos tinklai – 15 m;
- telekomunikacijos – 15 m;
- prisijungimas prie dujotiekio oro uosto zonos ribose yra nutolęs dideliu atstumu. Strategiškai patogesnė prisijungimo vieta yra už nuosavybės ribų. Atstumas iki jos siekia ~ 520 m.

Ši teritorija yra labiausiai nutolusi nuo aerodromo kilimo ir tūpimo tako. Taip pat ji yra prieš Vilniaus oro uosto apskaitos skaitliuką, t.y. ties riba, skiriančia Vilniaus oro uosto ir Vilniaus energijos šilumos tinklų nuosavybę. Tačiau šiuo atveju taip pat turės būti išardoma naudojama mašinų aikštelė.

A4 alternatyvos galimas naudoti statyboms plotas siekia 32 a. Atstumas iki skrydžių valdymo bokšto – 182 metrai. Numatyti preliminarūs atstumai iki prisijungimo prie inžinerinių tinklų:

- elektros pastotė – 91 m;
- lietaus nuotekos – 13 m;
- vandentiekis – 46 m;
- nuotekų kanalizacija – 14 m;
- šilumos tinklai – 22 m;
- telekomunikacijos – 23 m;
- prisijungimas prie dujotiekio oro uosto zonos ribose yra nutolęs dideliu atstumu. Strategiškai patogesnė prisijungimo vieta yra už nuosavybės ribų. Atstumas iki jos siekia ~ 600 m.

Pagrindinis šios teritorijos plusas yra didelis galimas naudoti statyboms plotas. Šiuo atveju taip pat būtų išardoma naudojama mašinų aikštelė, kurioje vyksta intensyvus eismas.

Atliekant kogeneracinės jėgainės Vilniaus mieste teritorinių alternatyvų lyginamąją multikriterinę analizę vertinimo metodologija suformuota vadovaujantis tvaraus vystymosi principais. Kiekvienas iš veiksnių laikytinas lygiaverčiu ir vienodai svarbiu, t.y. skaitine verte lyginamasis kiekvie-

no veiksnio „svoris” yra lygus. Nėra absoliutaus ir neginčijamo metodo veiksmų aspektų tarpusavio santykiui, t.y. kiekvieno jų santykiniam „svoriui“ likusių aspektų atžvilgiu, apibrėžti.

Vertinimo principas yra toks, kad 5 balai yra neutralus vertinimas, t.y. kriterijus reikšmingai neįtakoja analizuojamos alternatyvos. 10 balų – teigiamai įtakoja, 0 balų – neigiamai įtakoja. Teritorinių alternatyvų ir jas veikiančių veiksmų matrica sudaryta remiantis pagrindiniais teritorinių alternatyvų analizės kriterijais. Gauti rezultatai susumuojami, taip gaunant bendrą balų skaičių kiekvienai iš teritorinių alternatyvų, žiūr. 3.4 lentelė.

3.4 lentelė. Teritorinių alternatyvų ir jas veikiančių veiksmų matrica

Kriterijus	A1	A2	A3	A4
1. Žemės sklypo nuosavybės forma	5	5	5	5
2. Bendrojo plano sprendiniai	3	3	3	3
3. Specialiosios žemės naudojimo sąlygos	4	5	6	4
4. Prisijungimas prie inžinerinių tinklų	10	9	8	7
5. Strategiškai patogi vieta parduodamos šiluminės energijos kiekio registravimui	8	9	10	6
6. VĮ „Oro navigacija“ rekomendacijos	5	6	7	8
7. Valstybės saugomų teritorijų įvertinimas	5	5	5	5
8. Teritorijos plotas	4	6	7	8
9. Galimas visuomenės pritarimas	6	7	8	4
Viso:	50	55	59	50

Atlikus multikriterinį vertinimą, nustatytos prioritetingos teritorijos A2 bei A3. Toks rezultatas gautas dėl geresnės strateginės padėties šilumos tiekimui, patogesnio prisijungimo prie esamų inžinerinių tinklų. Pagal VĮ „Oro navigacija“ rekomendacijas (priedas Nr. 10) jėgainės statyba A1 ir A2 teritorijose yra mažiau priimtina dėl esamų įmonės požeminių ryšio komunikacijų. Organizuojant statybas šiose teritorijose, turėtų būti parengtas ryšio komunikacijų iškėlimo projektas. Atsižvelgiant į šias rekomendacijas, siūloma jėgainės statyboms teritorija – A3. Ši teritorija yra esamoje mašinų stovėjimo aikštelės vietoje. Privažiavimas iki jos išasfaltuotas, todėl papildomų kelių tiesti nereikės.

3.3 Technologinių variantų detalizavimas

Atsižvelgiant į priimtas šilumos gamybos technologines alternatyvas, galimi keli prisijungimo prie šilumos tinklų variantai. Visais nagrinėjama atvejais Lietuvos oro uostų Vilniaus filialas liks prisijungęs prie centralizuotų šilumos tinklų ir mokės už leistinosios naudoti galios užtikrinimą.

Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, jų pakaktų norint užtikrinti net ir maksimalius oro uosto šilumos poreikius. Centralizuotais šilumos tinklais tiekama šiluma būtų naudojama avarių

atveju, kai katilų darbas būtų sutrikdytas. Šiuo atveju turėtų būti išspręstas klausimas dėl nenaudojamų UAB „Vilniaus energija“ vamzdžių, kadangi žiemą jie gali užšalti. Kaip galimi sprendimo variantai galėtų būti papildomas vamzdžių izoliacijos sluoksnio padidinimas, priverstinės cirkuliacijos įrengimas ar kt.

Jėgainėje pagaminta šiluma termofikaciniam vandeniui bus perduodama per šilumokaičius (3.1 pav.). Termofikacinio vandens siurblių darbas bus reguliuojamas pagal termofikacinio vandens slėgį tiekimo linijoje prieš prisijungimą prie esamų šilumos tinklų. Jėgainėje bus įrengiamas trieigis sumaišymo vožtuvas su elektrine pavara, kurio darbas reguliuojamas pagal lauko oro temperatūrą ir tiekiamo termofikacinio vandens temperatūrą.

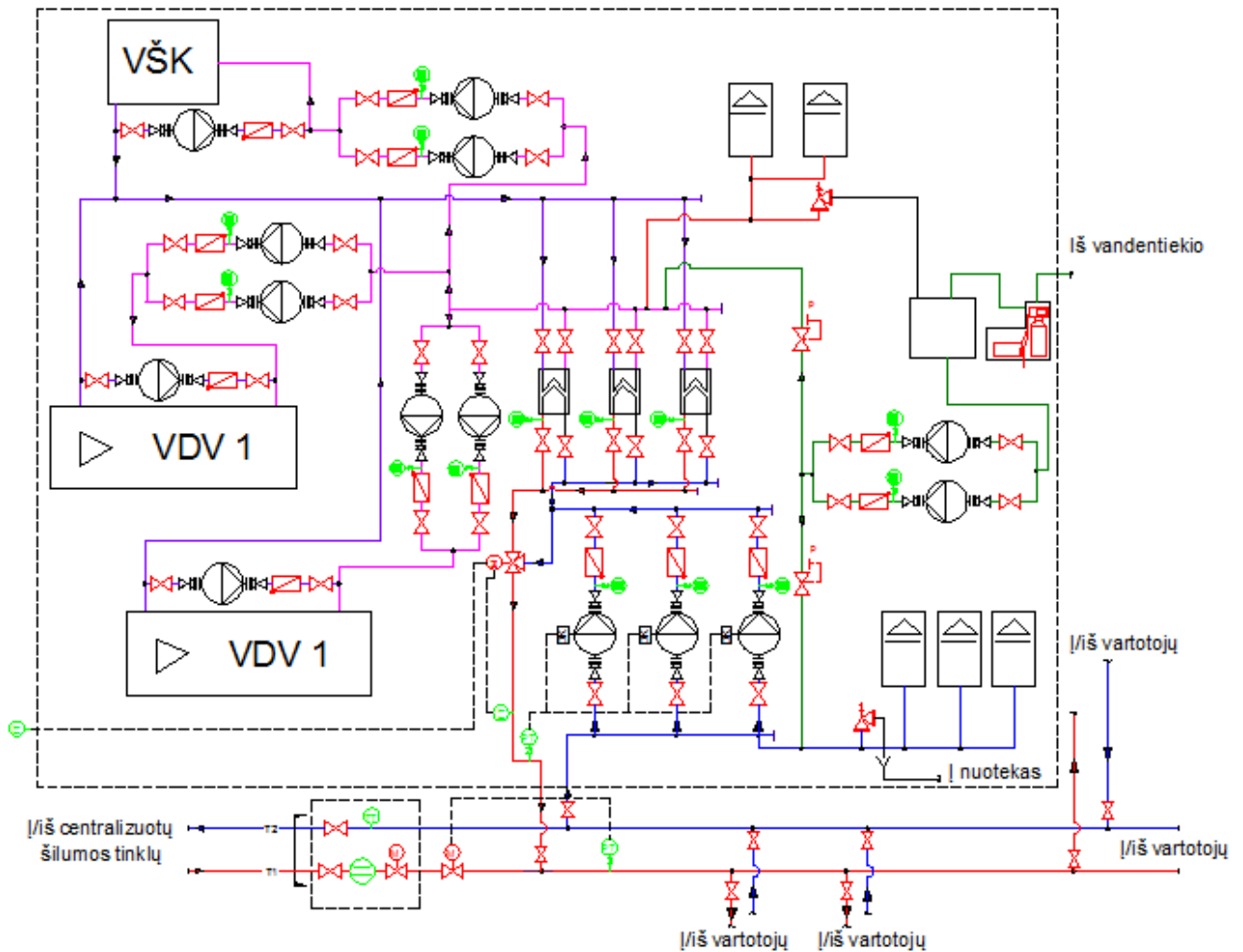
Prieš prisijungimą prie šilumos tinklų, termofikacinio vandens tiekimo vamzdyje įrengiamas dviejų eigių reguliavimo vožtuvas. Jis bus atidaromas tik tuomet, kai už prisijungimo vietos esantis slėgio jutiklis informuos apie nukritusį slėgį, t.y. tuomet, kai įvykus avarijai ar dėl remonto darbų išjungus įrenginius, tiekiamos energijos kiekis bus nepakankamas. Taip pat turės būti įrengtas papildomo vandens valymo kontūras, papildantis katilų ir termofikacinio vandens kontūrą. Karštas vanduo ruošiamas atskirai, atitinkamų pastatų šilumos mazge. Jei dalis šilumos energijos bus perduodama UAB „Vilniaus energija“, turės būti įrengtas apskaitos apėjimas ir papildomas perduodamo termofikacinio vandens debitomatis.

Jei bus įrengti tik 2 MW šiluminės galios įrenginiai, bus patenkinami tik baziniai Vilniaus oro uosto šilumos energijos poreikiai, papildoma šilumos energija bus perkama iš centralizuotų šilumos tinklų ir nebebus vamzdynų užšalimo pavojaus žiemą. Šis atvejis, skiriasi tik tuo, kad papildyti reikės tik katilų kontūrą. Termofikacinio vandens kontūro pildyti nereikės, kadangi vanduo bus tiekiamas iš centralizuotų šilumos tinklų (3.2 pav.).

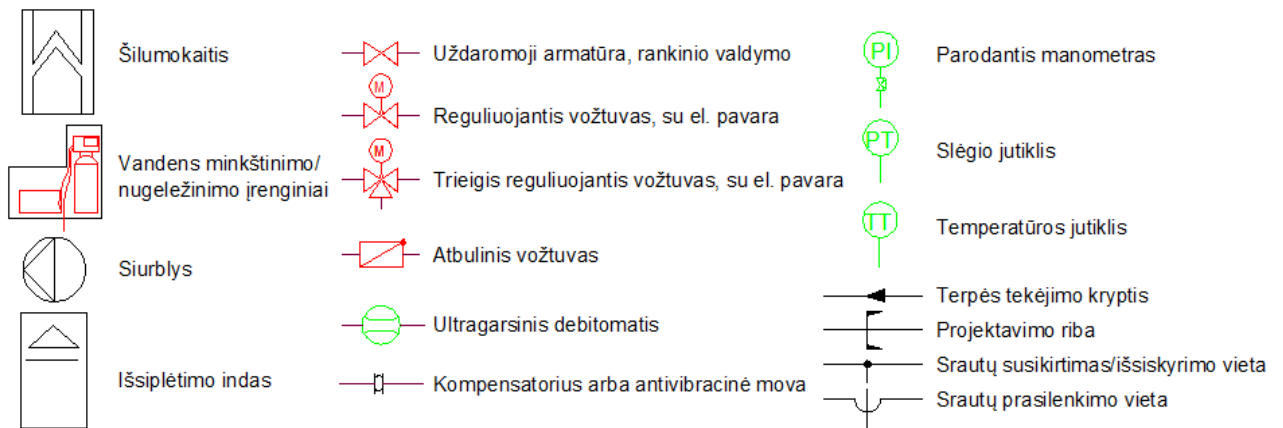
UAB „Vilniaus energija“ išdavė šilumos tiekimo technines sąlygas šilumos gamybai savoms reikmėms ir pardavimui. Šios sąlygos pateiktos priede Nr. 11. Numatytas darbinis slėgis prisijungimo taške pateiktas 3.5 lentelėje. Nurodytas minimalus skaičiuotinas termofikacinio vandens debitas – 5,87 m³/h, o maksimalus – 89,7 m³/h. Šildymo sezono temperatūrinis grafikas pateiktas 3.6 lentelėje.

