



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Lukas Jonas Daunoras**

**HIBRIDINĖS SISTEMOS ĮMONĖJE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Lekt. dr. Dainius Slušnys

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**HIBRIDINĖS SISTEMOS ĮMONĖJE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

**Vadovas**  
Lekt. dr. Dainius Slušnys

**Recenzentas**

**Projektą atliko**  
Lukas Jonas Daunoras

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Lukas Jonas Daunoras

(Studento vardas, pavardė)

621H63005 Elektros energetikos sistemos

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Hibridinės sistemos įmonėje tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m. Gegužės 23 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Lukos Jono Daunoro** baigiamasis projektas tema „Hibridinės sistemos įmonėje tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Daunoras, L. J. Hibridinės sistemos įmonėje tyrimas. *Elektros energijos magistro* baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Dainius Slušnys; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 60 psl.

## SANTRAUKA

Bėgant metams Lietuvos, kaip ir kitų Europos šalių, vienas iš svarbiausių uždavinių yra sumažinti aplinkos taršą bei susikurti energetinę nepriklausomybę. Vienas būdų tai pasiekti - atsinaujinančių energijos išteklių plėtra. Tačiau to nebūtina daryti tik valstybinis mastais. To galima siekti ir mažesniais vienetais, pavyzdžiui kuriant hibridines sistemas įmonėse.

Darbo tikslas - atlikti ekonominį efektyvumo tyrimą įmonės energijos poreikiams tenkinti taikant įvairias atsinaujinančių energijos išteklių technologijų panaudojimo galimybes ryšio su elektros energetikos sistema atveju.

Darbe yra nagrinėjama atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo galimybė įmonėje, sudarant įvairius elektros ir šilumos tiekimo variantus. Toks hibridinės sistemos panaudojimas leidžia išnaudoti kiekvienos energijos gamybos technologijos privalumus ir dalinai sumažinti trūkumus. Ekonominiu vertinimu nustatoma, kuris energijos tiekimo variantas yra efektyviausias.

*Reikšminiai žodžiai: hibridinės sistemos, įmonė, saulės energija, vėjo energija, šilumos siurbliai.*

Daunoras, Lukas Jonas. Research on Hybrid System in an Enterprise. Final project of *Master of energetics* / supervisor lect. dr. Dainius Slušnys; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems  
Kaunas, 2016. 60 psl.

## **SUMMARY**

During years Lithuania and other Europe countries are intensely trying to decrease nature pollution or to create energetic independence. One choice is the expansion of renewable energy resources. But it is not only to do in country scales. It can be also achieved in smaller scale too, for example, by creating hybrid systems in companies.

Objective of paper - to carry out economical efficiency research by applying various possibilities of using the technologies of renewable energy resources for meeting the needs of company in case of relation with electricity energy system.

The paper analyzes the possibilities of using renewable energy resources in company by forming various versions of electricity and heat supply. Application of hybrid system allows using advantages of each energy production technology and reducing disadvantages in part. Economic assessment determines which version of energy supply is most effective.

*Keywords: hybrid system, company, solar energy, wind energy, heat pumps.*

## TURINYS

SANTRUMPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	7
ĮVADAS .....	8
1. PASKIRSTYTOJI GENERACIJA IR MIKROTINKLAS .....	9
1.1. Paskirstytoji generacija.....	9
1.2. Paskirstytosios generacijos integracija į elektros energetikos sistemą.....	10
1.3. Aktyvūs elektros skirstymo tinklai.....	11
1.4. Mikrotinklas .....	12
1.5. Paskirstytosios energijos gamyba.....	13
1.6. Kogeneracinės elektrinės.....	15
1.6.1. Vidaus degimo variklis.....	16
1.6.2. Mikroturbinos.....	18
1.6.3. Kuro elementai .....	19
1.7. Saulės modulių sistemos .....	22
1.7.1. Monokristalinio silicio saulės moduliai .....	22
1.7.2. Polikristalinio (Multikristalinio) silicio saulės moduliai .....	22
1.7.3. Plonasluoksnio silicio saulės moduliai .....	23
1.8. Vėjo elektrinės.....	24
1.9. Šilumos siurbliai patalpoms ir vandeniui šildyti .....	26
1.10. Kiti energijos šaltiniai .....	27
1.11. Hibridinės šilumos ir elektros tiekimo sistemos.....	27
2. ĮMONĖS APKROVŲ GRAFIKAS .....	28
2.1. Apkrovos grafiko analizė .....	28
2.2. Energijos sąnaudos .....	30
2.3. Įmonės šilumos poreikio analizė .....	34
2.4. Energijos sąnaudų karštam vandeniui skaičiavimas .....	37
3. GENERACIJOS ŠALTINIŲ IR JŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS .....	38
3.1. Vėjo elektrinių charakteristikų tyrimas ir parinkimas.....	38
3.2. Saulės modulių charakteristikų tyrimas ir parinkimas .....	40
3.3. Šilumos siurbių charakteristikų tyrimas ir parinkimas.....	42
4. EKONOMINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS .....	44
4.1. Elektros ir šilumos energijų tarifai .....	44
4.2. Hibridinių energijos tiekimo variantų sudarymas .....	45
4.3. Variantų analizė.....	46

4.4. A ir B variantų jautrumo analizė .....	57
4.4.1. Saulės energijos supirkimo tarifo ir technologijų kainos įtakos tyrimas.....	49
4.4.2. Vėjo energijos supirkimo tarifo ir technologijų kainos įtakos tyrimas .....	49
4.4.3. Saulės elektrinės supirkimo tarifo ir įrengimų kainos priklausomybės kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs tyrimas .....	51
4.4.4. Vėjo elektrinės supirkimo tarifo ir įrengimų kainos priklausomybės kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs tyrimas .....	52
4.4.5. Ribinių elektros energijų tarifų nustatymas.....	52
4.4.6. Projektų jautrumo analizė „užsitęsusioms statyboms“ .....	55
4. IŠVADOS.....	54
5. LITERATŪRA .....	55

## SANTRUMPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

AEI - atsinaujinantys energijos ištekliai;  
PG - paskirstytieji generatoriai;  
EES - elektros energetikos sistema;  
ET - elektros tinklas;  
AEEŠ - alternatyvieji elektros energijos šaltiniai;  
KŠEŠ - kombinuotos šilumos ir elektros šaltiniai;  
VDV - vidaus degimo variklis;  
PEMFC - protonų keitimo membranos kuro elementai;  
PAFC - fosforo rūgšties kuro elementai;  
MCFC - lydyto karbonato kuro elementai;  
SOFC - kieto oksido kuro elementai;  
ŠS - šilumos siurbliai;  
VE - vėjo elektrinė;  
ES - Europos Sąjunga.  
PSO - perdavimo sistemos operatorius;  
SE - saulės elektrinė;  
SM - saulės fotoelektros modulis;  
NPV - dabartinė grynoji vertė;  
IRR - vidinė pelno norma.



## IVADAS

Dėl išaugusio energijos poreikio ir vis didėjančio žmonių susirūpinimo šiltnamio dujų emisija labai padidėjo technologijų, naudojančių atsinaujinančius energijos šaltinius, vystymasis. Be to, Lietuva įsipareigojo plačiau naudoti atsinaujinančius energijos išteklius ir tai yra vienas iš nacionalinės energetikos strategijos uždavinių t.y. atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) dalies didinimas galutiniame energijos suvartojime [1,2]. Atsinaujinantys ištekliai simbolizuoja „švarų“ elektros energijos gaminimą, dažniausiai naudojami saulės, vėjo, biodyzelino ir pan. šaltiniai.

Mažesni šaltiniai, dar vadinami paskirstytaisiais generatoriais, tampa lankstesni, t.y. jiems paprasčiau sąveikauti su didžiuoju tinklu - generuojant, gaminant ir kitais atvejais. Paskirstytieji generatoriai yra labai naudingi vartotojams, nes išauga elektros energijos patikimumas, galimas nenutrūkstamas elektros energijos naudojimas, mažesnės išlaidos energijos transportavimui. Dėl šių priežasčių buvo pradėti kurti mikrotinklai. Jie gali veikti dviem režimais t.y. prijungti prie elektros energetikos sistemos (EES) arba atskirai nuo jos. Be to jie sąveikauja šildymo bei šaldymo sistemomis, sumažindami kenksmingų dujų emisiją. Mikrotinklai gali būti susidaryti visiškai iš atsinaujinančių elektros energijos generatorių arba tik dalinai, pvz. kai naudojamas iškastinis kuras.

Jei naudojama daugiau nei viena AEI technologija, galima sukurti hibridinę el. en. tiekimo sistemą, kuri padėtų išnaudoti kiekvienos technologijos savitus privalumus. Jei pasigaminta energija sunaudojama savoms reikšmėms, išvengiami energijos nuostoliai atsiradę skirstomajame tinkle. Taip sumažėja pirminio kuro poreikis, kas sumažina teršalų kiekį.

### **Darbo tikslas**

Atlikti ekonominį efektyvumo tyrimą įmonės energijos poreikiams tenkinti taikant įvairias AEI technologijų panaudojimo galimybes ryšio su elektros energetikos sistema atveju.

### **Darbo uždaviniai**

1. Sudaryti įmonės apkrovų charakteristikas.
2. Sudaryti paros ir metinį apkrovų grafikus.
3. Iš kelių tos pačios generacijos šaltinių technologijų parinkti ekonomiškai efektyvius.
4. Sudaryti įvairius energijos gamybos su skirtingais generacijos šaltiniais variantus.
5. Užtikrinti energijos balansą.
6. Atlikti sudarytų variantų ekonominę analizę ir parinkti efektyviausią.

## **1. PASKIRSTYTOJI GENERACIJA IR MIKROTINKLAS**

### **1.1. Paskirstytoji generacija**

Šiuolaikiniame pasaulyje elektros sistemos susiduria su daugybe problemų – iškastinis kuras, kuris yra eikvojamas be saiko, prastas energijos efektyvumas, aplinkos teršimas. Tai skatina gaminti vietinę elektros energiją skirstomuosiuose tinkluose, naudotis alternatyviais elektros energijos šaltiniais (AEEŠ). Paprastai AEEŠ yra nedidelės galios vėjo jėgainės, saulės moduliai, kuro elementai, mikroturbinos, vidaus degimo varikliai ir kt. Beveik visus atsinaujinančius energijos šaltinius bei kitus nedidelio galingumo šaltinius, kurie yra prijungti skirstomųjų elektros tinklų (ET) ir kurie gamina el. energiją tik netoliese esantiems vietiniams vartotojams, o taip pat šaltinius nesiekiančius 50 MW galios, galima vadinti paskirstytaisiais generatoriais (PG), o jų elektros energijos gamybos procesą - paskirstytąja generacija. "Paskirstytosios generacijos" terminas buvo sukurtas siekiant išsiskirti nuo tradicinės centralizuotos energijos gamybos. Prie skirstomojo tinklo prijungus paskirstytuosius generatorius, tokį tinklą galima vadinti aktyviu skirstomuoju tinklu.

Griežtai apibrėžti PG yra sunkoka, nes įvairiuose pasaulio regionuose jų savybės, dėl skirtingų elektros sistemų dydžių, skiriasi. Galima išskirti šias pagr. Paskirstytųjų genratorių savybes:

1. Nėra centralizuotai planuojamos el. energijos gamybos.
2. Generuojama galia neviršija 50MW [7],
3. Jungiami į skirstomąjį tinklą arba tiesiai prie vartotojo.

### **1.2. Paskirstyta generacija elektros energetikos sistemose, integravimas**

Nepaisant įprastinės elektros tiekimo sistemos privalumų, paskirstytosios generacijos plėtrą skatina technologijų tobulėjimas, ekonominės ir aplinkosauginės naudos siekimas. Pagrindiniai PG privalumai yra tokie:

1. Dėl sparčiai didėjančio elektros energijos poreikio, nuolat eikvojami iškastinio kuro rezervai, todėl ieškomi atsinaujinantys energijos ištekliai, kaip alternatyva.

2. Aplinkos taršos mažinimas ir globalinis atšilimas teikia pirmenybę atsinaujintiems energijos ištekliais, o ne iškastiniams. Pagal Kioto protokolą Europa ir Jungtinės Karalystės planuoja sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (anglies dioksidas, metanas) emisiją kovojant su klimato kaita ir visuotiniu atšilimu [1], Tikimasi, kad didesnis atsinaujinančių energijos išteklių išnaudojimas sukurs ekologiškai švarią, su daug mažesniu poveikiu, aplinką.

3. Paskirstytoji generacija leidžia plačiau panaudoti kogeneraciją, gaminant ir elektrą ir šilumą, taip sumažinant, šilumos ir elektros nuostolius perdavimo ir skirstomuosiuose tinkluose.

4. Lengviau surasti, vietą elektrinės statybai. Kogeneracinės elektrinės turi būti įrengiamos kuo arčiau šilumos vartotojų, nes šilumos transportavimas dideliais atstumais nuostolingas. Todėl trumpesnis statybos laikas ir mažesni kapitalo indėliai statant tokias elektrines. Labai sumažėja investicijos energijos transportavimo ir paskirstymo sistemoms įrengti. Tokios elektrinės dirba žemos įtampos tinkle, todėl gali būti prijungtos prie skirstomojo tinklo arba sudaryti mikrotinklą. Mikrotinklas vėl gali būti prijungtas prie skirstomojo tinklo arba dirbti pusiau-autonominiu režimu.

5. Autonominis ir prie tinklo prijungtos elektrinės režimų metu pagerėja tiekiamos energijos kokybė, išauga energijos tiekimo patikimumas.

6. Skatinama konkurencija tarp elektros energijos gamintojų.

### **1.3. Aktyvūs elektros skirstymo tinklai**

Dabartinių elektros tinklų laukia didelės permainos, kur iš pasyvių elektros skirstomųjų tinklų su vienkrypčiu elektros energijos perdavimu bus pereinama į aktyvius skirstomuosius tinklus su dvikrypčiu elektros energijos perdavimu [2]. Skirstomieji tinklai be PG yra pasyvūs, tol kol elektros energija tiekama iš didelės galios elektrinių nutolusių nuo vartotojų. Tampa aktyvūs tuomet, kai prijungiami PG šaltiniai, o pagaminta elektros energija tiekama tiesiogiai žemos įtampos vartotojams. Besivystančios šalys turėtų remtis tvarios elektros energijos infrastruktūros plėtra, o išsivysčiusios šalys turėtų imtis techninių ir ekonominių uždavinių skirstomųjų tinklų pertvarkymui. Siekiant panaudoti švarią energiją iš paskirstytosios generacijos šaltinių, aktyvūs skirstomieji tinklai pasitelkiant naujausias technologijas sudarys mikrotinklus ar "protinguosius tinklus" (Smart grid).

Veiksniai kurie paskatino aktyvių skirstomųjų tinklų evoliuciją:

1. Siekimas patenkinti vartotojų lūkesčius ir tiekti aukštos kokybės patikimą elektros energiją.

2. Planai iki 2050 m. sumažinti išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 80-95 %, lyginant su 1990 m. kiekiu [4,17],

3. Motyvacija skirstomųjų tinklų operatoriui efektyviai plėtoti ir valdyti skirstomuosius tinklus.

Siekiant įgyvendinti aktyviųjų tinklų pažangų veikimą ir kontrolę, reikės atlikti išsamius tyrimus. Mokslinių tyrimų dėmesys turėtų būti šiose srityse: tinklo valdymo įtaisai, realaus laiko modeliavimas, patobulinti davikliai ir jų matavimai.

## 1.4. Mikrotinklas

Mikrotinklai yra nedidelės apimties, žemos įtampos, kombinuotos energijos skirstymo tinklai, skirti tiekti elektros ir šilumos energiją mažoje bendruomenėje, pvz.: gyvenamiesiems kvartalams, priemiesčio vietovėms, visuomeninės paskirties pastatams, pramonei, prekybos centrams [18]. Iš esmės mikrotinklai tai vieno ar kelių PG prijungtų prie aktyvių skirstomųjų tinklų sistema. PG tai dažniausiai alternatyvieji elektros energijos šaltiniai gaminantys elektros energiją tik netoli esantiems vietiniams vartotojams. PG turi turėti įrengtą elektroninę valdymo įrangą, kurios tikslas užtikrinti visų PG kaip vienos bendros sistemos veikimą, palaikant elektros energijos poreikius ir kokybę.

Pagrindiniai skirtumai taip Mikrotinklo ir įprastinės elektrinės yra šie:

1. PG yra daug mažesnio pajėgumo lyginant su įprastinės centralizuoto elektros tiekimo elektrinės generatoriais.
2. Jeigu PG elektros energijos įtampos dydis toks pat kaip skirstomųjų tinklų, tai jie gali tiesiogiai būti prijungti prie skirstomųjų tinklų.
3. PG paprastai yra arti vartotojų, todėl elektros ir šilumos vartotojams užtikrinama tiekiamos energijos kokybė ir nežymūs energijos perdavimo nuostoliai.

Pagrindinis mikrotinklo privalumas yra tai, kad jis yra valdoma elektros energetikos sistemos dalis. Jis gali būti valdomas kaip viena bendra apkrova. Toks valdymas ir laikymasis elektros tinklų taisyklių nepažeidžia elektros energijos tiekimo patikimumo ir saugumo. Vartotojų požiūriu, mikrotinklai yra naudingi tenkinant vietinius jų elektros ir šilumos poreikius. Jie gali tiekti nepertraukiamą elektros energiją, pagerinti patikimumą, sumažinti energijos perdavimo nuostolius bei užtikrinti įtampos reguliavimą. Aplinkos apsaugos požiūriu, mikrotinklai sumažina aplinkos taršą ir globalinį atšilimą panaudojant mažiau anglies dioksido išskiriančias technologijas.

Mikrotinklas veikia dviem režimais: salos ir kai prijungtas prie tinklo. Kai mikrotinklas prijungtas prie tinklo, galia gali būti tiekama tiek į tinklą tiek iš jo. Įvykus pagrindiniame tinkle trikdžiui, mikrotinklas pereina į salos režimą tiekdamas energiją svarbioms apkrovoms. Tai gali būti pasiekta atjungiant visą mikrotinklą atidarius pag. jungtuvą arba atjungiant linijas jungtuvų pagalba. Pirmu atveju visas mikrotinklas dirbs autonominiu režimu, kur visi mikrošaltiniai maitins linijų apkrovas. Antru atveju energija tiekama tik svarbioms linijų apkrovoms.

Veikimas ir valdymas mikrotinklo skirtingais režimais yra kontroliuojamas per vietinius mikrošaltinių valdiklius (ŠV) ir centrinį valdiklį (CV) kurių funkcijos yra šios [5]:

1. *Mikrošaltinio valdiklis* - Pagrindinė ŠV funkcija yra nepriklausomai valdyti įtampą ir galios srautą reaguojant į tinklo trikdžius ir apkrovos kitimą. Nepriklausomas valdymas reiškia,

kad nėra ryšio su CV. ŠV taip pat dalyvauja ekonomiškos generacijos planavime, apkrovos kitimo sekime bei kaupiklių valdyme. Svarbus dalykas yra ŠV greitas reagavimas į vietinį įtampos ir srovės kitimą, nepriklausomai nuo gautų duomenų iš kitų ŠV.

2. *Centrinis valdiklis* - CV užtikrina bendrą mikrotinklo sklandų darbą valdant ŠV. Jos uždaviniai: a) išlaikyti leistinąsias nurodytos įtampos ir dažnio reikšmes, b) užtikrinti energijos optimizavimą. Greitai reaguoja į tinklo besikeičiančius parametrus ir siunčia juos į ŠV. CV įprastai dirba automatiniaame režime su galimybe valdyti rankiniu būdu. Pagrindiniai CV moduliai yra šie:

- *Energijos valdymo modulis* (EVM) - EVM siunčia nustatytas aktyviosios ir reaktyviosios galios, įtampos ir dažnio reikšmes kiekvienam ŠV. Parametrų vertės yra nustatomos pagal mikrotinklo poreikius. EVM turi numatyti:

- a) Mikrošaltiniai tiekia šilumos ir elektros energiją tenkinant vartotojus.

- b) Mikrotinklai dirba atsižvelgiant į sudalytas sutartis su skirstomaisiais tinklais.

- c) Mikrotinklai turi mažinti sistemos nuostolius ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį.

- d) Mikrošaltiniai turi dirbti ekonomiškiausiu režimu.

- *Apsaugos koordinavimo modulis* (AKM) - AKM reaguoja į mikrotinklo ir pagrindinio tinklo trikdžius, kad užtikrinti efektyvią mikrotinklo apsaugą. Keičiantis režimams įvertina trikdžių pavojingumą, tam užtikrinti reikalingas glaudus ryšys tarp AKM ir ŠV. Įvykus gedimui pagrindiniame tinkle mikrotinklas pereina į salos režimą, energiją tiekdamas tik svarbioms apkrovoms. Tačiau esant nedideliems trikdžiams mikrotinklas išlieka prijungtas prie pagrindinio tinklo kol trikdys yra pašalinamas. Jeigu tinkle atsiradęs trikdys kelia pavojų mikrotinklo stabilumui, tuomet AKM gali pilnai atjungti mikrotinklą nuo pagrindinio tinklo. AKM taip pat sinchronizuoja mikrotinklo darbą kartu su pagrindiniu tinklu, po avarijos.