Techninėse sąlygose nurodyta, jog Vilniaus oro uostas norėdamas tapti nepriklausomu šilumos gamintoju, privalo savo lėšomis suprojektuoti ir pastatyti:

1. šilumos tiekimo tinklus nuo būsimos jėgainės iki prisijungimo taško (ŠK07107-40);
2. šilumokaitinę (3.3 pav.) tam skirtose patalpose, pirkimo-pardavimo riboje;
3. plokštelinį šilumokaitį, atitinkantį projektinius šilumos tinklo parametrus;
4. šilumos apskaitos mazgą pirkimo-pardavimo riboje;
5. slėgio pakėlimo siurblinę su reikiama įranga tarp ŠK92421 ir ŠK92419.

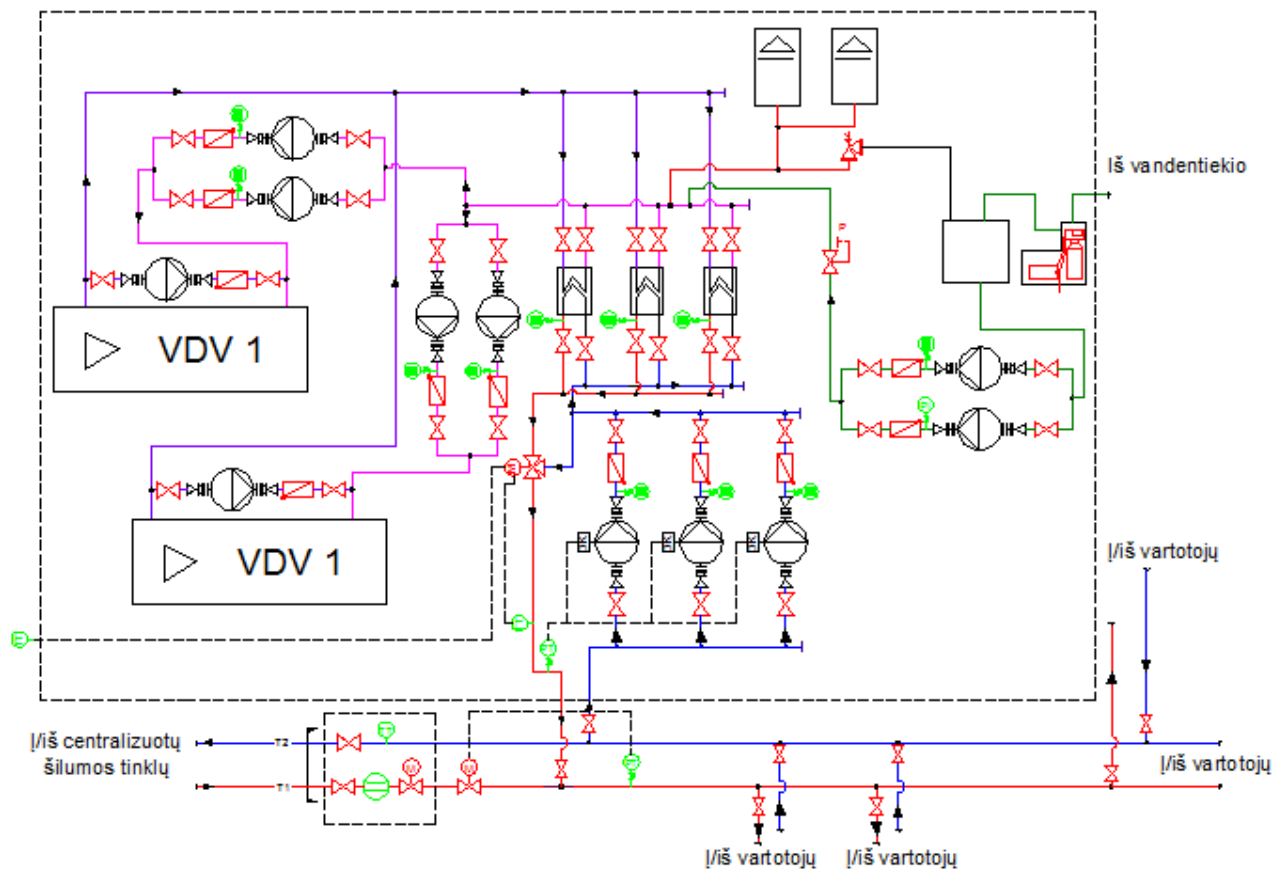


Sutartiniai žymėjimai



3.1 pav. Technologinė schema, kai įrenginių šiluminė galia – 4 MW

Jei šilumos energija bus gaminama tik savoms reikmėms, reikės prašyti naujų techninių prisijungimo prie šilumos tinklų sąlygų. Tokiu atveju sąlygos taps žymiai paprastesnės. Prisijungimas prie šilumos tiekimo tinklo galės būti numatytas arčiausiai prie jėgainės (priklausomai nuo pasirinktos teritorinės alternatyvos) esančioje šiluminėje kameroje. Nereikės įrengti šilumokaitinės ir pakėlimo siurblinės, kas sumažins pradines investicijas.



3.2 pav. Technologinė schema, kai įrenginių šiluminė galia – 2 MW

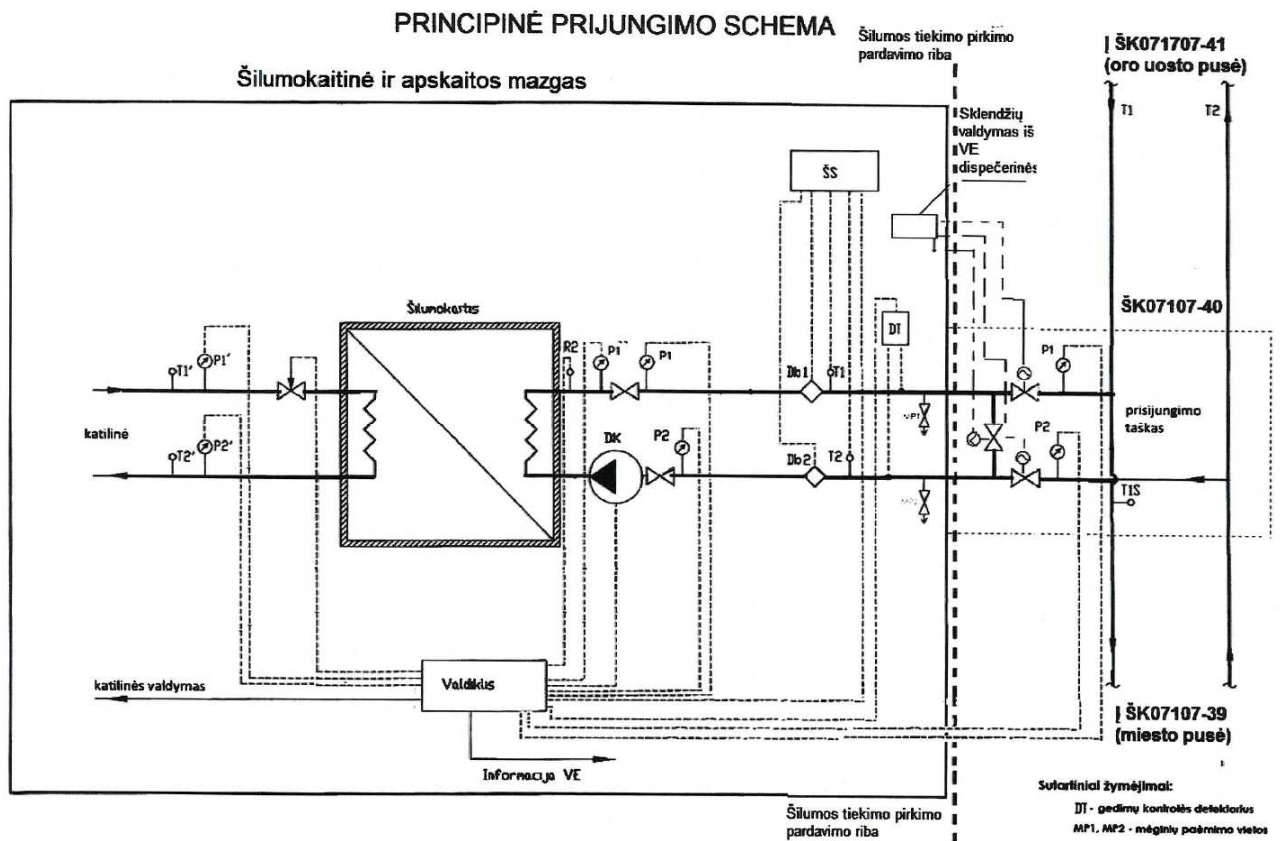
3.5 lentelė. Darbinis slėgis

Kriterijus	Šildymo sezono metu	Nešildymo sezono metu	Leistinas nuokrypis
Slėgis paduodamoje linijoje prijungimo taške, MPa	0,39÷0,47	0,21÷0,36	±0,05
Slėgis grįžtamoje linijoje prijungimo taške, MPa	0,20÷0,25	0,14÷0,18	±0,05
Slėgių skirtumas, MPa	0,19÷0,22	0,07÷0,18	±0,1

3.6 lentelė. Šildymo sezono temperatūrinis grafikas

Lauko oro temperatūra, °C	Termofikacinio vandens paros vidutinė		Lauko oro temperatūra, °C	Termofikacinio vandens paros vidutinė	
	Tiekiamą temperatūrą	Grįžtama temperatūra		Tiekiamą temperatūrą	Grįžtama temperatūra
10	72	37	-8	93	50
9	72	37	-9	93	51
8	72	37	-10	99	52
7	72	38	-11	99	54
6	72	38	-12	99	55
5	72	38	-13	99	55
4	72	39	-14	109	55

Lauko oro temperatūra, °C	Termofikacinio vandens paros vidutinė		Lauko oro temperatūra, °C	Termofikacinio vandens paros vidutinė	
	Tiekiamą temperatūrą	Grįžtama temperatūra		Tiekiamą temperatūrą	Grįžtama temperatūra
3	72	39	-15	109	55
2	72	40	-16	115	56
1	77	41	-17	115	56
0	77	42	-18	115	57
-1	77	43	-19	115	57
-2	82	44	-20	115	58
-3	82	45	-21	115	58
-4	82	46	-22	115	58
-5	92	47	-23	115	59
-6	93	48	-24	115	60
-7	93	49	-25	115	60



3.3 pav. Principinė šilumokaitinės schema

Pagaminta elektros energija planuojamoje statyti kogeneracinėje jėgainėje, bus tiekama į abonentinį skirstomąjį punktą (CSP-80). Elektros tinklų nuosavybės riba pateikta priede Nr. 9. Vilniaus oro uostas turės suprojektuoti papildomus, vienos krypties elektros energijos skaitiklius ant elektrinės prijungimo gnybtų vidaus skirstykloje CSP-80, bei suprojektuoti ir įrengti automatizuotą duomenų iš elektros energijos skaitiklių nuskaitymo įrangą. Elektros energijos skaitiklius pateikia AB „ESO“. 1 MW elektros energijos planuojama tiekti į rezervinę šeštąją sekciją ir dar 1 MW - į penkioliktąją (3.4 pav.). Visuose elektros skirstyklos narveliuose įrengta relinė apsauga. Įranga turės

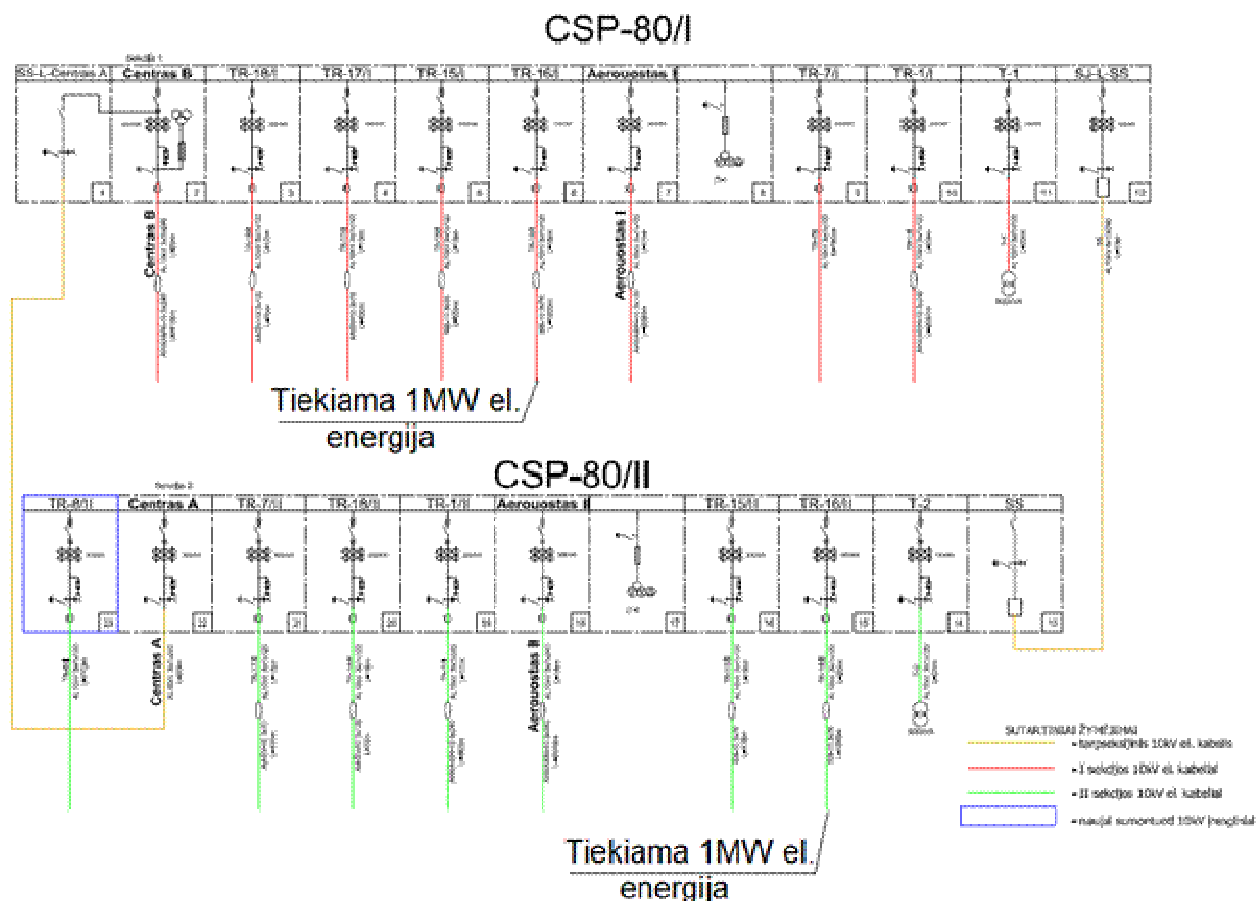
būti suderinta darbui su šiuo metu veikiančia AB „ESO“ automatizuota elektros energijos apskaitos sistema (AEEAS) ir atitikti AB „ESO“ techninius reikalavimus.

Išankstinės AB „ESO“ sąlygos pateiktos priede Nr. 12. Jose pateikti reikalavimai elektros gamybai tik savoms reikmėms bei elektros gamybai savoms reikmėms ir pardavimui. Nurodyta leistinoji naudoti galia siekia 4932 kW, o leistinoji generuoti į tinklą galia – 1550 kW (generatoriaus įtampa – 10 kV).

Norint parduoti perteklinę elektros energiją, visuose įvaduose (AB „ESO“ elektros tinklo dalyje) turėtų būti pakeisti esami elektros energijos skaitikliai į dviejų krypčių elektros matavimo skaitiklius. Jų paskirtis - registruoti perkamos ir parduodamos elektros energijos kiekius. Šiuos skaitiklius keičia ir prižiūri AB „ESO“ savo lėšomis. Vilniaus oro uostas turėtų suprojektuoti ir sumontuoti įrangą, kuri atjungtų kogeneracinę jėgainę nuo AB „ESO“ elektros tinklo esant avariniam režimui AB „ESO“ elektros tinklo dalyje bei Vilniaus oro uostui viršijus leistiną generavimo galią. Šiuo metu skirstyklos narveliuose srovės ir įtampos transformatorių tikslumo klasė – 0,5. Siekiant atitikti AB „ESO“ reikalavimus, ši klasė turėtų būti – 0,25, todėl reikės pakeisti 6 srovės ir 6 įtampos transformatorius. Apytikslė elektros tinklo sinchronizavimo ir transformatorių pakeitimo kaina siekia 14000 Eur [18].

Techninio projekto metu reikės įvertinti įtampos lygių pasiskirstymą visuose elektrinės įtakojamo (10 kV, 0,4 kV) elektros tinklo dalies mazguose. Reikia įvertinti visus galimus galios transformatorių įtampos reguliavimo režimus, ribinius AB „ESO“ tinklo normalaus bei avarinio/remontinio darbo režimus, įtampos kritimus galios transformatoriuose. Taip pat reikės perskaičiuoti trumpojo jungimo srovės normalaus ir avarinio/remontinio darbo režimuose ir atlikti elektros įrenginių patikrinimą. Turės būti atliktas elektros linijų pralaidumo patikrinimas pagal darbo srovės normalaus ir avarinio/remontinio darbo režimuose. Remiantis įgyvendintais analogiškais projektais, priimta apytikslė techninio projekto elektrinės dalies pagal AB „ESO“ reikalavimus parengimo kaina – 25000 Eur.

Gaminant elektros energiją tik savoms reikmėms vidaus automatika turės būti suprojektuota taip, kad jėgainėje gaminama elektros energija nepatektų į AB „ESO“ tinklus. Įtampos lygių pasiskirstymą ir kitus skaičiavimus reikės atlikti tik įvertinant Vilniaus oro uosto elektros vidaus tinklą. Šiuo atveju AB „ESO“ priklausančių elektros tinklų planuojamos statyti kogeneracinės jėgainės prijungimas neįtakos. Dėl šios priežasties žymiai sumažėtų techninio projekto elektrotechninės dalies parengimo išlaidos, kurių kaina, remiantis įgyvendintais analogiškais projektais, siektų 8700 Eur, o elektros tinklo sinchronizavimo išlaidos – 13450 Eur [18]. Šiuo atveju būtų sutaupoma 16850 Eur. Kadangi galimos parduoti elektros energijos kiekis yra nedidelis, o investicijos skiriasi ženkliai, siūloma elektros energiją gaminti tik savoms reikmėms.

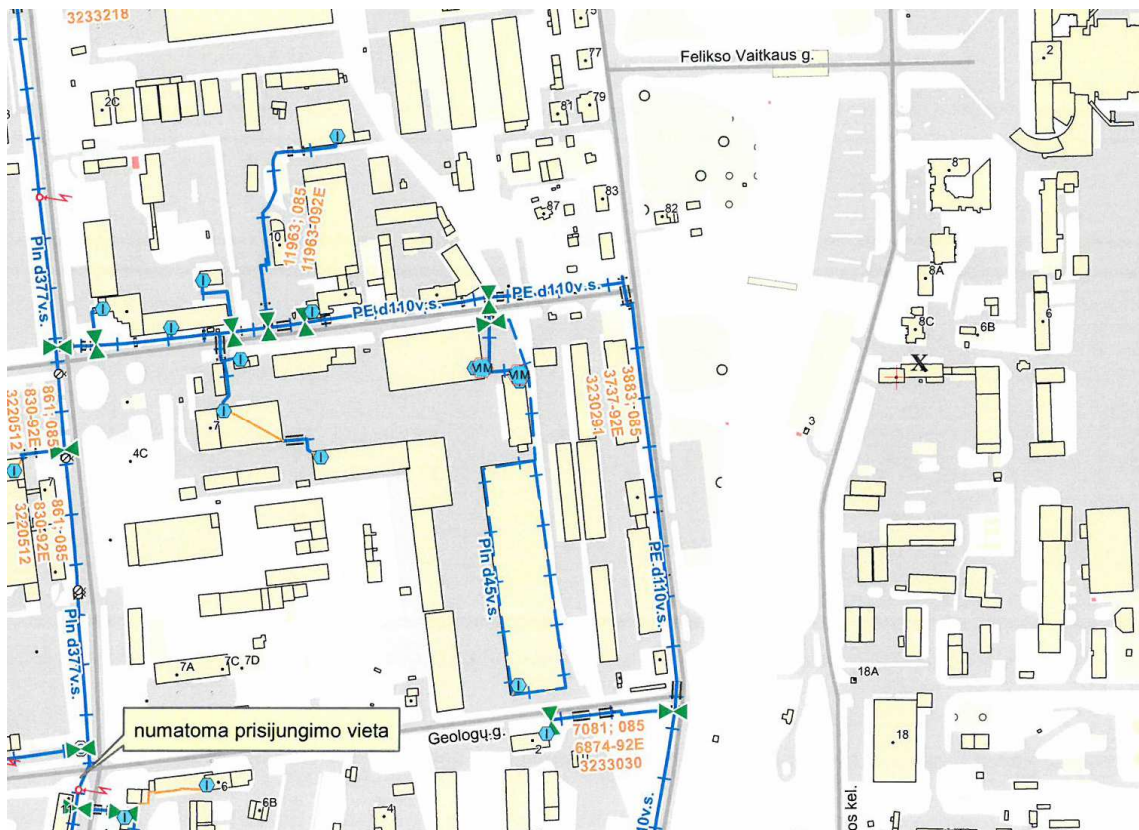


3.4 pav. Prisijungimas prie esamo elektros tinklo

Kadangi pagrindiniu kuru yra pasirinktos gamtinės dujos, jos bus tiekiamos iš artimiausio dujotiekio, todėl papildomai jų sandėliuoti nereikės. Rezervinis kuras nėra numatomas, kadangi Vilniaus oro uostas liks prisijungęs prie centralizuotų šilumos tinklų ir AB „ESO“. AB „ESO“ (buvusios AB „Lietuvos dujos“) prisijungimo sąlygos pateiktos priede Nr. 13. Nurodyta maksimali dujų transportavimo galia, kurią galės naudoti vartotojas, siekia 800 m³/h. Projektuojant dujų sistemą įvertintas dujų poreikio padidėjimas ateityje iki 1000 m³/h. Nurodytas dujų slėgis prisijungimo taške – 2,7 ÷ 2,8 bar. Sąlygose nurodyta, kad reikės suprojektuoti dujų apskaitos telemetrinę sistemą. Dujų apskaitą numatyti ant projektuojamos jėgainės pastato išorinės sienos.

Atsižvelgiant į technologines alternatyvas, galimos dvi jėgainės prisijungimo prie dujų skirstymo sistemos vietos. Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, prisijungimo vieta numatoma prie vidutinio slėgio dujotiekio Metalo gatvėje. 3.5 pav. preliminari jėgainės vieta pažymėta – X.

Dujų skirstymo sistema (skirstomasis dujotiekis) nuo esamo dujotiekio Metalo gatvėje (DN377) iki kogeneracinės jėgainės bus projektuojama ir įrengiama AB „ESO“ lėšomis. Vilniaus oro uostas turės sumokėti atitinkamą prijungimo įmoką. Šis variantas yra gana sudėtingas dėl asfaltinės dangos ardymo darbų ir geležinkelio bėgių, esančių tarp planuojamos jėgainės statybos vietos ir prisijungimo prie dujotiekio taško. Darbų laikas apytiksliai siektų vienerius metus (žiemos mėnesiais statybos nevyksta).



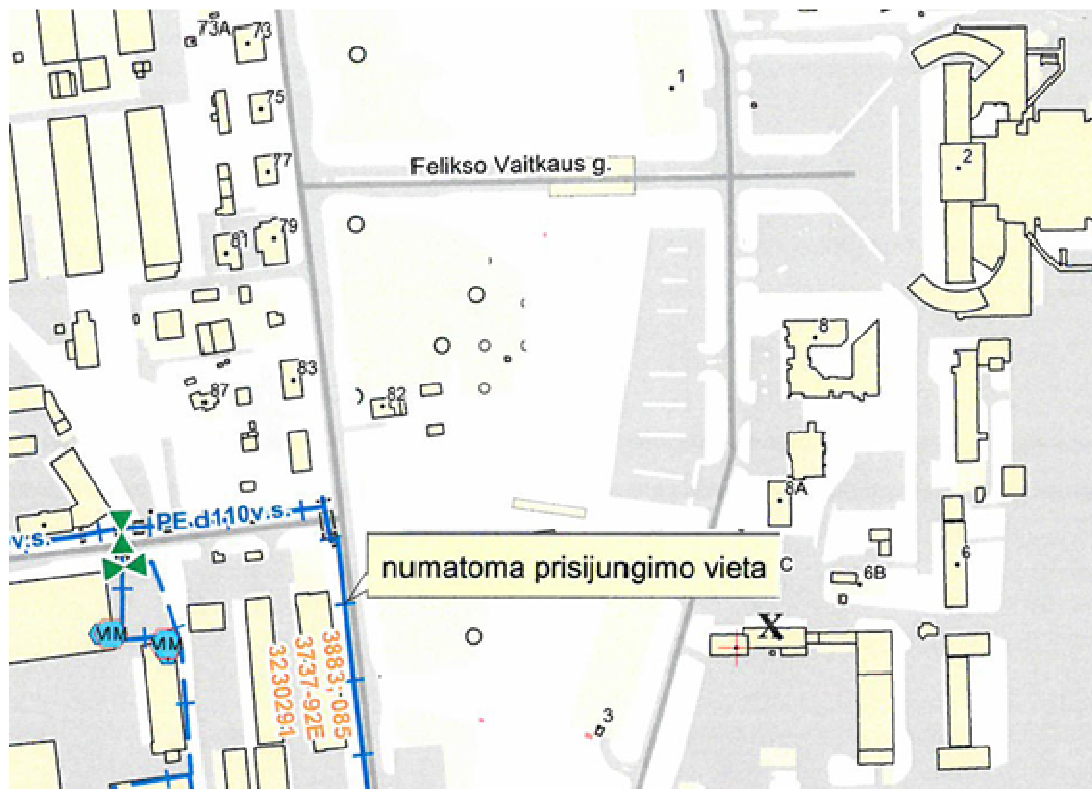
3.5 pav. Prisijungimo prie dujotiekio 1 alternatyva

Jeigu 2 MW vandens šildymo katilas nebus statomas, gamtinių dujų poreikis ženkliai sumažės. Šiuo atveju, yra galimybė prisijungti prie mažesnio diametro dujotiekio vamzdžio (DN110) Dariaus ir Girėno gatvėje, žiūr. 3.6 pav. Dujotiekio tiesimo atstumas sumažėtų, todėl proporcingai sumažėtų ir prijungimo įmoka bei statybos darbų laikas. Šis variantas yra pats palankiausias visais atžvilgiais, bet jis įmanomas tik tuo atveju, jei bus statomi tik vidaus degimo varikliai. Pasirinkus šią alternatyvą, reikės išsiimti naujas prisijungimo sąlygas.