## 1.5. Paskirstytosios energijos gamyba

Vienas iš pagrindinių mikrotinklų tikslų yra sujungti netradicinių/alternatyviosios energijos šaltinių privalumus su didelį efektyvumą turinčiomis kombinuotomis šilumos ir elektros energijos gamybos (KŠEŠ) sistemomis. Toks efektyvus energijos vartojimas mažina aplinkos taršą gamindamas "švarią" energiją. PG gali būti įvairių tipų su įvairiomis darbo ir pirminio energijos nešėjo savybėmis. Pagrindiniai tipai ir plačiausiai naudojami yra tokie [6,7]:

- *Vidaus degimo variklių generatoriai* [8,9,14]. Jie gali būti tiek pastoviu, tiek ir laikinu energijos šaltiniu. Vidaus degimo varikliai yra pakankamai stabilūs ir lengvai valdomi, todėl beveik visais atvejais yra naudojami sinchroniniai generatoriai.

- *Mažos galios hidroelektrinės* [8]. Šios elektrinės gali būti įrengtos visur, kur yra susikaupę vandens resursai. Dauguma mažųjų hidroelektrinių neturi vandens baseinų, kuriuose būtų galima sukaupti vandens atsargas ir gaminti pikinę elektros energiją, todėl dauguma jų dirba tik, kai yra vandens. Tokio tipo elektrinėse gali būti panaudoti tiek sinchroniniai, tiek ir asinchroniniai generatoriai,
- *Dujų turbinos* [8,10,11], Dujų turbinų generatoriai paprastai yra pastovūs elektros energijos šaltiniai. Dujų turbina yra pakankamai lengvai valdoma, todėl nesunkiai gali būti panaudota elektros tinklo darbinių parametrų palaikymui. Dažniausiai elektros energija, yra gaminama panaudojant sinchroninį generatorių.
- *Mažos galios termofikacinės elektrinės* [15], Tokio tipo elektrinėse gali būti naudojamas tiek mineralinis kuras, tiek ir biokuras.
- *Kuro elementai* [12,13,8], Kuro elementų generatorius yra pakankamai stabilus šaltinis tinkantis bazinės elektros energijos gamybai. Šis generatorius negali būti naudojamas darbinių elektros energijos parametrų palaikymui, nes jo dinaminiai procesai yra palyginti lėti. Vandenilio gamyba dar nėra išvystyta taip kaip įprastinių kuro rūšių, o ir saugojimo sąlygos ypatingos. Tokio tipo generatoriai yra naudojami hibridinėse atsinaujinančios elektros energijos šaltinių elektrinėse, kur nestabilių parametrų elektros energija yra verčiama vandeniliu, o vėliau, sukauptus tam tikrą kiekį, kuro elementų generatoriaus pagalba, į elektros tinklą atiduodama jau stabilių parametrų elektros energija. Kadangi kuro elementų generatorius yra nuolatinės srovės šaltinis, todėl jungiantis prie tinklo yra būtina naudoti invertorių.
- *Vėjo elektrinės* [8], Vėjo generatoriai yra atsinaujinantys elektros energijos šaltiniai. Viena iš pagrindinių problemų, statant vėjo elektrinės, yra tinkamos vietos suradimas. Vėjo elektrinės yra reikalinga parinkti tokią vietą, kur geriausios vėjo charakteristikos, o pagal vėjo parametrus yra nustatoma vieta, aukštis bei vėjo generatoriaus tipas. Vėjo generatoriuose naudojami tiek asinchroniniai, tiek ir sinchroniniai generatoriai. Vėjo elektrinės jungiamos prie tinklo dvejais būdais - tiesiogiai prijungiamos prie tinklo ir prijungiamos per apgręžiklius.
- *Saulės elektrinės* [8], Tokio tipo elektrinės statomos ten, kur tikėtinas didžiausias saulės energijos kiekis, tačiau tokia elektrinė gali būti statoma papildomu elektros energijos šaltiniu hibridinėse elektrinėse. Saulės elektrinėje elektros energiją sukuria šviesai jautrūs elementai. Priklausomai nuo apšvietimo intensyvumo šviesai jautriuose elementuose susidaro potencialų skirtumas - to reiškinyje nuolatinė srovė. Saulės elektrinės prie skirstomojo tinklo jungiamos tik per keitiklį.

## 1.6. Kogeneracinės elektrinės

Šiandien, kai dujų kaina nuolat, kyla, šilumos ir elektros gamyba vienu metu kogeneracinėse elektrinėse yra ypač patrauklus pasiūlymas, leidžiantis užtikrinti patikimą šilumos ir elektros energijos tiekimą pramonei ir gamybai, ir gauti didžiausią investicijų grąžą.

Kogeneracija tai viena populiariausių energiją taupančių technologijų, o kogeneracinės elektrinės - tai vienalaikis ir nuoseklus iš to paties kuro gautos elektros energijos ir šilumos panaudojimas. Gaminant elektros energiją, didelis šilumos kiekis gaunamas kaip šalutinis produktas. Naudojant tradicinius elektros energijos gamybos metodus, ši šiluma iššvaistoma, tačiau kogeneracinės elektrinės leidžia ją utilizuoti. Kitaip tariant, susigrąžinta iš gamybos šiluma naudojama šildymui arba aušinimui, paprastai su absorbciniu aušintuvu. Tai sumažina perdavimo ir paskirstymo nuostolius, kurie atsiranda deginant kurą, ir didina sistemos veiksmingumą. Šilumos naudojimas ir šildymui, ir aušinimui vadinamas trigeneracija.

Kogeneracinė įranga dažniausiai naudojama pramonėje, prekyboje ir kai kuriose viešojo sektoriaus srityse - daugiausia tose įstaigose, kurioms reikia labai daug šilumos, pavyzdžiui, ligoninėse, universitetuose, laisvalaikio centruose, biuruose ir mažmeninės prekybos įmonėse. Kogeneracinių elektrinių panaudojimą galima suskirstyti į tris kategorijas:

1. Intensyvaus elektros energijos naudojimo: ligoninės, biurai, prekybos centrai, logistikos centrai, ir kt. Čia pagrindinis kogeneracinės elektrinės instaliavimo tikslas yra elektros energijos gamyba. Tokios sistemos naudoja apkrovos balansavimo radiatorių - išmetimo grandinės apylanką.

2. Lygiaverčio šilumos ir elektros energijos naudojimo: cemento gamyklos, chemijos pramonės įmonės, maisto pramonės bendrovės. Šiuo atveju šiluma ir elektros energija yra vienodai svarbios, o kogeneracinės elektrinės būna daug sudėtingesnės - joms reikalingi radiatoriai ir šilumos akumulatoriai.

3. Intensyvaus šilumos naudojimo: šiltnamiai, centrinio šildymo įmonės, centralizuotos garo gamyklos, kt. Pagrindinis kogeneracinės įrangos instaliavimo tikslas šiais atvejais yra šilumos gamyba. Sistemos naudoja tiesioginio ryšio šilumos akumulatorius, kuries gali būti karšto vandens arba garo grandinės.

Be abejo, elektros gavimas iš netradicinių atsinaujinančių energijos šaltinių (saulės energija, geoterminė energija, ir kt.) yra žymiai "švaresnis", turintis nemažą paklausą, būdas. Tačiau patenkinti visų elektros energijos vartotojų poreikį tokiu būdu neįmanoma. Taigi, kogeneracinės sistemos - tai puiki ir perspektyvi alternatyva, tuo pačiu metu leidžianti įmonėms tapti mažiau priklausomomis nuo vietinių elektros energijos paskirstymo tinklų. Tipiškos dujinio variklio naudingos energijos išeiga yra lygi 42% viso sunaudoto dujinio kuro energetinės vertės

[6], Daugiau energijos iš variklio galima atgauti susigrąžinant šilumą iš tarpinio aušintuvo, variklio aušinimo kontūro, tepimo alyvos aušinimo vandens, o taip pat - iš išmetamųjų dujų. Tai suteikia galimybę susigrąžinti maždaug 90% visos sunaudotos energijos.

Atsižvelgiant į pramonės įmonių interesus darbe toliau bus apžvelgtos šios kogeneracinių elektrinių technologijos:

1. Vidaus degimo varikliai
2. Mikroturbinos;
3. Kuro elementai.

Dėl per mažo ar per didelio elektrinių galingumo nenagrinėjamos šios kogeneracinių elektrinių technologijos: Stirlingo variklis, kombinuoto ciklo dujų sistema, dujų turbina su šilumos atgavimo sistema, priešslėginė garo turbina, kondensacinė garo turbina.

### **1.6.1. Vidaus degimo variklis**

Vidaus degimo variklis (VDV) - variklis, naudojantis energiją, išsiskiriančią iš uždareme degimo skyriuje degančio kuro. Vidaus degimo varikliai yra plačiai paplitusi ir puikiai pažystama technologija, kurios elektrinė galia svyruoja nuo kelių kilovatų iki 5 MW. Vidaus degimo varikliai gali būti naudojami kogeneracinėse elektrinėse, kuriose, be elektros energijos, dar gaminamas karštas vanduo arba žemų parametrų garas. Vidaus degimo varikliuose elektra gaminama efektyviau nei dujų turbinose, tačiau labiau komplikotas atliekamos šilumos panaudojimas, nes ji pasiskirsčiusi tarp išmetamųjų dujų ir variklio aušinimo sistemos.

#### *Veikimo principas*

Egzistuoja du pagrindiniai vidaus degimo variklių tipai, tinkami elektros energijos gamybai: Otto ciklu paremti varikliai, kuriuose kuro ir oro mišinys uždegamas kibirkštimi, ir vadinamieji dyzeliniai varikliai, kuriuose kuro ir oro mišinys užsidega savaime dėl suspaudimo.

Daugumos vidaus degimo variklių veikimas pagrįstas keturiais taktais. Pirmasis taktas yra įsiurbimas: šio takto metu stūmoklis juda žemyn, atidaromas įleidimo vožtuvas ir į cilindrą įsiurbiamas oro ir kuro mišinys. Antrasis darbo taktas yra suspaudimas: šio etapo metu įleidimo ir išleidimo vožtuvai būna uždari, stūmoklis juda aukštyn, ir cilindre esantis darbo mišinys suspaudžiamas. Trečiasis taktas yra išsiplėtimas: šio takto metu cilindre baigia degti oro ir kuro mišinys, susidaro didelis slėgis, kurio veikiamas stūmoklis juda žemyn ir suka veleną. Ketvirtasis darbo taktas yra išmetimas: stūmokliui judant aukštyn per atsidariusį išmetimo vožtuvą pašalinamos atidirbusios dujos.

Kogeneracinėse elektrinėse dažniausiai naudojami Otto ciklu veikiantys stūmokliniai vidaus degimo varikliai. Degimo metu kuro energija transformuojama į veleno mechaninį darbą



ir šiluminę Velenas suka generatorių o šis generuoja elektros energiją. Šiluminė energija gali būti gaunama iš atidirbusių dujų ir (arba) nukreipiama nuo aušinančio variklio agento. Kaip jau buvo minėta, Šiluminė energija dažniausiai gaunama karšto vandens arba žemų parametrų garo pavidalu.