Remiantis išduotomis techninėmis prisijungimo sąlygomis, parinkti atitinkamų parametrų kogeneraciniai įrenginiai. UAB „Filter“ pateiktos vidaus degimo variklių ir vandens šildymo katilo techninės specifikacijos pridedamos prieduose Nr. 6, 7 ir 8. Atsižvelgiant į įrenginių charakteristikas numatyti preliminarūs pastato matmenys. Duomenys pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Preliminarūs pastato matmenys

Alt. Nr.	Įrenginiai	Pastato matmenys		
		Ilgis, m	Plotis, m	Aukštis, m
T.1	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas	15	12	7 (2 aukštai)
T.2.	2 po 1 MW kogeneratoriai	10	10	7 (2 aukštai)



3.6 pav. Prisijungimo prie dujotiekio 2 alternatyva

Pagal pasirinktų įrenginių techninėse specifikacijose pateiktus elektros suvartojimus, apskaičiuotos elektros sąnaudos savoms reikmėms. Gauti rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė. Elektros energijos sąnaudos jėgainėje

Elektros sąnaudos jėgainėje, MWh/metus	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas (T.1)	G.1 alternatyva	588,67
		G.2 alternatyva	462,74
		G.3 alternatyva	569,79
	2 po 1 MW kogeneratoriai (T.2)	G.1 alternatyva	565,40
G.2 alternatyva		473,95	

Vidutiniai termofikacinio vandens nuostoliai sistemoje per valandą (m^3/h) apskaičiuojami pagal formulę [1]:

$$G_{pap} = 0,0075 \cdot V \cdot Q; \quad (3.30)$$

čia:

0,0075 – koeficientas, įvertinantis vandens nuostolius šilumos tiekimo sistemoje (0,75 %);

$V = 63 m^3/MW$ – lyginamasis normatyvinis sistemos tūris vienam megavatui šiluminio galin-gumo;

Q – jėgainės šiluminė galia, MW.

Apskaičiuotas papildymo vandens kiekis per metus pateiktas 3.9 lentelėje. Daroma prielaida, kad naujai statomos jėgainės termofikacinio vandens sistema sandari, todėl skaičiavimuose priimamas pataisos koeficientas – 0,5.

3.9 lentelė. Papildymo vandens kiekis

Papildymo vandens kiekis, m³/metus	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas (T.1)	G.1 alternatyva	6155
		G.2 alternatyva	3949
		G.3 alternatyva	5263
	2 po 1 MW kogeneratoriai (T.2)	G.1 alternatyva	3610
G.2 alternatyva		3026	

Papildymo siurblių našumas turi būti 10% didesnis nei reikalingas papildymo vandens debitas.

Jis apskaičiuojamas:

$$G_{pap.T1}^s = G_{pap} \cdot 1,1 = 1,89 \cdot 1,1 = 2,08 \text{ m}^3/\text{h}; \quad (3.31)$$

$$G_{pap.T2}^s = G_{pap} \cdot 1,1 = 0,945 \cdot 1,1 = 1,04 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.32)$$

Sistemos užpildymui/praplovimui reikalingos vandens sąnaudos:

$$G_{užp.T1} = V \cdot Q = 63 \cdot 4 = 252 \text{ m}^3; \quad (3.33)$$

$$G_{užp.T2} = V \cdot Q = 63 \cdot 2 = 126 \text{ m}^3. \quad (3.34)$$

Jėgainei reikalingos papildymo vandens atsargos tūris turi būti ne mažesnės, kaip 2 % sistemos tūrio:

$$V_{pap.T1} = 0,02 \cdot V \cdot Q = 0,02 \cdot 63 \cdot 4 = 5,04 \text{ m}^3; \quad (3.35)$$

$$V_{pap.T2} = 0,02 \cdot V \cdot Q = 0,02 \cdot 63 \cdot 2 = 2,52 \text{ m}^3; \quad (3.36)$$

Termofikacinio vandens sistemos papildymui reikia parinkti vandens cheminio apdorojimo įrangą pagal vandentiekio vandens analizės duomenis ir reikalavimus kogeneracinės jėgainės tinklo papildymo vandeniui. Įrangą sudaro: grubaus valymo filtras, nepnertraukiamo veikimo natrio katijoninis vandens minkštinimo filtras, cheminių reagentų dozavimo įrenginys, skirtas korekciniam vandens apdorojimui. Taip pat numatomas nugeležinimo įrenginys. Chemiškai paruošto vandens

atsargai pirmu atveju jėgainėje numatoma 5,5 m³ talpos metalinė talpa, o antru - 3 m³. Siekiant išvengti talpos išorinio paviršiaus rasojimo, ji izoliuojama akmens vatos dembliais, o izoliacija padengiama skarda. Termofikacinio vandens sistemos papildymui iš talpos projektuojami du papildymo siurbliai, kurių kiekvieno našumas pagal pirmą alternatyvą po 2,5 m³/h, o pagal antrą - 1,5 m³/h. Vienas siurblys rezervinis. Dviem siurbliams numatomas vienas dažnio keitiklis, kuris automatiškai reguliuoja siurblių darbą pagal slėgį grįžtamoje linijoje. Siekiant apsaugoti termofikacinio vandens sistemą nuo vandens šiluminio plėtimosi paleidimo metu bei hidraulinių smūgių, numatomas apsauginis vožtuvas, kuriuo, pakilus slėgiui, vanduo tekės į minkštinto vandens talpas arba drenažą, žiūr. 3.1 pav. ir 3.2 pav.

Vidutinis gamtinių dujų suvartojimas apskaičiuojamas atsižvelgiant į apkrovų reguliavimo alternatyvas. Metinis kuro suvartojimas įgyvendinus skirtingas alternatyvas, pateiktas 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Metinis kuro suvartojimas

Suvartojamų dujų kiekis, tūkst. nm³/metus	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas (T.1)	G.1 alternatyva	4205
		G.2 alternatyva	3004
		G.3 alternatyva	3834
	2 po 1 MW kogeneratoriai (T.2)	G.1 alternatyva	3258
G.2 alternatyva		2731	

4 KOGENERACINĖS JĖGAINĖS STATYBOS IR EKSPLOATACIJOS EKONOMINĖS APLINKYBĖS

4.1 Investicijos, paramos gavimo galimybių analizė

Siekiant išsiaiškinti galimų gauti paramų tikimybę, analizuojami Lietuvos Respublikos teisės aktai. Energetikos įstatymas reglamentuoja efektyvų energijos bei energijos resursų vartojimą. Šiame įstatyme nurodytos nuostatos, kurios numato naudoti vietinius bei atsinaujinančius energijos išteklius. Gamtinių dujų ir skysto kuro naudojimas šiame įstatyme nėra numatytas kaip pagrindinis energetikos prioritetas.

Nacionalinėje darnaus vystymosi strategijoje numatomas šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų mažinimas. Taip pat išvelgiama galimybė plačiau panaudoti dujas dėl pakankamai išvystytos gamtinių dujų tiekimo sistemos bei naujo gamtinių dujų importo terminalo, tačiau gamtinių dujų naudojimas įvardijamas kaip grėsmė energijos tiekimo patikimumui bei kainų stabilumui

Europos parlamento ir tarybos direktyvoje [13] numatytas pagrindinis tikslas – skatinti didelio efektyvumo elektros energijos ir šilumos kogeneraciją, kuri remtųsi esama šilumos paklausa. Direk-

tyva numato, kad efektyvios kogeneracijos būdu pagamintai elektros energijai galima taikyti finansinės paramos mechanizmus. Tai gali būti parama pradinėms investicijoms, mažesni reikalaujami mokesčiai arba atleidimas nuo jų, bei tiesioginės kainų rėmimo programos. Kogeneracijos naudingumas įvertinamas pagal sutaupyta pirminės energijos kiekį [13]:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{kog.el}}{\eta_{el}} + \frac{\eta_{kog.š}}{\eta_{š}}} \right) \cdot 100\%$$

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{40,8}{52,5} + \frac{46,4}{90}} \right) \cdot 100\% = 22,64\% \quad (4.1)$$

Čia $\eta_{kog.el}$ - jėgainės elektrinis naudingumo koeficientas, mūsų atveju – 40,8%;

$\eta_{kog.š}$ - jėgainės šiluminis naudingumo koeficientas, mūsų atveju – 46,4 %;

η_{el} - nustatyta ataskaitinė elektrinio naudingumo vertė – 52,5% [8];

$\eta_{š}$ - nustatyta ataskaitinė šiluminio naudingumo vertė – 90% [8].

Didelio naudingumo kogeneracija laikoma tokia kogeneracija, kai apskaičiuotas sutaupytos pirminės energijos kiekis yra $\geq 10\%$ [13]. Mūsų atveju, įrengtoje jėgainėje gaminama energija, bus laikoma efektyvia kogeneracija. Šiuo metu yra paskelbti konkursai paramos gavimui tik atsinaujinančius energijos išteklius naudojančiai kogeneracijai. Kad ateityje bus teikiama parama gamtines dujas naudojančiai kogeneracijai, tikimybė yra maža.

Pagal Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energetikos sektoriuje teikimo tvarkos aprašą numatoma, kad planuojamam objekte elektros gamyba būtų apmokestinama bet kokių atveju, išskyrus elektros energijos gamybą panaudojant atsinaujinančius energijos išteklius [21]. Nuo 2013 m. iki 2015 m. efektyviose kogeneracinėse jėgainėse pagamintai elektros energijai buvo taikomos mažesnės viešuosius interesus atitinkančių paslaugų kainos. 2016 metais šis efektyvios kogeneracijos rėmimas buvo panaikintas, žiūr. 4.1 lentelė. Planuojamoje statyti jėgainėje gaminant elektrą iš gamtinių dujų ir ją vartojant savoms reikmėms, Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų mokestis sieks 1,709 Eur cnt/kWh.

4.1 lentelė. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų kainos [22]

Metai	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
VIAP kaina				0,903*	0,946*	0,945*	1,709*
be PVM	1,37	1,74	2,04	2,716**	2,068**	1,642**	1,577**

* gamintojams (termofikacinėms elektrinėms), vartojantiems pasigaminatą elektros energiją savo reikmėms;

** visiems vartotojams, išskyrus gamintojus (termofikacines elektrines), vartojančius pasigaminatą elektros energiją savo reikmėms.

Ekonominis projekto įgyvendinimo įvertinimas atliktas remiantis kaštų-naudos analizės principais. Tai plačiai taikoma projektų ekonominio vertinimo technika, naudojama siekiant aprėpti svarstomo projekto socialines ir ekonomines pasekmes visuomenei. Kaštų ir naudos analizė yra sisteminis duomenų apie projekto teikiamus privalumus (naudą) ir patiriamas netektis (kaštus) sutvarkymo, išreiškiant juos piniginiiais vienetais, metodas. Šiuo nagrinėjamu atveju, kaštų-naudos analizė yra taikoma prieš įgyvendinant iniciatyvą, remiantis priimtomis prielaidomis bei atitinkamais reikalavimais.

Investicijos įvertintos atsižvelgiant į technologines (T.1 ir T.2) ir apkrovų modeliavimo (G.1, G.2 ir G.3) alternatyvas. Taip pat įvertintos atrinktos jėgainės statybos teritorinės alternatyvos (A2 ir A3). Investicijos technologinės dalies įrengimui su įranga ir montavimo darbais pateiktos 4.2 lentelėje, žiūr. 7, 8 priedus. Skaičiavimuose neįvertinta architektūrinė dalis. Kogeneracinės jėgainės elektrinė riba yra automatinis jungtuvas tiekiamos įrangos jėgos skyde.

4.2 lentelė. Investicijos technologinės dalies įrengimui

Alt. Nr.	Įrenginiai	Investicijos, Eur (be PVM)
T.1	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas	1 087 060
T.2	2 po 1 MW kogeneratoriai	947 060

Atliekant skaičiavimus yra įvertinta įrenginių, medžiagų ir montavimo darbų kaina. Pradinės investicijos, kurias įtakoja technologinės alternatyvos (T.1 ir T.2) pateikiamos 4.3 lentelėje. Investicijas, kurias įtakoja jėgainės statybos vieta, pateikiamos 4.4 lentelėje, o bendros investicijos - 4.5 lentelėje. Skaičiavimuose neįvertinta techninio bei darbo projekto rengimo, poveikio aplinkai vertinimo bei specialiojo plano keitimo kainos.

4.3 lentelė. Investicijos, priklausančios nuo technologinių alternatyvų [18]

Įrenginys/pastatas	Alt. Nr.	Investicijos, Eur (be PVM)
Jėgainės pastatas	T.1/T.2	69300/4500
Šilumokaitinė	T.1/T.2	80000/40000

Įrenginys/pastatas	Alt. Nr.	Investicijos, Eur (be PVM)
Siurblinė	T.1/T.2	70000/35000
Elektros tinklo sinchronizavimas	T.1/T.2	14000/13450
Dujotiekio prijungimo įmoka	T.1/T.2	23641/22703
Dujų apskaitos telemetrinė sistema	T.1/T.2	500
Vandentiekio apskaitos mazgas	T.1/T.2	500

4.4 lentelė. Investicijos, priklausančios nuo jėgainės statybos vietos [18]

Įrenginys/pastatas	Alt. Nr.	Investicijos, Eur (be PVM)
Šiluminė trasa	A2/A3	2727/2406
Vandentiekio trasa	A2/A3	450/3600
Nuotekų trasa	A2/A3	80/1880
Elektros kabelių tiesimas	A2/A3	35/1742

4.5 lentelė. Bendros pradinės investicijos

Alt. Nr.			Pradinės investicijos, Eur (be PVM)
T.1	G.1	A2/A3	1.348.292/1.353.691
	G.2	A2/A3	1.197.742/1.203.141
	G.3	A2/A3	1.348.292/1.353.691
T.2	G.1	A2/A3	1.095.193/1.100.593
	G.2	A2/A3	1.019.643/1.025.043

Jėgainės eksploatacines išlaidas sudaro:

- techninė priežiūra;
- šiluminės ir elektrinės galios patikimumo užtikrinimas;
- kuras;
- mokestis už taršą;
- jėgainėje suvartojamas vanduo;
- VIAP mokestis.

Jėgainėje suvartojamos elektros kaina nevertinama, kadangi priimama, kad bus naudojama kogeneratoriuose pagaminta elektra. Jėgainės techninės priežiūros darbai apskaičiuojami pagal techninėse specifikacijose pateiktus duomenis. Dviejų po 1 MW šiluminės galios vidaus degimo variklių priežiūros darbai, įskaitant tam reikalingą įrangą ir darbo jėgą, siekia 7,2 Eur/oph. Pilnas aptarnavimas, įskaitant operatoriaus paslaugas – 17 Eur/oph. Kogeneracinės jėgainės aptarnavimo laikas skaičiuojamas iki kapitalinio remonto, t.y. 60 000 darbo valandų. Darbo valandos kiekvienam ko-

generatoriui skaičiuojamos atskirai. 2 MW vandens šildymo katilinės standartinis aptarnavimo mokestis – 1448 Eur per metus. Bendros išlaidos techninei priežiūrai per metus pateiktos 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė. Išlaidos techninei priežiūrai

Išlaidos techninei priežiūrai, tūkst. Eur/metus	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas (T.1)	G.1 alternatyva	140,6
		G.2 alternatyva	105,4
		G.3 alternatyva	129,3
	2 po 1 MW kogeneratoriai (T.2)	G. 1 alternatyva	139,1
		G. 2 alternatyva	125,2

Kadangi, siekiant turėti elektros ir šilumos energijos tiekimo rezervą, planuojama likti prisijungus prie centralizuotų tinklų, reikės mokėti už leistinąją naudoti galią. Šiuo metu Vilniaus oro uostas yra sudaręs sutartis su centralizuotais tinklais, kuriose nurodyta, jog leistinoji naudoti elektros galia siekia 4932 kW, o šilumos – 6000 kW. Nepriklausomai nuo pasirinktos alternatyvos, už leistinąją naudoti elektros galią reikės mokėti – 33735 Eur/metus, o už leistinąją naudoti šilumos galią – 72900 Eur/metus [19; 25]. Metiniai mokesčiai už oro taršą, neviršijant leistinių normų, apskaičiuoti (3.28) ir (3.29) formulėse. Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius jie siekia 7200,06 Eur/metus, o įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius – 3739,68 Eur/metus.

Mokestis už vandentiekio vandenį susideda iš kintamosios ir pastoviosios dalių. Verslo klientams pastovioji dalis siekia 6,35 Eur/mėn. Kintamoji dalis priklauso nuo suvartoto vandens kiekio ir siekia 1,26 Eur/m³ [24]. Bendros išlaidos vandentiekio vandeniui, suvartotam jėgainėje per metus pateiktos 4.7 lentelėje. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų įkainis įvardintas 4.1 lentelėje. Nepriklausomai nuo pasirinktos alternatyvos, bendras elektros energijos suvartojamas kiekis savoms reikmėms yra vienodas, o mokestis siekia 202496 Eur/metus.

4.7 lentelė. Išlaidos vandentiekio vandeniui, suvartotam jėgainėje per metus

Išlaidos vandentiekio vandeniui, Eur/metus	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas (T.1)	G.1 alternatyva	7831
		G.2 alternatyva	5052
		G.3 alternatyva	6707
	2 po 1 MW kogeneratoriai (T.2)	G. 1 alternatyva	4625
		G. 2 alternatyva	3889

Reikalingas gamtinių dujų kiekis, išreikštas kubiniais metrais, pateiktas 3.10 lentelėje. Šiuo metu gamtinių dujų įkainiai, atsižvelgiant į tiekiamų dujų kaloringumą, skaičiuojami pagal suvartotą megavatvalandžių kiekį. 2016 m. gegužės mėnesį Vilniuje tiekiamų gamtinių dujų kaloringumas svyravo nuo 10,6362 kWh/m³ iki 10,7691 kWh/m³ [25]. Įvertinant galimas skaičiavimo paklaidas, dujų kaloringumas priimamas 10,6 kWh/m³. Galutinė gamtinių dujų kaina susideda iš daug kinta-

mųjų: dujų tiekimo ir skirstymo įkainiai, perdavimo ir vartojimo pajėgumų užtikrinimo įkainiai, suskystintų gamtinių dujų terminalo mokestis bei akcizas. Atsižvelgiant į Vilniaus oro uosto planuojamus suvartojimus, vidutiniškai gamtinių dujų kaina turėtų siekti 34 Eur/MWh. Bendros išlaidos kurui per metus pateiktos 4.8 lentelėje. Bendros eksploatacinės išlaidos pateikiamos 4.9 lentelėje, jose įvertintos papildomos išlaidos - 10000 Eur/metus.

4.8 lentelė. Išlaidos kurui per metus

Išlaidos kurui, tūkst. Eur/metus	2 po 1 MW kogeneratoriai ir 2 MW vandens šildymo katilas (T.1)	G.1 alternatyva	1515,5
		G.2 alternatyva	1082,6
		G.3 alternatyva	1381,9
	2 po 1 MW kogeneratoriai (T.2)	G. 1 alternatyva	1174,1
		G.2 alternatyva	984,1

4.9 lentelė. Bendros eksploatacinės išlaidos

Alt. Nr.		Eksploatacinės išlaidos, Eur/metus (be PVM)
T.1	G.1	1.990.199
	G.2	1.554.516
	G.3	1.844.298
T.2	G.1	1.890.753
	G.2	1.686.182

4.2 Savikaina ir atsipirkimo laikotarpis

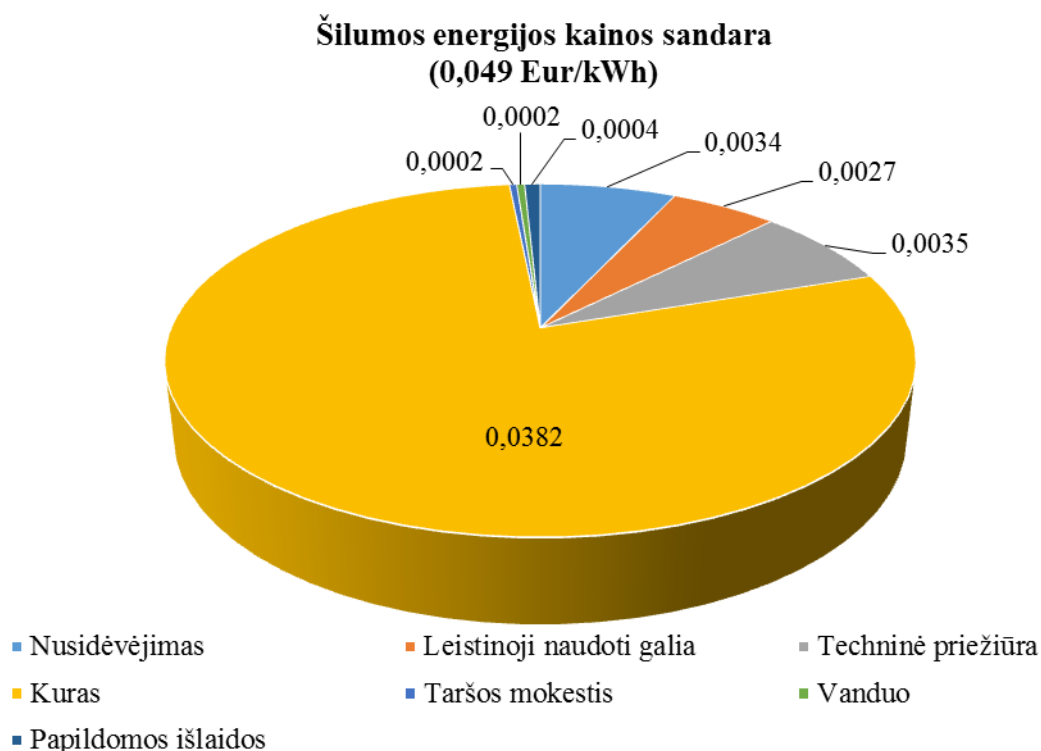
Įvertinant įtakojančius veiksnius, apskaičiuota pagaminamos energijos kWh savikaina galioms alternatyvoms. Savikaina susideda iš pradinių investicijų ir eksploatacinių išlaidų, priklausančių nuo pasirinktos technologinės alternatyvos. Investicijas sudaro technologinės bei architektūrinės dalies įrengimas su įranga ir darbais. Priimama, kad pradinės investicijos atsipirks per 10 metų. Kadangi dalis pagamintos energijos yra nepanaudojama, bendros sąnaudos dalinamos tik iš naudingai panaudotos energijos kiekio, t.y. energijos kiekis suvartotas savoms reikmėms ir parduotos energijos kiekis. Skaičiavimai atlikti prieš atsipirkimo laikotarpį. Visose alternatyvose, pradinių investicijų ir eksploatacinių išlaidų dalys, tenkančios elektros ir šilumos energijos gamybai, paskirstytos atsižvelgiant į pagamintos energijos kiekių santykį. Gauti rezultatai pateikti 4.10 ir 4.11 lentelėse.

4.10 lentelė. Pagaminamos šilumos energijos savikaina

	G.1	G.2	G.3
	Eur/kWh	Eur/kWh	Eur/kWh
T.1	0,049	0,063	0,050
T.2	0,052	0,075	-

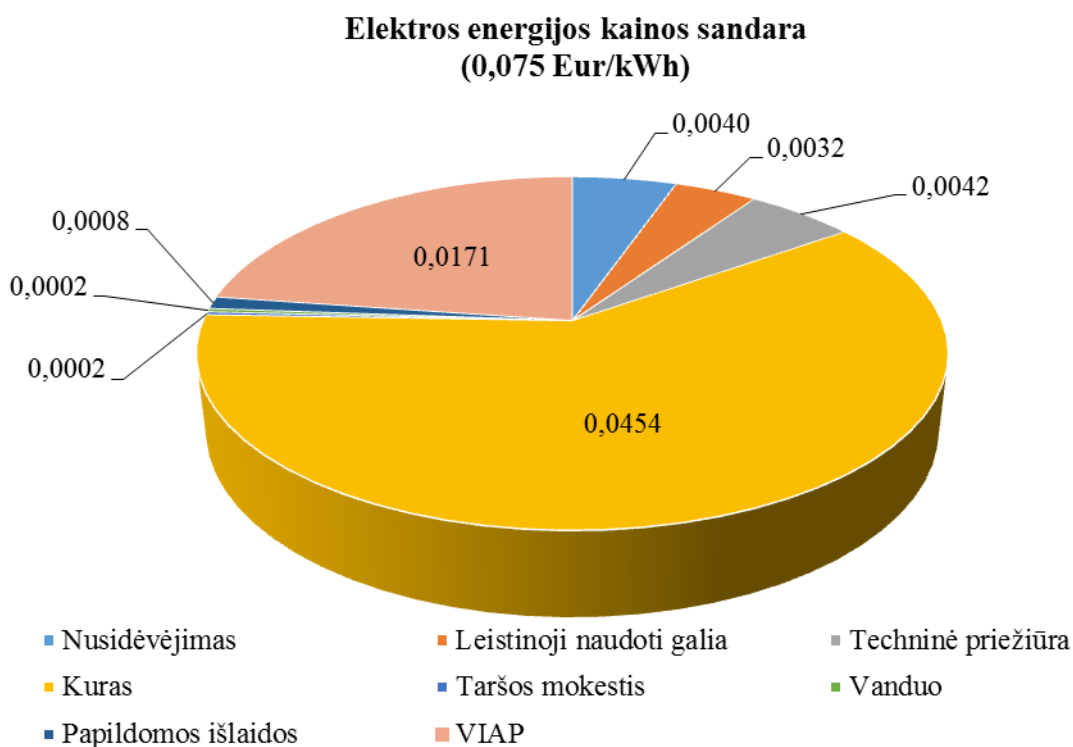
4.11 lentelė. Pagaminamos elektros savikaina

	G.1	G.2	G.3
	Eur/kWh	Eur/kWh	Eur/kWh
T.1	0,075	0,073	0,077
T.2	0,083	0,074	-



4.1 pav. Šilumos energijos kainos sandara (T.1, G.1)

4.1 pav. ir 4.2 pav. pateiktos alternatyvos - T.1 ir G.1, šilumos ir elektros savikainos sandaros. Likusių alternatyvų sandara analogiška. Mažiausia šilumos savikaina gaunama įrengus du po 1 MW šiluminės galios vidaus degimo variklius ir 2 MW vandens šildymo katilą, kai nešildymo sezono metu pardavinėjama šilumos energija – 0,049 Eur/kWh_s. Mažiausia elektros savikaina gaunama taip pat įrengus du po 1 MW šiluminės galios vidaus degimo variklius ir 2 MW vandens šildymo katilą, kai vidaus degimo varikliai dirba pagal elektros poreikius savoms reikmėms – 0,069 Eur/kWh_{el}. Šiuo atveju savikaina mažiausia todėl, kad naudingai panaudojama visa pagaminta elektros energija.