**Sistemas efektyvumas.** Vidaus degimo variklių efektyvumas priklauso nuo darbinių dujų suspaudimo laipsnio, variklio sūkių skaičiaus ir daugelio kitų veiksnių. Dyzelinių variklių elektros . gamybos efektyvumas yra didesnis ir siekia 30-50 %, o kibirkštinio uždegimo variklių elektros gamybos efektyvumas svyruoja nuo 25 iki 45 %. Bendrasis kogeneracinės elektrinės su vidaus degimo varikliu efektyvumas kinta nuo 70 iki 80 % [16].

**Ekologiniai aspektai.** Pagrindiniai į aplinką išmetami teršalai yra azoto oksidai (NO<sub>x</sub>), anglies monoksidas (CO) ir lakieji organiniai junginiai. Kitų teršalų, pvz., sieros oksidų (SO<sub>x</sub>), kietosios dalelės priklauso nuo naudojamos kuro rūšies. Sieros oksidų kiekį išmetamuosiuose dūmuose reikia mažinti pasirenkant nesieringą kurą. Kietosios dalelės išmetamos į aplinką, kada kuras yra peleningas, ir jame yra metalų priemaišų. Kietosioms dalelėms sumažinti išmetamuosiuose dūmuose naudojami filtrai. Azoto oksidų ir anglies monoksido kiekiui išmetamuosiuose dūmuose sumažinti gali būti naudojama degimo žemoje temperatūroje technologija, katalizatoriai (juos naudojant padidėja eksploatacinės išlaidos) ar kita technologija.

#### **Privalumai:**

1. Aukštas elektros generavimo efektyvumas plačiame apkrovimo intervale
2. Platus įrenginių galios spektras
3. Greitas paleidimas
4. Santykinai mažesnės investicijos, tenkančios 1 kWe
5. Gali dirbti atskirtas nuo bendro tinklo

#### **Trūkumai:**

1. Reikia pastoviai aušinti, net jei šiluma nepanaudojama
2. Didelė teršalų emisija į aplinkos orą.
3. Aukštas žemo dažnio triukšmo lygis
4. Didelės priežiūros sąnaudos

**Pritaikymo sritis.** Vidaus degimo varikliai puikiai tinka kogeneracinėse elektrinėse. Kadangi vidaus degimo variklį galima greitai paleisti ir gana lengvai keičiama apkrova, jis gali būti naudojamas kaip rezervinis įrenginys arba įrenginys pikiniams poreikiams patenkinti. Vidaus degimo variklių galia gali būti didinama komplektuojant kelis įrenginius.

## 1.6.2. Mikroturbinos

Mikroturbinos yra plačiai naudojamos paskirstytosios generacijos sistemose kaip šilumos ir elektros energijos gamybos šaltinis. Šiuo metu jie turi didžiausią perspektyvą būti panaudoti mikrotinkluose. Mikroturbinos - mažos galios paprasto ciklo dujų turbinos. Mikroturbinų galios svyruoja nuo 25 kW iki 350 kW.

### *Veikimo principas*

Mikroturbinos paprastai būna vieno veleno arba dviejų velenų. Mechaninei energijai perduoti rotorijų velenai gali būti jungiami nuosekliai - toks įrenginys vadinamas vieno veleno turbina, o jeigu velenas jungiamas prie vartotojo atskirai arba velenai jungiami reduktoriumi (lygiagrečiai) - įrenginys vadinamas dviejų velenų. Vieno veleno blokas yra didelio greičio sinchroninė mašina su kompresoriumi ir turbina ant to paties veleno. Šių turbinų greitis svyruoja nuo 50,000 iki 12,000 aps. Dviejų velenų turbinos velenas sukasi 3,000 aps. greičiu, nes pagrindinėms turbinų apsukoms sumažinti naudojamos mechaninės pavaros - reduktorius. 2-ame paveikslėlyje pateiktas vieno veleno mikroturbinos modelis, 3-ame - dviejų velenų mikroturbinos modelis. Skirtingai nuo tradicinių atsarginių elektros tiekimo generatorių, mikroturbinos skirtos veikti ilgą laiką ir reikalauja mažai priežiūros.

Pagrindinis dviejų velenų turbinos privalumas tai, kad tokioje sistemoje nebereikia įtampos keitiklio. Šiuo atveju generatorius su turbina sujungtas per pavarų dėžę, kad dirbtų 50/60 Hz dažniu. Mikroturbinų generatoriai gali būti dviejų tipų: sinchroniniai arba asinchroniniai generatoriai. Asinchroninių generatorių trūkumas tas, kad jie jungiami prie tinklo per brangius keitiklius. O keitiklių trūkumas, kad jie aukštųjų harmonikų šaltinis. Šios harmonikos eliminuojamos naudojant sinchroninį generatorių su reduktoriumi. Be to reduktorius kur kas paprastesnis įrengimas lyginant su sudėtingais elektroniniais prietaisais. Tačiau naudojant reduktorius pagrindinis trūkumas yra tai, kad joje atsiranda elektros nuostoliai kurie sumažina sistemos efektyvumą.

**Sistemos efektyvumas.** Mikroturbinų gaminamos elektros ir šilumos efektyvumas priklauso nuo daugelio veiksnių. Vienas iš jų yra degimo temperatūra. Mikroturbinose degimo temperatūra yra 850-980 °C, todėl galima naudoti palyginti nebrangias medžiagas, tačiau kartu mažėja elektros gamybos efektyvumas. Jam padidinti iš kompresoriaus išeinantis suslėgtas oras šildomas atidirbusiais degimo produktais - taip mažiau sunaudojama kuro ir kartu didėja elektros gamybos efektyvumas. Bendrasis mikroturbinų su rekuperatoriumi elektros ir šilumos gamybos efektyvumas siekia 65-75 %. Elektros gamybos efektyvumas svyruoja nuo 20 iki 30 %. Taip pat mikroturbinos darbo efektyvumui turi įtakos jos apkrova ir kompresoriaus oro suslėgimo santykis.

**Ekologiniai aspektai.** Jei naudojamas iš anksto sumaišytas kuras ir oras, NO<sub>x</sub> emisija nesiekia papildomai dūmų valyti nereikia.

1. Maži gabaritai ir žemas triukšmo lygis.
2. Patikimos, mažai judamųjų dalių.
3. Efektyvumas panaudojant šilumos energiją gali būti didesnis už 80%.
4. Mažai teršia aplinką.
5. Ilga eksploatavimo trukmė.
6. Paprastas montavimas.

**Pritaikymo sritis.** Iš mikroturbinos gautą šiluminę energiją galima naudoti vandeniui šildyti arba žemų parametrų garui gaminti. Mikroturbinų pagrindu veikiančios kogeneracinės elektrinės gali tiekti šilumą ir elektrą nedideliems komerciniams pastatams: mažoms pramonės įmonėms, restoranams, viešbučiams, biurams,. Šilumą, gautą iš mikroturbinų, galima naudojama pastatų šildymui, šiltnamiuose, taip pat gamybiniais procesams, pvz., sausinimui. Mikroturbinas galima pritaikyti ir trigeneracijos sistemoje.

### 1.6.3. Kuro elementai

Kuro elementų veikimo principas skiriasi nuo tradicinių elektros gamybos technologijų ir yra labiau, panašus į elementų (baterijos) veikimą. Šiuo atveju nuolatinė elektros srovė gaunama dėl elektrocheminio proceso, o ne dėl tiesioginio kuro deginimo. Esant nepertraukiamam kuro tiekimo srautui elektros energija kuro elementuose gali būti gaminama nepertraukiamai.

#### *Veikimo principas*

Kuro elementus sudaro šie pagrindiniai komponentai: vandenilio regeneratorium, sekcija, kurioje vyksta patys elektrocheminiai procesai, ir elektros srovės inverteris. Vandenilio regeneratorium skirtas vandeniliui gaminti. Sekcijoje, kurioje vyksta elektrocheminiai procesai, yra anodas (neigiamai įkrautas elektrodas), katodas (teigiamai įkrautas elektrodas) ir elektrolitas (žiūrėti 2 pav.). Vandenilis tiekiamas anodo link, kur katalizatorium skatina vandenilio atomus skilinti į elektronus ir protonus. Elektronai elektros srove teka elektros grandine katodo link. Šią elektros srovę galima naudoti pagal paskirtį. Katodo link tiekiamas ir deguonis. Tuo pačiu metu protonai elektrolitu skverbiasi katodo link, kur reaguoja su deguonimi ir virsta vandeniu. Katalizatorium paspartina jungimosi procesą. Elektros srovės inverteris nuolatinę elektros srovę verčia kintamąja.

Kuro elementai paprastai klasifikuojami pagal naudojamą elektrolitą. Skiriamos šios pagrindinės kuro elementų rūšys ir jų darbinės temperatūros:

1. Protonų keitimo membranos kuro elementai (PEMFC), darbinė temperatūra - 80-110°C.

2. Fosforo rūgšties kuro elementai (PAFC), darbinė temperatūra - 20011.
3. Lydito karbonato kuro elementai (MCFC), darbinė temperatūra - 650°C.
4. Kieto oksido kuro elementai (SOFC), darbinė temperatūra - 1,000X1.

#### *Protonų keitimo membranos kuro elementai (PEMFC)*

PEMFC veikia žemesnėje nei 100 °C temperatūroje. Tai leidžia PEMFC kuro elementam greitai pasiekti darbinę būseną. Elektros generavimo efektyvumas siekia iki 50 %. Šio tipo kuro elementai leidžia prisitaikyti prie greitai kintančio elektros energijos poreikio, todėl ypač tinka automobiliuose. Jų galia paprastai būna 50 - 250 kW.

#### *Fosforo rūgšties kuro elementai (PAFC)*

PAFC kaip elektrolitas naudojama fosforo rūgštis. Šio tipo kuro elementu galima įsigyti rinkoje komerciniais pagrindais. PAFC generuojamos elektros energijos efektyvumas didesnis kaip 40 %, jie tinkami naudoti kogeneracinėse elektrinėse (bendrasis efektyvumas - 85 %). Darbinė temperatūra - apie 190-210 °C. PAFC - iki šiol labiausiai išvystyta kuro elementų technologija. Jų elektrinė galia siekia maždaug iki 200 kW.

#### *Lydito karbonato kuro elementai (MCFC)*

MCFC elementuose naudojamas skystas ličio, natrio ir kalio karbonatų tirpalas. Šio tipo kuro elementų elektros generavimo efektyvumas siekia 60 %, o bendrasis kogeneracinio ciklo efektyvumas – apie 85%. Darbinė temperatūra yra aukšta (650 °C). MCFC įrenginių galia kinta 10kW iki 2MW. Šio kuro elementai yra perspektyvūs naudoti didesnėse elektros generavimo elektrinėse.

#### *Kieto oksido kuro elementai (SOFC)*

SOFC elementų darbo temperatūra siekia 1000 °C. Šių tipų kuro elementuose vietoj slcysto elektrolito paprastai naudojama kieta keraminė medžiaga cirkonio oksidas su nedideliu itrio kiekiu. Elektros generavimo efektyvumas sudaro 50-60 %, o bendrasis kogeneracijos ciklo efektyvumas - 85 %.

***Naudojamas kuras.*** Kuro elementuose naudojamas vandenilis gaunamas iš bet kurio daug vandenilio turinčio kuro. Vandeniliui išgauti gali būti taikomi keli būdai. Plačiausiai naudojamas vandenilio išgavimas garu, kai vandens garas sąveikauja su kuru ir, naudojant specialias membranas, iš kuro atskiriamas vandenilis. Taip pat dar taikoma dalinė oksidacija ir autoterminis išgavimas. Naudojant gamtines dujas vandenilio išgavimo efektyvumas siekia 70-85 %. Vandenilis gali būti išgaunamas iš metanolio, etanolio, gamtinių dujų, naftos produktų, skysto propano, biomasės, anglių. Kad veiktų kuro elementai, dar reikalingas deguonis (oras) ir elektrolitas.

***Sistemos efektyvumas.*** Kuro elementai pasižymi labai aukštu elektros energijos gamybos efektyvumu, svyruojančiu nuo 40 % ir kartais net viršijančiu 60 % (pvz., naudojant SOFC).

Bendrasis kogeneracinės elektrinės efektyvumas siekia 85-90 %. Kartais esant dalinei apkrovai efektyvumas būna didesnis nei esant visai apkrovai .

**Ekologiniai aspektai.** Kuro elementai aplinką veikia nesmarkiai. Kadangi vandenilis išgaunamas naudojant įvairų dideliu vandenilio kiekiu pasižymintį kurą, jame esančios priemaišos, pvz., sierą, yra išvalomos, nes jos trumpina katalizatoriaus eksploatavimo laiką.

**Privalumai:**

1. Žemas emisijų ir triukšmo lygis.
2. Aukštas nepriklausantis nuo dydžio efektyvumas.
3. Aukštas efektyvumas esant dalinei apkrovai
4. Lengvai keičiama apkrova.
5. Įvairus šilumos ir elektros santykis.
6. Paprasta priežiūra.

**Trūkumai:**

1. Ilga paleidimo trukmė.
2. Didelės kuro sąnaudos, esant kintamoms apkrovoms.
3. Didelės montavimo sąnaudos.
4. Reikia iš kuro šalinti sierą ir chloridus.

**Pritaikymo sritis.** Kuro elementai tinkami naudoti decentralizuotose kogeneracinėse elektrinėse, kuriose kuro elementų generuojama šiluma tenkina bazinį poreikį, o poreikiams esantiems piko metu tenkinti įrengiami katilai. Nedidelius kuro elementus (nuo 1 kW) siūloma naudoti gyvenamuosiuose namuose.

## 1.7. Saulės modulių sistemos

Saulės modulių sistemos tai technologijos naudojančios nemokamą ir neišsenkančią saulės energiją tiesioginiam elektros gaminimui. Saulės moduliai efektyviai gali būti panaudojami mikrotinkluose. O jų panaudojimą skatina ir pati valstybė įsipareigodama, kad 2020 metais galutiniame energijos suvartojimo balanse atsinaujinantys energijos išteklių sudarytų ne mažiau kaip 23 %.

**Veikimo principas**

Saulės šviesa, krentanti į saulės modulį, jonizuoja silicio atomus. Šie, veikiami p-n jungties potencialų skirtumo, poliarizuojasi į dvi priešingo krūvio zonas. Laisvieji elektronai kaupiasi n-sluoksnyje prie viršutinio kontakto, atomai, netekę elektrono, kaupiasi p-sluoksnyje, prie apatinės kontaktinės plokštelės. Šiuos sluoksnius sujungus išorine grandine, laisvieji elektronai keliauja į p-silicio sluoksnį ir ten rekombinuojasi su skylėmis, išlaisvindami savo krūvio energiją. Elektronų srautas išorinėje grandinėje ir yra elektros srovė, kuri gali atlikti tam tikrą naudingą darbą. Saulės modulio galingumas nėra didelis (apie 0,5 - 4 W), todėl jie jungiami į modulius kurių galia svyruoja nuo kelių vatų iki 300 W.

Didžiausią rinkos dalį užima šie kristalinio silicio saulės moduliai:

1. monokristalinio silicio saulės moduliai;
2. polikristalinio (Multikristalinio) silicio saulės moduliai;
3. plonasluoksnio silicio saulės moduliai.

### 1.7.1. Monokristalinio silicio saulės moduliai

Monokristalinio silicio strypai gaunami jį traukiant iš lydalo, naudojant reikiamos orientacijos kristalinę užuomazgą. Strypai supjaustomi į plonas plokšteles. Šis gamybos procesas sudaro galimybę pasiekti palyginti didelį saulės modulio efektyvumą (apie 15%). Tačiau gamybos procesas yra sudėtingas ir brangus.

### 1.7.2. Polikristalinio (Multikristalinio) silicio saulės moduliai

Polikristalinio silicio saulės modulių gamyba yra gerokai lengvesnė ir pigesnė. Šiuo atveju iš perlydyto silicio yra gaminami medžiagos blokai, kurie pjaustomi į plokšteles. Medžiagai kietėjant,

Susidaro įvairių dydžių kristaliniai dariniai. Ribose tarp tų darinių būna daug struktūros defektų. Šių defektų sumažėja ir saulės modulių efektyvumas (apie 12%).

### 1.7.3. Plonasluoksniai silicio saulės moduliai

Jei silicio sluoksniu padengiamas stiklas ar koks nors kitas padėklas, gaunamas vadinamasis amorfinis silicis, kuriame suformuojant p-n sandūrą gaunami plonasluoksniai saulės moduliai. Sluoksnio storis mažiau nei 1  $\mu\text{m}$ , todėl tokiems moduliams reikia mažiau medžiagos, taip sumažinama jų kaina. Tačiau amorfinio silicio modulių mažesnis atsparumas UV spinduliotei. Todėl po kelių mėnesių naudojimo, jų efektyvumas sumažėja iki 3 - 6 %. Dėl šios priežasties amorfiniai saulės moduliai naudojami mažos galios reikalaujančioje įrangoje.

Lyginamuosius saulės modulių rodiklius pateikiu 1 lentelėje.

**Sistemos efektyvumas.** Saulės modulių lyginamieji rodikliai pateikti 1-oje lentelėje.

**1 lentelė.** Saulės modulių rodikliai

SE technologija	Monokristalinis	Polikristalinis	Plonasluoksnis
Celės efektyvumas (%)	16-17	14-15	18-19
Modulio efektyvumas (%)	13-15	12-14	5-7

Metinė energijos gamyba kWp (UK pietų kryptis, 30° kampas) (kWh/kW <sub>p</sub> )	830	810	800
Metinė energijos gamyba vienam m <sup>2</sup> (pietų kryptis, 30° kampas) (kWh/ m <sup>2</sup> )	107	100	50-52
Metinis CO <sub>2</sub> sutaupymas per kW <sub>p</sub> (kg/kW <sub>p</sub> )	471	460	454
Metinis CO <sub>2</sub> sutaupymas per m <sup>2</sup> (kg/ m <sup>2</sup> )	61	57	28

**Ekologiniai aspektai.** Saulės modulių poveikio aplinkai gali ir visai nebūti, jeigu saulės modulių sistemos bus įrengiamos ant pastatų stogų. Aplinkosauginiai tyrimai turi būti atlikti tik tuo atveju kai saulės elektrinės įrengiamos ant žemės. Tuo pačiu prisideda prie šiltnamio dujų (CO<sub>2</sub>) emisijų ir atmosferos užterštumo sumažinimo.

**Privalumai:**

1. Neišsenkantys energijos išteklių.
2. Mažiausias aplinkai poveikis.
3. Minimali priežiūra.
4. Ilgas tarnavimo laikas (apie 30m.).
5. Tylus veikimas.

**Trūkumai:**

1. Didelės investicijos.
2. Pirminės energijos nepastovumas.
3. Mažas efektyvumas.

**Eksplotacija ir priežiūra.** Saulės moduliai - itin ilgaamžis saulės energijos generavimo prietaisas ir jų tarnavimo laikas apie 30 metų. Saulės elektrines reikia valyti, bent kelis kartus į metus.

**Pritaikymo sritis.** Saulės modulius galima įrengti visuose objektuose, kuriuose naudojama elektros energija: pramonės įmonėse, gyvenamuosiuose ir ūkinės paskirties pastatuose, žemės ūkio įmonėse, sodybose, kempinguose ir t.t.

## 1.8. Vėjo elektrinės

Vėjo energija skiriasi nuo tradicinių energijos išteklių. Skirtingai nuo šilumos ar vandens energijos, kaip tradicinės pirminės energijos, vėjo atsargų negalima paprastai sukaupti ir reguliuoti. Todėl, užtikrinant patikimą apsirūpinimą elektra, vėjo elektrinės energetikos sistemos darbą ir valdymą gerokai komplikuoja. Šiuo metu susidaro palankios techninės ir ekonominės sąlygos naudoti vėjo energiją, nes per pastaruosius dešimtmečius VE srityje buvo padaryta didelė pažanga. Šiuo metu viena VE pagamina apie 200 kartų daugiau elektros energijos nei prieš 20 metų, o jos vienos kWh įrengimo kaina laikui bėgant mažėja.

Vėjo elektrinių plėtros sparta didžiaja dalimi priklausys nuo vėjo elektrinių technologinio vystymosi, atsinaujinančiu šaltinių skatinimo schemų, jų konkurencingumo bei bendro šalių ekonominio vystymosi tendencijų.

Kaip žinoma vėjo elektrinių generuojama galia gali kisti atsitiktinai su vėjo energijos kitimu, todėl vėjo elektrinės turi įtakos į:

- energetikos sistemos dinamiką ir stabilumą;
- reaktyviosios galios ir įtampos reguliavimą;
- galių balansų valdymą ir dažnio reguliavimą.

#### *Veikimo principas*

Vėjo turbina gali dirbti kintamuoju arba stabiluoju rotorius sukimosi dažniu. Kai vėjo turbina dirba kintamuoju rotorius sukimosi dažniu, jos generatoriaus įtampos dažnis irgi yra nuolatos kintantis, ir tokia turbina negali būti įjungta į elektros tinklą tiesiogiai. Reikalinga tarpinė grandis - tai įtampos keitiklis (inverteris). Jis vėjo turbinos generatoriaus įtampa pirmiausiai išlygina, po to išlygintą nuolatinę įtampa paverčia į kintamąją įtampą, kurios dažnis atitinka elektros tinklo dažnį. Dirbant stabiluoju rotorius sukimosi dažniu, vėjo turbinos jungiamos su tinklu tiesiogiai, naudojant elektros tinklo dažnį.

Modernios šiuolaikinės vėjo elektrinės turi elektroninius įtaisus, įgalinančius tam tikrame diapazone reguliuoti jų reaktyviąją galią ir įtampą. Jei to nepakanka reikiamai įtampai palaikyti, papildomai turi būti įrengiamos kondensatorių baterijos ir reguliuojami transformatoriai arba statiniai reaktyviosios galios kompensatoriai SVC ir STATCOM.