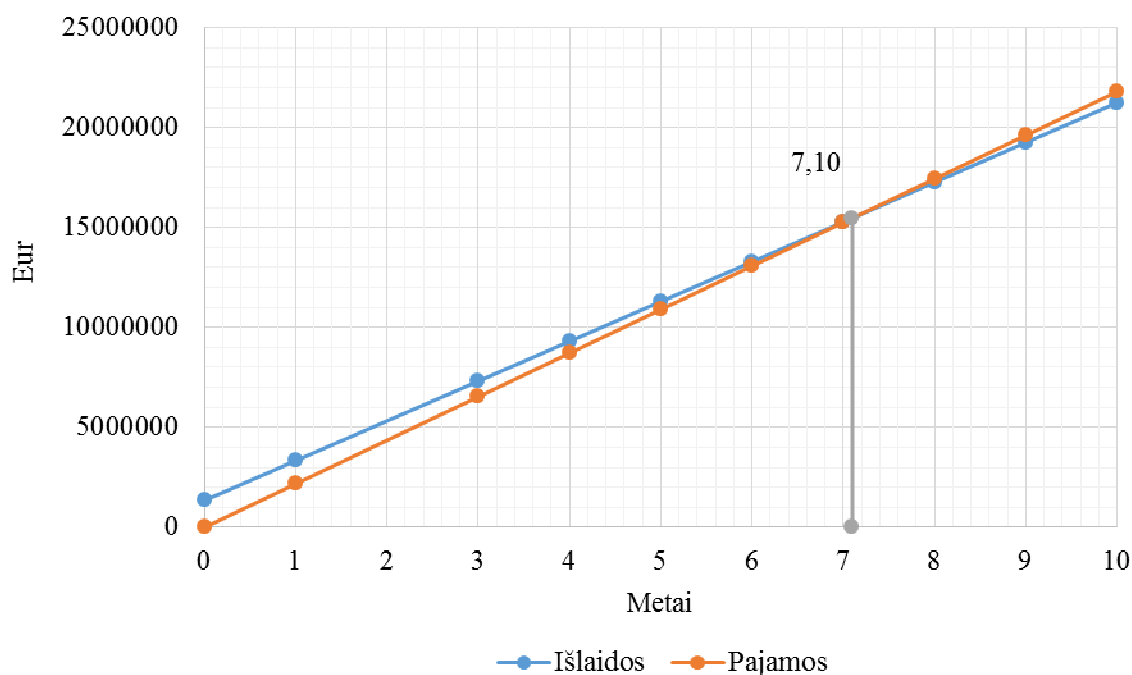
4.2 pav. Elektros energijos kainos sandara (T.1, G.1)

Optimaliausio energijos gamybos būdo negalima parinkti atsižvelgiant tik į pagaminamos energijos savikainą. Atsipirkimo laikotarpį įtakoja parduodamos ir sutaupomos energijos kiekis ir kaina, bei papildomai perkamos energijos kiekis. Įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius papildomai reikės pirkti 3906 MWh/metus šilumos. Šiuo metu Vilniaus oro uostas perka šilumos energiją už 64 Eur/MWh, todėl eksploatacinės išlaidos padidės 249984 Eur/metus.

Skaičiuojant atsipirkimo laikotarpį įvertintos pajamos, gaunamos įgyvendinus projektą. Pagrindines pajamas sudaro parduodama šilumos energija už 30 Eur/MWh, bei sutaupomas šilumos ir elektros energijos kiekis. Įvertinus, kad šiuo metu Vilniaus oro uostas perka elektros energiją už 84 Eur/MWh, bendros pajamos per metus pateiktos 4.12 lentelėje.

4.12 lentelė. Bendros pajamos per metus

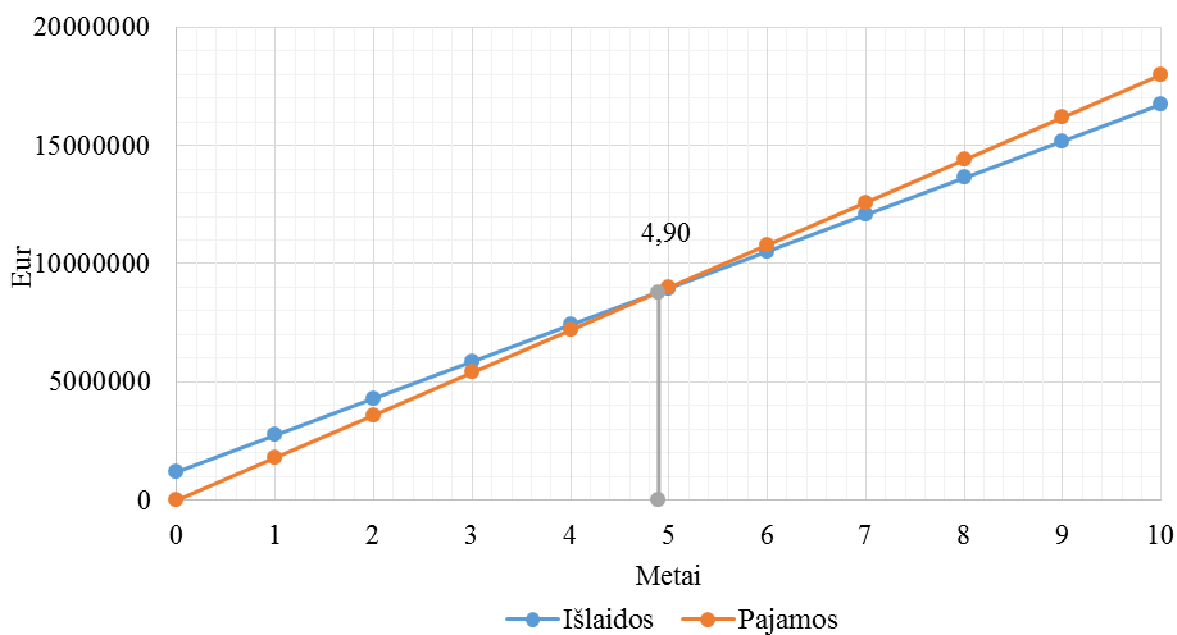
Alt. Nr.		Bendros pajamos, Eur/metus
T.1	G.1	2.180.151
	G.2	1.799.199
	G.3	2.066.895
T.2	G.1	1.772.790
	G.2	1.597.758



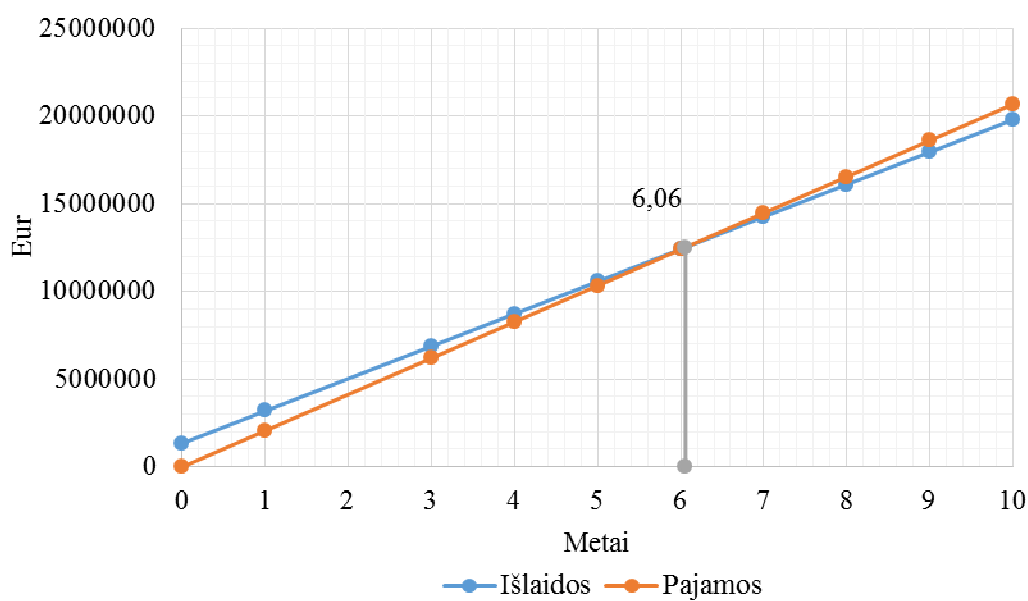
4.3 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.1; G.1)

Jeigu atsipirkimo laikotarpis gaunamas neigiamas, vadinasi tokia alternatyva nėra atsiperkanti ir geriau šilumą bei elektrą pirkti iš centralizuotų tinklų. Atsipirkimo laikotarpio grafikai, įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius sklype A2 pavaizduoti 4.3 pav., 4.4 pav. ir 4.5 pav. Jėgainę statant A3 sklype, atsipirkimo laikotarpis apytiksliai pailgėja tik aštuoniomis dienomis. Skaičiavimuose daroma prielaida, kad UAB „Vilniaus energija“ nupirks visą norimą parduoti šilumos energijos kiekį.

Galima pastebėti, kad kuo daugiau šiluminės energijos planuojama parduoti, tuo atsipirkimo laikotarpis ilgesnis. Tokie rezultatai gaunami todėl, kad šilumos energijos pagaminimo savikaina yra didesnė, nei konkurencinga šilumos supirkimo kaina. Pagal atsipirkimo laikotarpį optimaliausia alternatyva abiejuose sklypuose yra visus metus gaminti elektros ir šilumos energiją tik savoms reikmėms. Toks trumpas atsipirkimo laikotarpis gaunamas dėl ženkliai mažesnių pradinių investicijų, kadangi nereikėtų įrengti nei siurblinės, nei šilumokaitinės. Taip pat būtų mažesnės elektros tinklo sinchronizavimo išlaidos.

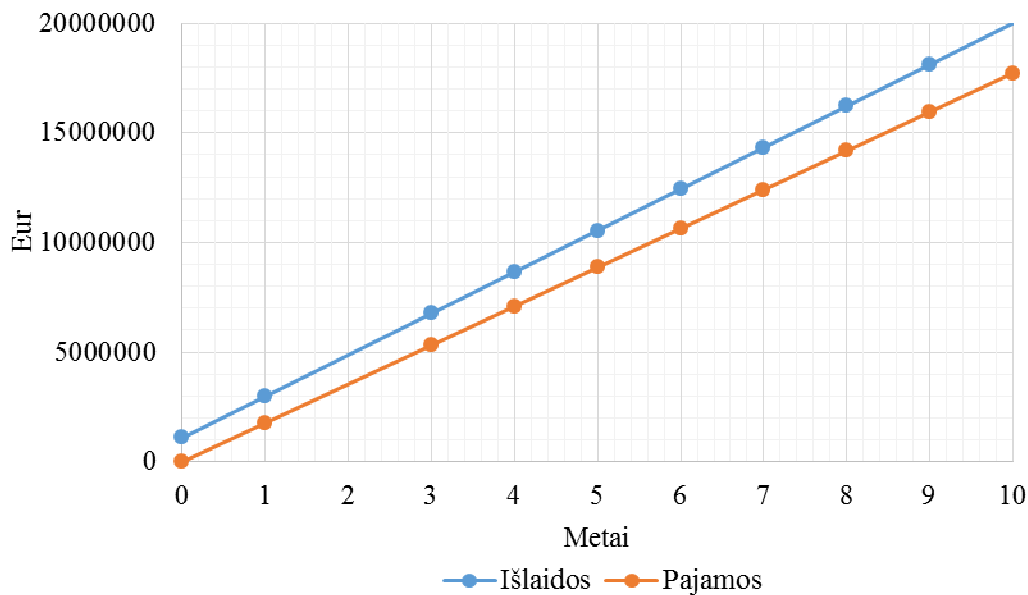


4.4 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.1; G.2)

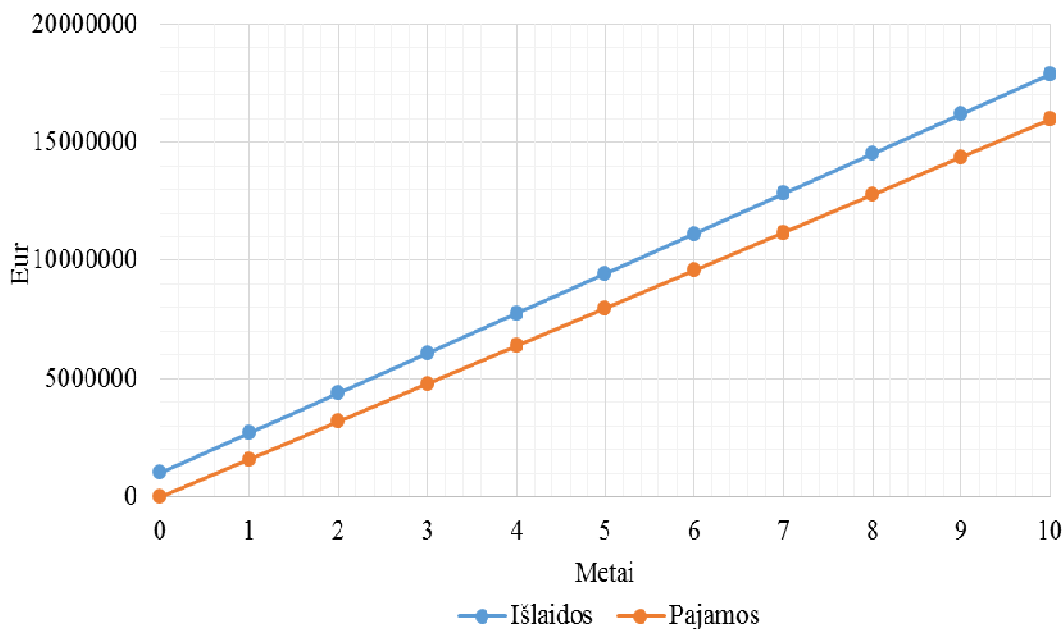


4.5 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.1; G.3)

Atsipirkimo laikotarpis, įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius, pateiktas 4.6 pav. ir 4.7 pav. Juose pavaizduotos išlaidų ir pajamų kreivės nesusikerta. Tai parodo, kad eksploatacinės išlaidos yra didesnės nei pajamos ir projektas neatsiperka.



4.6 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.2; G.1)



4.7 pav. Atsipirkimo laikotarpis (T.2; G.3)

4.3 Technologinių variantų palyginimas ir galimi eksploatacijos variantai

Atsižvelgiant į šilumos ūkio specialųjį planą [6], galima daryti išvadą, kad Vilniaus oro uostas turi dvi galimybes realizuoti pagamintą šilumos energiją planuojamoje statyti kogeneracinėje jėgainėje. Pirmoji galimybė yra gaminti šilumos energiją tik savoms reikmėms. Tokiu atveju, šilumos ūkio specialusis planas turės būti pakeistas, nes planuojamoje statyti kogeneracinę jėgainę vietoje, negalima įrengti individualių energijos gamybos katilinių. Vilniaus oro uostas savo iniciatyva negali inicijuoti šilumos ūkio specialiojo plano keitimo. Planas atnaujinamas maždaug kas 5 metai. Nors paskutinį kartą jis buvo atnaujintas 2013 metais, tačiau 2015 metais Vilniaus miesto savivaldybės

taryba priėmė sprendimą šį planą atnaujinti 2016 metais [5]. Tokį ankstyvą plano atnaujinimą įtakojo Nacionalinės šilumos ūkio plėtros 2015 - 2020 metų programos nuostatos, šilumos gamybos ir perdavimo technologijų raida, kintanti konkurencinė aplinka, šilumos gamybos kainų tendencijos, aplinkos užterštumo pokyčiai ir kiti, šilumos ūkiui bei aplinkosaugai svarbūs veiksniai.

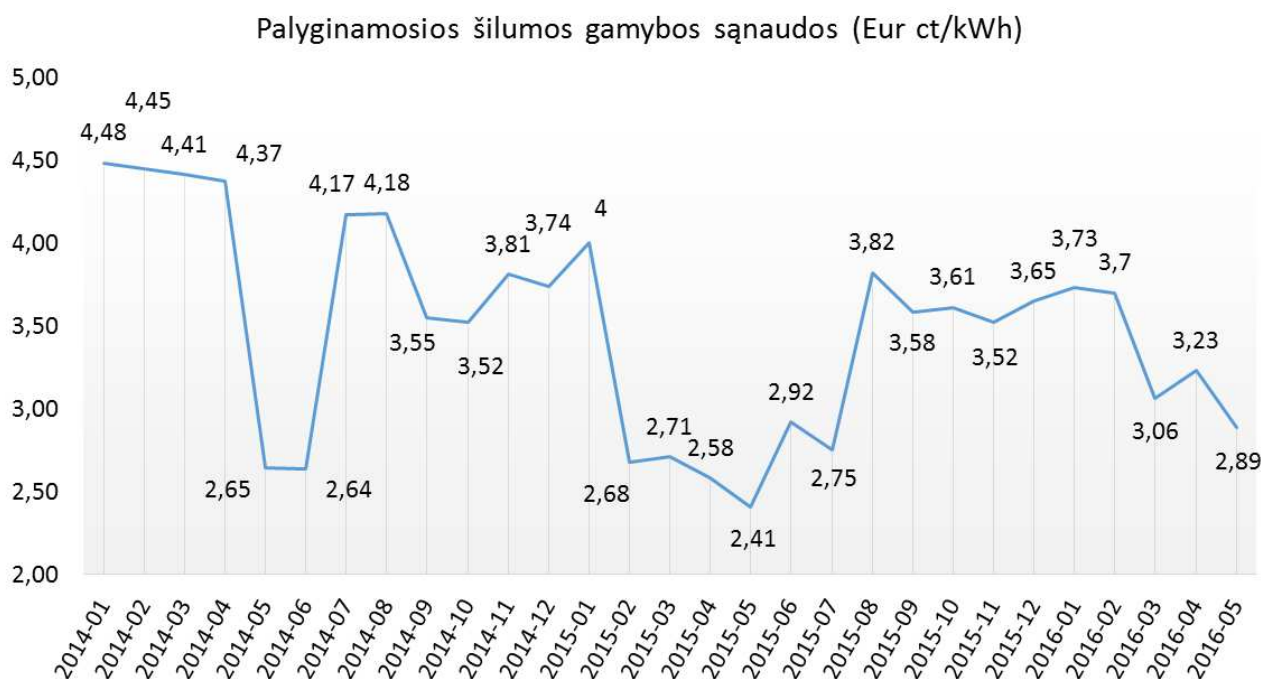
Šiuo atveju Vilniaus oro uostas turėtų teikti pasiūlymus suvienodinti specialiojo plano nustatytus reglamentus visam sklypui, t.y. visą oro uosto teritoriją priskirti mišraus šilumos tiekimo zonai. Plano atnaujinimo privalomosios procedūros tokios pat, kaip ir specialiojo plano rengimo [6]:

1. parengiamasis etapas (trukmė ~ 3 mėn.);
2. korekcijos rengimo etapas (trukmė ~ 6 mėn.);
3. privalomųjų procedūrų etapas (trukmė ~ 3 mėn.). Savivaldybės taryboje tvirtinamas savivaldybės teritorijos aprūpinimo šiluma reglamentas, išdėstytas aiškinamajame rašte ir grafiškai pateiktas brėžinyje;
4. koregavimo procesas (trukmė ~ 4 mėn.) pradedamas, savivaldybės tarybai priėmus sprendimą dėl korekcijos rengimo ar atnaujinimo.

Bendra plano keitimo trukmė apytiksliai siekia vienerius metus ir keturi mėnesius. Korekcijos rengimo procese dalyvauja suinteresuotos organizacijos, fiziniai ir juridiniai asmenys. Pradėta rengti korekcija registruojama teritorijų planavimo dokumentų registre teisės aktų nustatyta tvarka. Pagrindinis šios alternatyvos minusas yra tai, jog užsitęstų jėgainės statybos darbai.

Kita pagamintos šilumos realizavimo galimybė yra Vilniaus oro uostui tapti nepriklausomu šilumos gamintoju ir dalį šilumos pardavinėti. Tokiu atveju, specialiojo plano keisti nereikės. Jeigu šilumos tiekėjo (UAB „Vilniaus energija“) disponuojamų šilumos gamybos įrenginių galios pakanka vartotojų šilumos poreikiui patenkinti, šilumos tiekėjas privalo supirkti tik nepriklausomų šilumos gamintojų pagamintą šilumą, atitinkančią kokybės, tiekimo patikimumo, aplinkosaugos reikalavimus ir parduodamą mažesne kaina, negu šilumos tiekėjų palyginamosios šilumos gamybos sąnaudos (4.8 pav.) [9].

Kai nepriklausomi šilumos gamintojai gali parduoti daugiau šilumos energijos nei jos reikia, kad patenkinti šilumos vartotojų poreikius, šilumos tiekėjas privalo supirkti nepriklausomų šilumos gamintojų šilumą, teikdamas prioritetą mažiausiai kainai. Mažiausias šilumos energijos poreikis yra vasaros laikotarpiu, Vilniuje jį gali padengti įrenginiai, kurių bendra galia siekia ~130 MW. Šiuo metu, Vilniuje nepriklausomi šilumos gamintojai tiekia 125,6 MW šilumos energijos [19]. 2017 metais nepriklausomų šilumos gamintojų bus daug daugiau (4.13 lentelė). Esant mažesniai šilumos energijos poreikiui nei pagaminama, ne visa nepriklausomų šilumos gamintojų siūloma energija bus nupirktą.



4.8 pav. UAB „Vilniaus energija“ palyginamosios šilumos gamybos sąnaudos [19]

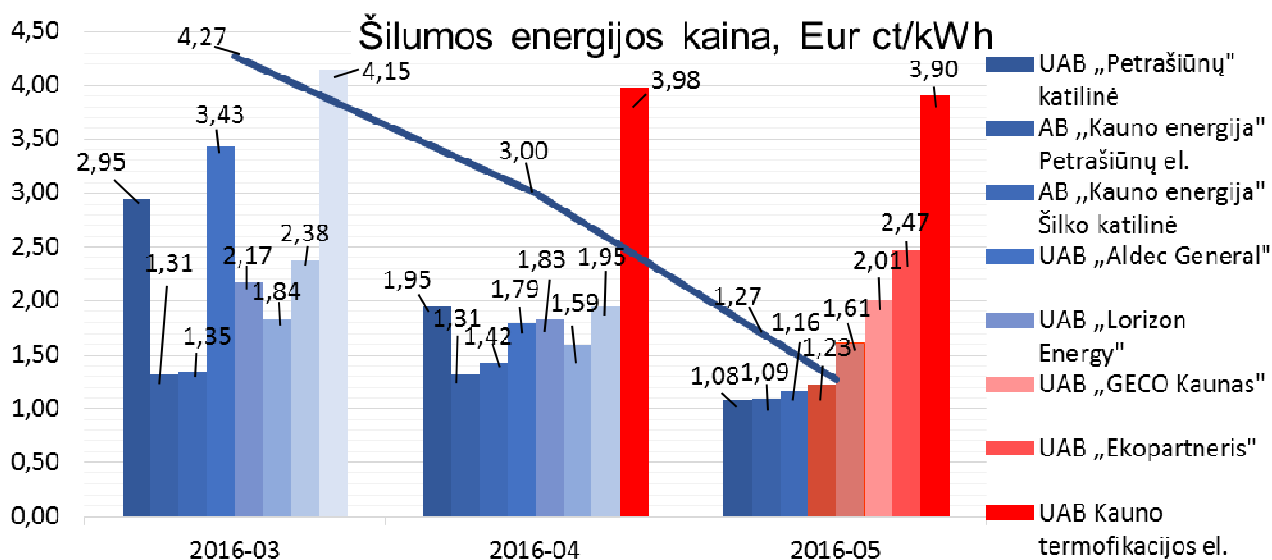
4.13 lentelė. Nepriklausomų šilumos gamintojų galia Vilniuje, MW [19]

Nepriklausomi šilumos gamintojai	2016 m galia, MW	2017 m galia, MW
UAB „Vilniaus baldai“		4,5
UAB „Aliejaus investicijos“	23,8	23,8
UAB „Lietuvos energija“		425,1
UAB „Geco Vilnius“		20
AB GRIGIŠKĖS	10	10
UAB SSPC-VILNIUS	25	25
UAB „Pramonės energija“	19,2	19,2
UAB „B GROUP“		20
UAB „BIONOVUS“	47,6	95,1
UAB Reenergy		40
Viso:	125,6	682,7

Analogiškas reiškinys pasireiškė Kauno mieste. 4.9 pav. pavaizduotos nepriklausomų šilumos gamintojų siūlomos šilumos energijos kainos. Mėlyna spalva žymi gamintojus, iš kurių šilumos energija buvo nupirktą, o raudona – gamintojus, kurie nepardavė šilumos dėl per didelės siūlomos kainos.

Lietuvos oro uostų Vilniaus filialo įtakos zonoje esančių „Naujininkų“ ir „Kirtimų“ šilumos energijos poreikis šildymo sezono metu, priklausomai nuo lauko oro temperatūros, svyruoja nuo 9 MW iki 36 MW, ne šildymo sezono metu – nuo 3 MW iki 6 MW. Šilumos energijos tiekimas vyksta per „Naujininkų“ siurblinę (tarp ŠK92421 ir ŠK92419) į „Naujininkų“ ir „Kirtimų“ zoną. Šioje zonoje yra rajoninė katilinė RK7. Šiuo metu šioje zonoje šilumos energiją į integruotą šilumos tie-

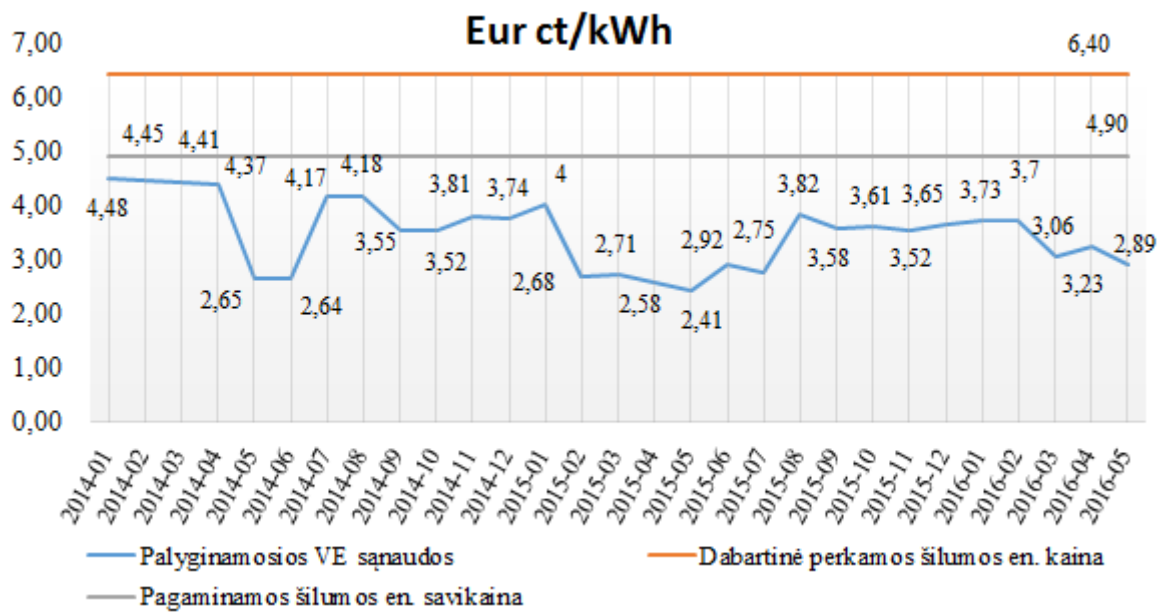
kimo tinklą tiekia UAB „Pramonės energija“, galia – 19,2 MW. Šilumos energija tiekama tik šildymo sezono metu. Tokiu atveju, ne šildymo sezono metu Vilniau oro uosto projektuojamoje jėgainėje pagamintą šilumos energiją būtų galima parduoti be konkurencijos. Atsižvelgiant į Kauno mieste susiklosčiusią situaciją, prognozuojama, kad šildymo sezono metu šilumos energija Vilniaus mieste bus superkama konkurencinėmis kainomis – 2÷3,2 Eur cnt/kWh.