Vėjo elektrinių parko reaktyvioji galia turi būti valdoma vienu iš dviejų valdymo būdų pagal perdavimo sistemos operatoriaus (PSO) reikalavimus:

- Vėjo elektrinė turi gebėti valdyti reaktyviosios galios srautą su sistema. Valdymas turi vykti automatiškai ir nepertraukiamai. Vėjo elektrinių parkas turi gebėti palaikyti priimtina mažą reaktyviąją galią visame aktyviosios galios gamybos diapazone. PSO apibrėžia priimtina ribą pagal vietinės sistemos sąlygas.

- Vėjo elektrinė (parkas) turi gebėti prijungimo taške automatiškai reguliuoti savo reaktyviąją galią įtampai valdyti.

***Ekologiniai aspektai.*** Įrengiant VE ir jų parkus, turi būti laikomasi tarptautinių susitarimų, konvencijų (kraštovaizdžio, biologinės įvairovės, kultūros ir gamtos paveldo apsaugos, jūros apsaugos srityse) bei nacionalinių teisės aktų (kraštovaizdžio, biologinės įvairovės, jūros krantų apsaugos, nekilnojamųjų kultūros vertybių apsaugos srityse) reikalavimų, kuriais draudžiama ar ribojama tokių objektų statyba tam tikrose teritorijose.



**Privalumai:**

1. Neišsenkantys energijos ištekliai.
2. Mažas poveikis aplinkai,

**Trūkumai:**

1. Poveikis kraštovaizdžiui
2. VE skleidžiamas garsas
3. VE statomos vietos suradimas

### **1.9. Kiti energijos šaltiniai**

Sąvartynų dujos, biomasė, komunalinių atliekų dujos ir t.t taip pat traktuojami kaip atsinaujinantys šaltiniai elektros energijai gauti. Tačiau tokių elektrinių vietą, naudojančių šiuos šaltinius, apsprendžia šių šaltinių išgavimo galimybė. Pagrindiniai trūkumai - mažas kuro energijos taniais, kuro trūkumas ir jų sandėliavimas. Todėl darbe jų plačiau netyrinėsiu.

### **1.10. Hibridinės šilumos ir elektros tiekimo sistemos**

Sujungiant 2 ir daugiau skirtingų technologijų energijos gamybos šaltinius gausime hibridinę energijos sistemą. Pagrindinis hibridinių sistemų tikslas - išnaudoti kiekvienos energijos gamybos technologijos privalumus ir dalinai sumažinti trūkumus.

Hibridinė saulės ir vėjo elektrinės turi didelį potencialą būti išnaudotiems. Saulės moduliai elektros energiją gamina tik saulėtą dieną, o vėjo elektrinės visada kai yra stiprus vėjas. Taip gaunamas kur kas patikimesnis energijos tiekimo būdas. Kuro elementų kartu su vėjo elektrine hibridinės sistemos privalumas - nekokybiška vėjo elektrinės energija gali būti naudojama vandenilio gamybai. O vėliau kuro elementais tiekama jau geros kokybės elektros energija.

## **2. ĮMONĖS APKROVŲ GRAFIKAS**

### **2.1 Apkrovos grafiko analizė**

Kiekviena pramonės šaka turi skirtingus, tik tai šakai būdingus apkrovos grafikus, kurie priklauso nuo technologinio proceso ypatumų. Norint tiksliai parinkti elektros energijos šaltinius, atlieku įmonės apkrovų analizę.

Įmonės elektros energijos tiekimo sistemoms suprojektuoti pritaikiau skaičiuojamųjų apkrovų nustatymo metodą: pagal instaliuotąją galią  $P_n$  ir paklausos koeficientą  $K_p$ .

**2 lentelė.** Elektros imtuvų skaičiuojamosios apkrovos

Eil.	Įrenginys	Kiek.	$P_n$	$P_{\Sigma n}$	$K_{pa}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{sk}$	$Q$	$S_{sk}$
1	Kėlimo įrenginys 1	2	1,5	3	0,1	0,5	1,73	0,3	0,52	0,6
2	Kėlimo įrenginys 2	1	3,6	3,6	0,1	0,5	1,73	0,36	0,62	0,72
3	Kėlimo įrenginys 3	1	5,55	5,55	0,1	0,5	1,73	0,56	0,96	1,11
4	Kėlimo įrenginys 4	1	10	10	0,1	0,5	1,73	1	1,73	2
5	Transportavimo įreng. 1	1	14,4	14,4	0,25	0,65	1,17	3,6	4,21	5,54
6	Transportavimo įrengi.2	1	19	19	0,25	0,65	1,17	4,75	5,56	7,31
7	Transportavimo įreng. 3	1	23	23	0,25	0,65	1,17	5,75	6,73	8,85
8	Transportavimo įreng. 4	1	0,35	0,35	0,5	0,75	0,88	0,18	0,15	0,23
9	Transportavimo įreng. 5	1	8,5	8,5	0,5	0,75	0,88	4,25	3,74	5,66
10	Sandėliavimo įreng.	1	35	35	0,1	0,5	1,73	3,5	6,06	6,99
11	Staklės 1	1	0,35	0,35	0,5	0,75	0,88	0,18	0,15	0,23
12	Staklės 2	1	1,35	1,35	0,5	0,75	0,88	0,68	0,59	0,9
13	Staklės 3	2	24	48	0,14	0,5	1,73	6,72	11,6	13,43
14	Staklės 4	1	9,6	9,6	0,14	0,5	1,73	1,34	2,33	2,69
15	Butilavimo įreng.	1	3,4	3,4	0,14	0,5	1,73	0,48	0,82	0,95
16	Staklės 5	1	4,00	4,00	0,5	0,75	0,88	2	1,76	2,66
17	Pjovimo staklės 1	1	27	27	0,3	0,8	0,75	8,1	6,08	1,13
18	Staklės 6	1	18	18	0,3	0,8	0,75	5,4	4,05	6,75
19	Staklės 7	1	18, 5	18,5	0,3	0,8	0,75	5,55	4,16	6,94
20	Staklės 8	1	3,00	3,00	0,3	0,8	0,75	0,9	0,68	1,13
21	Kėlimo įrenginys 5	1	49	49	0,2	0,8	0,75	9,8	7,35	12,25
22	Kėlimo įrenginys 6	1	15	15	0,2	0,8	0,75	3	2,25	3,75
23	Vandens valymo įreng. 1	1	3,00	3,00	0,75	0,8	0,75	2,25	1,69	2,81
24	Vandens valymo įreng. 2	1	31,00	31,0	0,75	0,8	0,75	23,2	17,4	29,06
25	Vandens valymo įreng. 3	1	45,00	45,0	0,75	0,8	0,75	33,7	25,3	42,19
26	Vandens valymo įreng. 4	1	49,00	49,0	0,75	0,8	0,75	36,7	27,5	45,94
27	Kompresorius	1	22,00	22,0	0,75	0,8	0,75	16,5	12,3	20,63
28	Staklės 9	1	15,00	15,0	0,3	0,8	0,75	4,5	3,38	5,63
29	Staklės 10	1	24,00	24,0	0,3	0,8	0,75	7,2	5,4	9
30	Staklės 11	1	22,00	22,0	0,1	0,8	0,75	2,2	1,65	2,75
31	Staklės 12	1	5,00	5,00	0,1	0,4	2,3	0,5	1,15	1,25
32	Staklės 13	2	1,6	3,2	0,14	0,4	2,3	0,45	1,03	1,12
33	Staklės 14	1	1,00	1,00	0,14	0,4	2,3	0,14	0,32	0,35
34	Oro rekoperacinė	1	20,00	20,0	0,75	0,8	0,75	15	11,2	18,75
35	Maršrutizatorius	1	0,4	0,4	0,8	0,8	0,75	0,32	0,24	0,4
36	Apšvietimas 1*	1	0,24	0,24	0,9	1	-	0,22	-	0,22
37	Apšvietimas 2*	1	2,00	2,00	0,95	1	-	1,9	-	1,9
38	Apšvietimas 3*	1	5,00	5,00	0,95	1	-	4,75	-	4,75
39	Apšvietimas 4*	1	10,58	10,5	1	1	-	10,5	-	10,58
40	Apšvietimas 5*	1	5,45	5,45	0,95	1	-	5,18	-	5,18
41	Apšvietimas 6*	1	5,00	5,00	0,95	1	-	4,75	-	4,75
42	Apšvietimas 7*	1	7,00	7,00	0,95	1	-	6,65	-	6,65
43	Kištukinių lizdų gr.	2	7,00	7,00	0,9	0,8	0,75	6,3	4,73	7,88
44	Kištukinių lizdų gr.	6	10,00	10,0	0,9	0,8	0,75	9	6,75	11,25
45	Kondicionieriai**	7	4,25	4,25	0,9	0,8	0,75	3,82	2,87	4,78
Suminė įrengtoji galia $P_n$ , kW										616,72
Vidutinis paklausos koeficientas $K_p$										0,48
Vidutinis galios koeficientas, $\cos\varphi$										0,74

Skaičiuojamoji aktyvioji galia $P_{sk(max)}$ , kW	264,34
Skaičiuojamoji reaktyvioji galia $Q_{sk}$ , kVar	195,26
Skaičiuojamoji pilnutinė galia $S_{sk}$ , VA	338,62
Skaičiuojamoji srovė $I_{sk}$ , A	519,32

\* - nepriklauso nuo sezoniškumo

\*\* - veikia tik vasarą

Bendra instaliuota galia nustatoma pagal formulę:

$$P_{\Sigma} = \sum_1^n P_n = 616,72 \text{ kW} \quad (2.1)$$

Imtuvų aktyvioji skaičiuojamoji galia nustatoma pagal formulę:

$$P_{sk} = K_{pa} * P_n \quad (2.2)$$

Bendra įmonės skaičiuojamoji aktyvioji galia nustatoma pagal formulę:

$$P_{\Sigma sk} = \sum_1^n P_{sk} = 264,34 \text{ kW} \quad (2.3)$$

Reaktyvioji skaičiuojamoji galia:

$$Q_{sk} = P_{sk} * \operatorname{tg}\varphi \quad (2.4)$$

Bendra skaičiuojamoji reaktyvioji galia nustatoma pagal formulę:

$$Q_{\Sigma sk} = \sum_1^n Q_{sk} = 195,26 \text{ kVar} \quad (2.5)$$

Pilnutinė galia:

$$Q_{sk} = \sqrt{P_{sk}^2 + Q_{sk}^2} = \frac{P_{sk}}{\cos \varphi} \text{ kVA} \quad (2.6)$$

Bendra pilnutinė skaičiuojamoji galia:

$$S_{sk} = \sqrt{(\sum_1^n P_{sk})^2 + (\sum_1^n Q_{sk})^2} = 338,62 \text{ VA} \quad (2.7)$$

Bendra visų elektros imtuvų paklausos koeficientas:

$$K_{pa} = \frac{P_{\Sigma sk}}{P_{\Sigma}} = \frac{264,34}{616,72} = 0,48 \quad (2.8)$$

Skaičiuojamoji srovė:

$$I_{sk} = \frac{P_{\Sigma sk}}{\sqrt{3} * U_{\Sigma} * \cos \varphi} = \frac{264,34}{\sqrt{3} * 0,4 * 0,74} = 519,32 \text{ A} \quad (2.9)$$

Čia  $U_n$  – nominali įtampa, V;

$\cos \varphi$  - galios koeficientas bendras visai įmonei.