4.9 pav. Kauno nepriklausomų šilumos gamintojų palyginimas [20]

Nagrinėjama atveju pagaminamos šilumos energijos savikaina pagal nagrinėjamas alternatyvas svyruoja nuo 4,9 Eur cnt/kWh iki 7,5 Eur cnt/kWh. Aiškiai matyti, kad pardavinėjant planuojamoje statyti jėgainėje pagamintą šilumą už jos savikainą, UAB „Vilniaus energija“ jos nepirks. Šilumos pardavimas už konkurencingą kainą yra nuostolingas. 4.10 pav. matome, kad nors pagaminamos šilumos energijos savikaina didesnė už palyginamąsias sąnaudas, bet ji mažesnė už dabartinę kainą, mokamą UAB „Vilniaus energija“. Vienas iš palankių sprendimų – nepardavinėti šilumos energijos, o naudoti ją saviems poreikiams patenkinti. Šildymo sezono metu jėgainė dirbs efektyviai, kadangi bus panaudojama visa pagaminta tiek šilumos, tiek ir elektros energija

Ne šildymo sezono laikotarpiu, šilumos poreikiai yra nedideli, o elektros išlieka tokie patys. Net išjungus vandens šildymo katilą ir optimizavus vidaus degimo variklių apkrovimus pagal elektros poreikį, pagaminamos šilumos energijos kiekis bus per didelis. Taigi, siekiant išvengti nuostolių, perteklinė šilumos energija turi būti panaudojama kitais būdais.



4.10 pav. Šilumos energijos kainų palyginimas

5 GAUTŲ REZULTATŲ APTARIMAS, IŠVADOS, REKOMENDACIJOS

Šiame darbe išnagrinėjus teisinius, technologinius bei ekonominius aspektus, buvo padarytos šios išvados ir sprendiniai:

1. Vilniaus oro uostas patenka į centralizuoto šilumos tiekimo zoną. Tuo atveju, jei pagaminta šilumos ir elektros energija bus naudojama savoms reikmėms tenkinti, turės būti pertvarkytas „Energijos rūšies naudojimo šildymui specialusis planas“. Tapus nepriklausomu šilumos gamintoju šio plano keisti nereikėtų.
2. Išnagrinėjus Vilniaus oro uosto poreikius, nustatytos projektinės energijos gamybos įrenginių galios: šiluminė galia – 4 MW, elektrinė – 2 MW, šaldymo galia – 0,9 MW.
3. Nagrinėjamu atveju tinkamiausias energijos gamybos įrenginys yra vidaus degimo variklis, o kuras – gamtinės dujos.
4. Planuojamai Vilniaus oro uosto infrastruktūros plėtrai turės būti atlikta atranka dėl poveikio aplinkai vertinimo (PAVa). Apytikslės išlaidos atrankos atlikimui siektų 2000 Eur (be PVM) ir darbai truktų 4 mėnesius. Tuo atveju, jei būtų nuspręsta, kad poveikio aplinkai vertinimas (PAV) turi būti atliktas, bendros išlaidos išaugtų iki 5000 Eur (be PVM) ir trukmė siektų nuo 6 iki 12 mėnesių. Prognozuojama, kad PAV atlikti nereikės.
5. Atlikus skaičiavimus nustatytas kamino aukštis siekia 15 metrų. Kamino diametras, įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius – 1,4 m, o įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius – 1,3 m. Nagrinėjamu atveju iš galimų toksogenų susidaro tik azoto oksidai.
6. Atlikus multikriterinį teritorijų vertinimą, nustatytos labiausiai tinkamos teritorijos yra A2 ir A3. Toks rezultatas gautas dėl geresnės strateginės padėties šilumos tiekimui, esamų inžinerinių tinklų pasiekiamumo ir VI „Oro navigacija“ rekomendacijų.
7. Jei dalis pagamintos elektros energijos būtų pardavinėjama, pradinės investicijos padidėtų 16850 Eur. Kadangi galimos parduoti elektros energijos kiekis yra nedidelis, o investicijos skiriasi ženkliai, siūloma elektros energiją gaminti tik savoms reikmėms.
8. Mažiausia šilumos savikaina gaunama įrengus du po 1 MW šiluminės galios vidaus degimo variklius ir 2 MW vandens šildymo katilą, kai nešildymo sezono metu pardavinėjama šilumos energija – 0,049 Eur/kWh_s. Mažiausia elektros savikaina gaunama taip pat įrengus du po 1 MW šiluminės galios vidaus degimo variklius ir 2 MW vandens šildymo katilą, kai vidaus degimo varikliai dirba pagal elektros poreikius savoms reikmėms – 0,069 Eur/kWh_{el}. Šiuo atveju savikaina mažiausia todėl, kad naudingai panaudojama visa pagaminta elektros energija.

9. Įrengus 4 MW šiluminės galios įrenginius, optimaliausia alternatyva abiejuose sklypuose yra visus metus gaminti elektros ir šilumos energiją tik savoms reikmėms. Trumpiausias iš nagrinėjamų alternatyvų atsipirkimo laikotarpis gaunamas dėl ženkliai mažesnių pradinė investicijų, kadangi šiuo atveju nereikia įrengti nei siurblinės, nei šilumokaitinės. Taip pat būtų mažesnės elektros tinklo sinchronizavimo išlaidos.
10. Įrengus 2 MW šiluminės galios įrenginius, nei viena alternatyva neatsiperka, kadangi dalį šiluminės energijos reiktų pirkti iš centralizuotų šilumos tinklų, kas labai padidina eksploatacines išlaidas.
11. Pradinėse investicijose nėra įvertintos projektavimo dalies išlaidos, tokios kaip techninio bei darbo projektų atlikimo kainos, specialiojo plano keitimas ir pan. Padidėjusios pradinės investicijos galėtų ženkliai įtakoti atsipirkimo laikotarpį. Tokio didelio energijos vartotojo kaip Vilniaus oro uostas, atsijungimas nuo centralizuotų tinklų yra rizikingas tiek ekonomine, tiek aplinkosaugine prasme.

6 LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Statybos techninis reglamentas STR 2.09.04:2008: Pastato šildymo sistemos galia: 2008 m. gegužės 12 d. įsakymu Nr. D1-248* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=320473&p_query=&p_tr2=
2. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Statybos techninis reglamentas STR 2.09.02:2005: Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas: 2005 m. birželio 09 d., Nr. D1-289* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_l?p_id=257930
3. ŠVENČIANAS, Petras ir Arvydas ADOMAVIČIUS. *Inžinerinė termodinamika: vadovėlis*. Kaunas: Technologija, 2011. ISBN 978-609-02-0047-6.
4. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŪKIO MINISTERIJA. *Įvairių kogeneracijos technologijų įrengimo galimybių ir sąnaudų studijos bei rekomendacijų dėl šių technologijų diegimo parengimas: Ataskaita: 2007 m., Nr. 012007* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
<http://www.ena.lt/Ataskaitos/Kogener.pdf>
5. VILNIAUS MIESTO SAVIVALDYBĖS TARYBA. *Sprendimas dėl energijos rūšies naudojimo šildymui specialiojo plano atnaujinimo: 2015 m. gruodžio 16 d., Nr. 1-283* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
<https://www.vilnius.lt/vaktai2011/Defaultlite.aspx?Id=3&DocId=30274000>
6. VILNIAUS MIESTO SAVIVALDYBĖS TARYBA. *Energijos rūšies naudojimo šildymui specialusis planas: 2013 m. gegužės 8 d., Nr. 1-1200* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
<https://www.vilnius.lt/vaktai2011/Defaultlite.aspx?Id=3&DocId=30225467>
7. LIETUVOS RESPUBLIKOS STATYBOS IR URBANISTIKOS MINISTERIJA. *Statybinė klimatologija RSN 156-94: Respublikinės statybos normos: oficialus leidinys*. Vilnius, 1995.
8. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. *Elektros energijos, pagamintos didelio efektyvumo kogeneracijos proceso metu, kilmės garantijų pažymėjimų išdavimo taisyklės: 2012 m. lapkričio 5 d., Nr. 1-216* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.2B417BB9D201>
9. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos šilumos ūkio įstatymas: 2003 m. gegužės 20 d., Nr. IX-1565*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per
http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=471252
10. GIMBUTIS, Gajus, ir kt. *Šiluminė technika: bibliografija*. Vilnius: Mokslas, 1993. ISBN 5420007517.

11. ŠVENČIANAS, Petras ir Kauno technologijos universitetas. *Biosferos apsauga šiluminėje energetikoje: vadovėlis šiluminės energetikos specialybės studentams*. Kaunas: Technologija, 1994.
12. VALSTYBĖS ĮMONĖ ENERGETIKOS AGENTŪRA. *2013 metų ataskaita apie pažangą įgyvendinant nacionalinius energijos vartojimo efektyvumo tikslus* [interaktyvus]. Vilnius, 2015 [žiūrėta 2016-04-29]. Prieiga per:
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/LT_Annual%20Report%202015_lt.pdf
13. EUROPOS PARLAMENTAS IR EUROPOS SĄJUNGOS TARYBA: *Europos parlamento ir tarybos direktyva: 2012 m. spalio 25 d., Nr. 2012/27/ES* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-01]. Prieiga per:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:LT:PDF>
14. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Nacionalinė darnaus vystymosi strategija: 2009 m. rugsėjo 16 d., Nr. 1247*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-01]. Prieiga per:
http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=396083
15. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos energetikos įstatymas: redakcija nuo 2013 m. lapkričio 7 d., Nr. XII-576*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_l?p_id=460668
16. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymas: redakcija nuo 2005 m. liepos 12 d., Nr. X-258*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-12]. Prieiga per:
http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=453920
17. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Mokesčio už aplinkos teršimą įstatymo Nr. VIII-1183 1, 3, 4 ir 5 priedėlių pakeitimo įstatymas: 2014 m. spalio 7 d., Nr. XII-1195*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-12]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/cc3636f0544111e48329c4b5fc070a74>
18. *Sustambinti statybos darbų kainų apskaičiavimai XXVI: pagal 2015 m. kovo mėn. skaičiuojamąsias resursų rinkos kainas*. Vilnius: Uždaroji akcinė bendrovė SISTELA, 2015. ISBN 1392-8945.
19. VILNIAUS ENERGIJA: *Energijos gamyba*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-16]. Prieiga per:
<http://vilniaus-energija.lt/content/energijos-gamyba>
20. KAUNO ENERGIJA: *Nepriklausomiems šilumos gamintojams*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-16]. Prieiga per:
<http://www.kaunoenergija.lt/verslui/nepriklausomiems-silumos-gamintojams-nsg/>

21. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų elektros energetikos sektoriuje teikimo tvarkos aprašas: 2012 m. liepos 18 d., Nr. 916* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=463339
22. VALSTYBINĖ KAINŲ IR ENERGETIKOS KONTROLĖS KOMISIJA: *Atsinaujinantys ištekliai; Dujos; Elektra; Šiluma; Vanduo*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-17]. Prieiga per:
<http://www.regula.lt/Puslapiai/default.aspx>
23. *Statinių statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamieji ekonominiai rodikliai XXIII: pagal 2015 m. kovo mėn. statinių statybos skaičiuojamąsias kainas*. Vilnius: Uždaroji akcinė bendrovė SISTELA, 2015. ISBN 1648-6099.
24. VILNIAUS VANDENYS: *Paslaugų kainos abonentams*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-19]. Prieiga per:
<http://www.vv.lt/lt/verslui/detail.php?ID=12406>
25. ESO: *Iš vidutinės įtampos tinklų*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016-05-22]. Prieiga per:
http://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/vartoju-elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymai-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra_102/kai-elektra-gaunama-is-vidutines-itampos-tinklu.html
26. ZALECKAITĖ, Justina ir Arvydas ADOMAVIČIUS. Oro uostų apsirūpinimo alternatyviaisiais energijos šaltiniais galimybės darnaus vystymosi aspektu. *Jaunųjų mokslininkų konferencijos „Pramonės inžinerija 2015“ pranešimų medžiaga* (p. 171 – 179). Kaunas: Technologija, 2015. e. ISBN 978-609-02-1165-6.