## 2.2 Energijos sąnaudos

Įmonėje apkrovos kitimo specifika priklauso nuo technologinių procesų vykstančių gamyboje, sezoniškumo, paros laiko. Viena iš įmonės apkrovos grafikų išskirtinė savybė - gana tolygus kitimas paros laike. Mažiausia apkrova būna naktį kai veikia tik budintis apšvietimas, oro rekuperacinė sistema, serverių kompiuteriai ir kt.

Išskiriu paros, sezono ir metinį apkrovos grafikus. Priimu, kad vasaros sezonas yra nuo balandžio mėnesio 1 dienos iki spalio mėnesio 31 dienos, o žiemos sezonas nuo lapkričio mėn. 1d. iki kovo mėn. 31 d.

Apskaičiuoju vasaros ir žiemos įmonės didžiausią ir mažiausią apkrovą ir pateikiu 3 lentelėje. "Skaičiuodamas žiemos sezono apkrovas priimu, kad nebenaudojami kondicionieriai bei gamybai sumažėjus - sumažėja elektros imtuvų išnaudojimo koeficientas 15% ( $K_p$ ).

**3 lentelė.** Vasaros ir žiemos didžiausios apkrovos

Pavadinimas	Dydis	Sezonas	
		Vasara	Žiema
Suminė įrengtoji galia $P_n$	kW	616.72	
Vidutinis paklausos koeficientas $K_p$		0.48	0.43
Vidutinis galios koeficientas $\cos\phi$		0.74	0.73
Skaičiuojamoji aktyvioji galia $P_{sk(\min)}$	kW	38.15	35.68
Skaičiuojamoji aktyvioji galia $P_{sk(\max)}$	kW	264.34	231.13
Skaičiuojamoji reaktyvioji galia $Q_{sk}$	kVar	195.26	166.98
Skaičiuojamoji pilnutinė galia $S_{sk}$	VA	338.62	294.61
Skaičiuojamoji srovė $I_{sk}$	VA	519.32	454.99

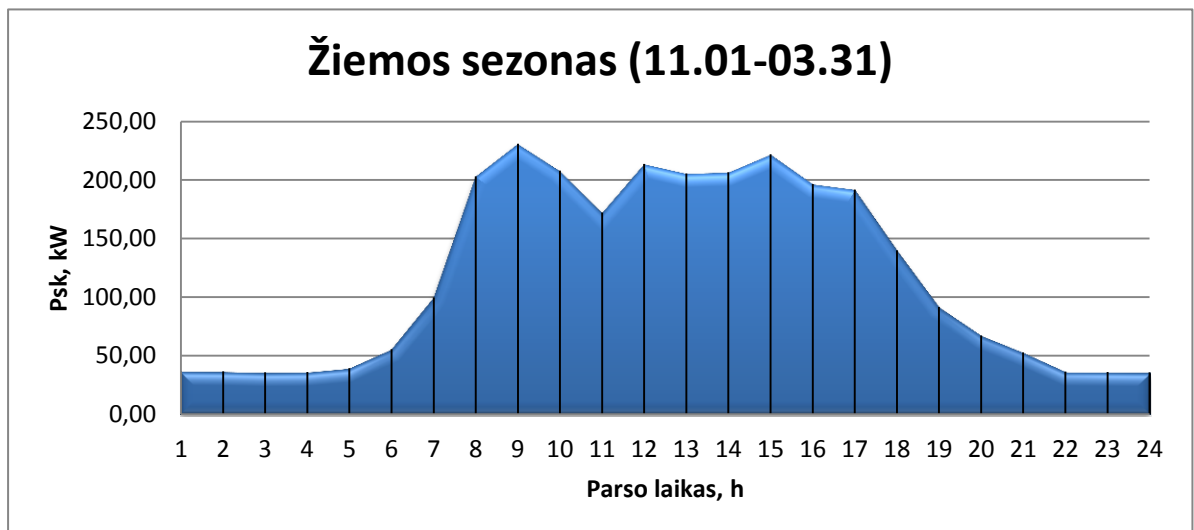
Sudarau vasaros ir žiemos įmonės paros elektros apkrovos grafikus pagal 4 lentelės duomenis ir atvaizduoju atitinkamai 1-2 paveikslėliais.

**4 lentelė.** Vasaros ir žiemos sezonų paros apkrovos

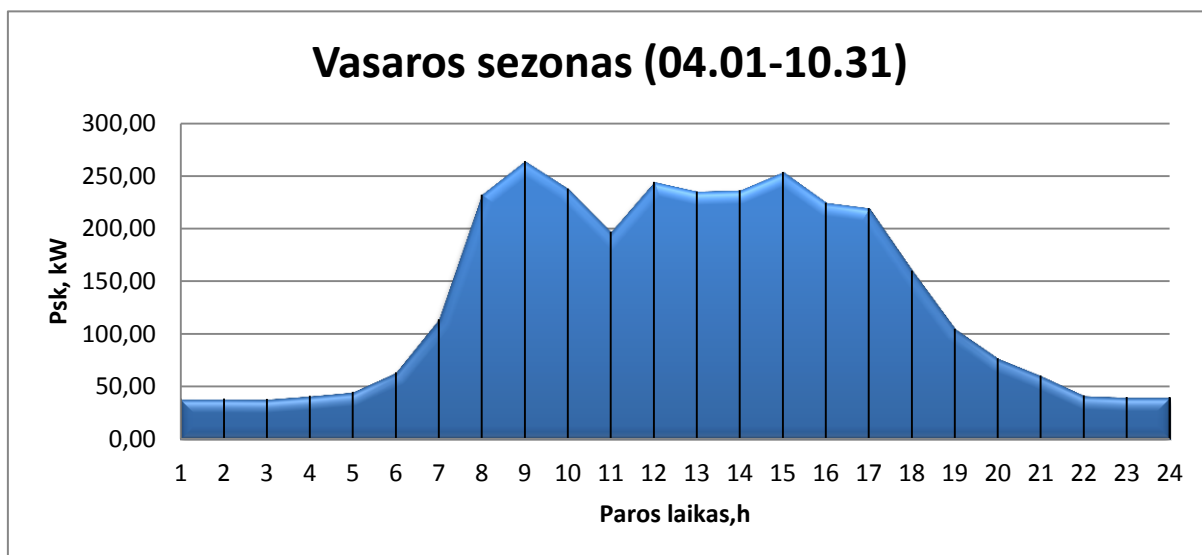
Valandos, h	Sezono paros apkrovos			
	Žiemos		Vasaros	
	Apkrova, %	Psk, kW	Apkrova, %	Psk, kW
1	15,91	36,77	14,58	38,54
2	15,80	36,52	14,51	38,36
3	15,44	35,68	14,43	38,14
4	15,60	36,06	15,60	41,24
5	16,97	39,22	16,97	44,86
6	23,95	55,36	23,95	63,31

7	43,10	99,62	43,10	113,93
8	87,88	203,12	87,88	232,30
9	100,00	231,13	100,00	264,34
10	90,06	208,16	90,06	238,06
11	74,54	172,29	74,54	197,04
12	92,46	213,70	92,46	244,41
13	89,00	205,71	89,00	235,26
14	89,45	206,75	89,45	236,45
15	96,04	221,98	96,04	253,87
16	85,04	196,55	85,04	224,79
17	83,08	192,02	83,08	219,61
18	60,58	140,02	60,58	160,14
19	39,64	91,62	39,64	104,78
20	29,03	67,10	29,03	76,74
21	22,78	52,65	22,78	60,22
22	15,70	36,29	15,70	41,50
23	15,52	35,87	15,15	40,05
24	15,49	35,80	15,10	39,91

Iš 4 lentelės matome, kad vasaros sezone mažiausia apkrova 38,14 kW, didžiausia 264,34 kW, suvartotas elektros energijos kiekis per parą 3247,82 kWh. Žiemos sezone mažiausia apkrova 35,68 kW, didžiausia 231,13 kW, suvartotas elektros energijos kiekis per parą 2849,98 kWh.



**1 pav.** Įmonės paros elektros apkrovos grafikas žiemą



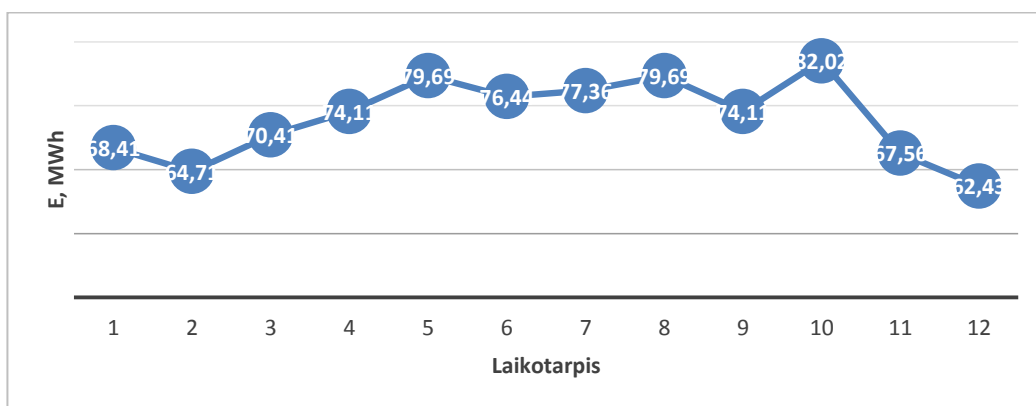
**2 pav.** Įmonės paros elektros apkrovos grafikas vasarą

Iš paveikslėlių matyti, kad atsidarius įmonei ir pradėjus vykdyti veiklą apkrovos pradeda didėti nuo 7h ir didžiausias suvartotos elektros energijos kiekis tarp 9-10h. Darbininkams pietaujant 10-12 valandomis apkrovos sumažėja. Pasibaigus pietums apkrovos padidėja ir išlieka pastovios iki darbo pabaigos (17h).

Apskaičiuodamas metinį suvartojamos elektros energijos kiekį priimu, kad iš 366 dienų 115 nedarbo dienos. Ne darbo dienomis elektros energijos valandinis suvartojimas lygus to sezono paros mažiausiai apkrovai. Rezultatus pateikiu 5 lentelėje ir paveikslėlyje.

**5 lentelė.** Metinis elektros energijos suvartojimas

Mėnuo	El. energija, MWh	El. energija darbo dienomis, MWh	El. energija nedarbo dienomis, MWh	Viso dienų	Nedarbo dienos	Darbo dienos
1	68,41	59,85	8,56	31	10	21
2	64,71	57	7,71	29	9	20
3	70,41	62,7	7,71	31	9	22
4	74,11	64,96	9,15	30	10	20
5	79,69	71,45	8,24	31	9	22
6	76,44	68,2	8,24	30	9	21
7	77,36	68,2	9,15	31	10	21
8	79,69	71,45	8,24	31	9	22
9	74,11	64,96	9,15	30	10	20
10	82,02	74,7	7,32	131	8	23
11	67,56	59,85	7,71	30	9	21
12	62,43	51,3	11,13	31	13	18
Viso	876,94	774,62	102,32	366	115	251



3 pav. Įmonės metinis elektros apkrovos grafikas

### 2.3 Įmonės šilumos poreikio analizė

Įmonės šilumos poreikį nustatau remdamasis Statybos Techniniu Reglamentu (STR 2.09.04:2008) aprašančiu pastato šildymo sistemos galią ir šilumos poreikį šildymui [25].

Norėdami nustatyti mėnesinį projektinį š. poreikį naudojame:

$$Q_h = Q_{en} + Q_v - \eta_0 * Q_{hg} \text{ [kWh];} \quad (2.10)$$

čia  $Q_{en}$  – mėnesinis poreikis susidaręs dėl projekt. šiluminių nuostolių per atitvaras, kWh;

$Q_v$  – mėnesinis poreikis susidaręs dėl projektinių š. nuostolių, kWh;

$Q_{hg}$  – mėnesis patalpos projekt. šil. prietekio poreikis, kWh;

$\eta_0$  - 0,8 šilumos suvartojimo įvertinimo koeficientas [25].

$Q_{en}$  **skaičiavimas.** Mėnesinis poreikis susidaręs dėl projekt. šiluminių nuostolių per atitvaras:

$$Q_{en} = \sum Q_{el} + \sum Q_{\psi} + \sum Q_g = [(\sum H_{el} + \sum H_{\psi}) * (\theta_i - \theta_{em})] * t * 24 * 10^{-23} + \sum \theta_g \text{ [kWh];} \quad (2.11)$$

kai

$Q_{el}$  – š. poreikis, kai kalbama apie nuostolių pro patalpos atitvaras padengimą, kWh;

$Q_{\psi}$  – š. poreikis, kai kalbama apie nuostolius per patalpos ilginių šilum. tiltelių padengimą, kWh;

$Q_g$  – š. poreikis, kai kalbama apie nuostolių pro patalpos atitvaras, besiribojančia su gruntu, padengimą, kWh

$\sum H_{el}$  –suminiai savitieji šilumos p. atitvarų nuostoliai (kai nesiriboja su gruntu), W/K;

$\sum H_{\psi}$  - sum. sav. šilumos nuostoliai per patalpoje esančius ilginius šiluminius tiltelius, W/K;

$\theta_i$  – projektinė patalpos temperatūra;

$\theta_{em}$  – vidutinė mėnesio išorės temperatūra (žiūrėti 6 lentelę)

t- šildymo trukmė per mėnesį, paromis.

$Q_g$  skaičiavimas. Patalpos mėnesio šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams per atitvaras, besiribojančia gruntu, padengti randamas formulę

$$Q_g = [H_g * (\theta_i - \bar{\theta}_e) - H_{gi} * \widehat{\theta}_{im} * \cos\left(2 * \pi \frac{m-1}{12}\right) + H_{ge} + \widehat{\theta}_{em} * \cos\left(2 * \pi \frac{m-1-\beta}{12}\right)] * t * 24 * 10^{-3} \quad (2.12)$$

čia  $H_g$  – savitieji šilumos nuostoliai per atitvarą, besiribojančią su gruntu, W/K;

$\bar{\theta}_e$  – vidutinė metinė išorės temperatūra;

$H_{gi}$  – vidiniai savitieji šilumos nuostoliai per atitvaras, besiribojančias su gruntu, W/K.

$\widehat{\theta}_{em}$  – 1/2 skaičiuojamojo ir prieš jį buvusio mėnesio patalpos vidutinių temperatūrų skirtumo, K;

$H_{ge}$  – išoriniai savitieji šilumos nuostoliai per atitvaras, besiribojančias su gruntu, W/K;

$\theta_i$  – projektinė patalpos temperatūra lygi 20°C [25]

$\widehat{\theta}_{em}$  – 1/2 šalčiausio ir šilčiausio metų mėnesių vidutinių temperatūrų skirtumo, K;

$\beta$  – pataisa lygi 1 [25]; m – mėnesio eilės numeris.

$H_g$  **skaičiavimas.** Savitųjų šilumos nuostolių  $H_g$  skaičiavimuose naudojama grunto periodinio prasiskverbimo gylio  $\delta$  vertė imama  $\delta = 2$  m. Grunto šilumos laidumo koeficientas imamas  $\lambda_{gr} = W/(m * K)$ .

Grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimuose naudojama būdingojo grindų matmens B vertė apskaičiuojama taip:

$$B = \frac{A}{0,5 * P} = \frac{4900}{0,5 * 298} = 32,89; \quad (2.13)$$

čia A – grindų ant grunto plotas ( $m^2$ ); P – grindų perimetras (m).

Savitieji šilumos nuostoliai per grindis ant grunto apskaičiuojami pagal formulę

$$H_g = A * U_g = 4900 * 0,09 = 451,84 \text{ W/k} \quad (2.14)$$

čia  $U_g$  – projektinis grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientas,  $W/(m^2 * K/W)$ .

Kai grindys apšiltintos, tai  $U_g$  vertė apskaičiuojama pagal formulę:

$$U_g = \frac{\lambda_{gr}}{0,457 * B * d_t} = \frac{2}{0,457 * 32,89 * 6,66} = 0,09 \text{ W/K}; \quad (2.15)$$

čia  $d_1$  – atstojamasis grindų plokštės storis, išreikštas grunto sluoksnio storium, m.

$$d_t = w + \lambda_{gr} * (R_{se} + R_f + R_{si}) = 0,1 + 2 * (0,04 + 3,11 + 0,13) = 6,66; \quad (2.16)$$



čia  $R_f$  – grindų šiluminė varža lygi  $3,11 (m^2 * K/W)$ ;  $R_{se}$  - išorės paviršiaus šiluminė varža lygi  $0,04(m^2 * K/W)$ ;  $R_{si}$  – vidaus paviršiaus šiluminė varža lygi  $0,13 (m^2 * K/W)$ ;  $w$  - grindis ribojančios sienos storis lygus  $0,1 (m)$ .

$H_{gi}$  skaičiavimas. Vidiniai savitieji šilumos nuostoliai ( $H_{gi}$ ) apskaičiuojami pagal formulę:

$$H_{gi} = A * \frac{\lambda_{gr}}{d_t} * \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{\delta}{d_t}\right)^2 + 1}} = 4900 + \frac{2}{6,66} * \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{2}{6,66}\right)^2 + 1}} = 1268,61 W/K \quad (2.17)$$

$H_{ge}$  skaičiavimas. Išoriniai savitieji šilumos nuostoliai ( $H_{ge}$ ) apskaičiuojami pagal formulę:

$$H_{ge} = 0,37 * P * \lambda_{gr} * \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) = 0,37 * 298 * 2 * \ln\left(\frac{2}{6,66} + 1\right) = 67,91 W/K \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} H_{el} &= U * A * k_a * b_u * (1 + \Delta k_0 + \Delta k_w + \Delta k_h) = \\ &= 1,7 * 4900 * 1 * 1 * (1 + 0,05 + 0,02 + 0,02) = 9079,7; \end{aligned} \quad (2.20)$$

čia  $U$  – atitvaros projektinis šilumos perdavimo koeficientas lygus  $1,7W/(m^2 * K)$ ;

$k_a$  – pataisa, kai patalpa ribojasi su kita projekcinę temperatūra turinčia patalpa t.y lygus 1;

$b_u$  – pataisa, jeigu atitvara ribojasi su nešildomąja erdve t.y. lygus 1;

$\Delta k_0$  – pataisa dėl atitvaros padėties pasaulio šalių atžvilgiu t.y lygus 0,05;

$\Delta k_w$  – pataisa dėl vėjo įtakos t.y. lygus 0,02.

$H_{\Psi}$  skaičiavimas. Atitinkamo ilginio šilumos tiltelio projektiniai savitieji šilumos nuostoliai, nustatomi pagal formulę:

$$\begin{aligned} H_{\Psi} &= \Psi * l * k_a * b_u * (1 + \Delta k_0 + \Delta k_w + \Delta k_h) = \\ &= 0,6 * 1000 * 1 * 1 * (1 + 0,05 + 0,02 + 0,02) = 654; \end{aligned} \quad (2.20)$$

čia  $\Psi$  – ilginio šilumos tiltelio šilumos perdavimo koeficientas,  $W/m^2K$ ;

$l$  – ilginio šilumos tiltelio ilgis, m.

Skaičiuodamas mėnesio šilumos poreikį priimu, kad mėnesiniai šilumos nuostoliai dėl vėdinimo  $Q_v$  yra 10% nuo  $Q_{en}$ , o mėnesiniai šilumos prietekiai į patalpą ( $Q_{hg}$ ) yra 2% nuo  $Q_{en}$ .

Skaičiavimo rezultatus pateikiu 6 lentelėje.

## 6 lentelė. Metinis elektros energijos suvartojimas

Mėnesis	Vid. Mėnesio išorės oro temp.	Šildymo trukmė paromis	$\theta_{im}$	$\theta_{em}$	$Q_g$	$Q_{en}$	$Q_{en}$	$Q_{hg}$	Mėnesio šilumos poreikis $Q_h$
	°C		°C	°C	MWh/mėn	MWh/mėn	MWh/mėn	MWh/mėn	MWh/mėn
1	-4,7	31	-1,2	-10,55	10,71	178,88	0,01789	0,00358	178,9
2	-4,4	29	0,15		8,38	165,31	0,01653	0,00331	165,32
3	-0,9	31	1,75		6,74	151,36	0,01514	0,00303	151,37
4	4,8	17	2,85		7,62	60,37	0,00604	0,00121	60,38
5	11,2	31	3,2		0	0	0	0	0
6	14,9	30	1,85		0	0	0	0	0
7	16,4	31	0,75		0	0	0	0	0
8	15,7	31	-0,35		0	0	0	0	0
9	11,5	15	-2,1		8,84	70,09	0,00701	0,0014	70,1
10	7	25	-2,25		10,23	116,81	0,01168	0,00234	116,82
11	1,7	30	-2,65		11,91	140,18	0,01402	0,0028	140,19
12	2,3	31	-2		11,91	144,85	0,01448	0,0029	144,86

### 2.4 Energijos sąnaudų karštam vandeniui skaičiavimas

Įmonės energijos sąnaudas karštam vandeniui skaičiuoju remdamasis Statybos Techniniu Reglamentu (STR 2.01.09:2005) aprašančiu pastatų energinį naudingumą ir sertifikavimą [26].

Skaičiuojant energijos sąnaudas karštam vandeniui, vertinamas metinis energijos suvartojimas.

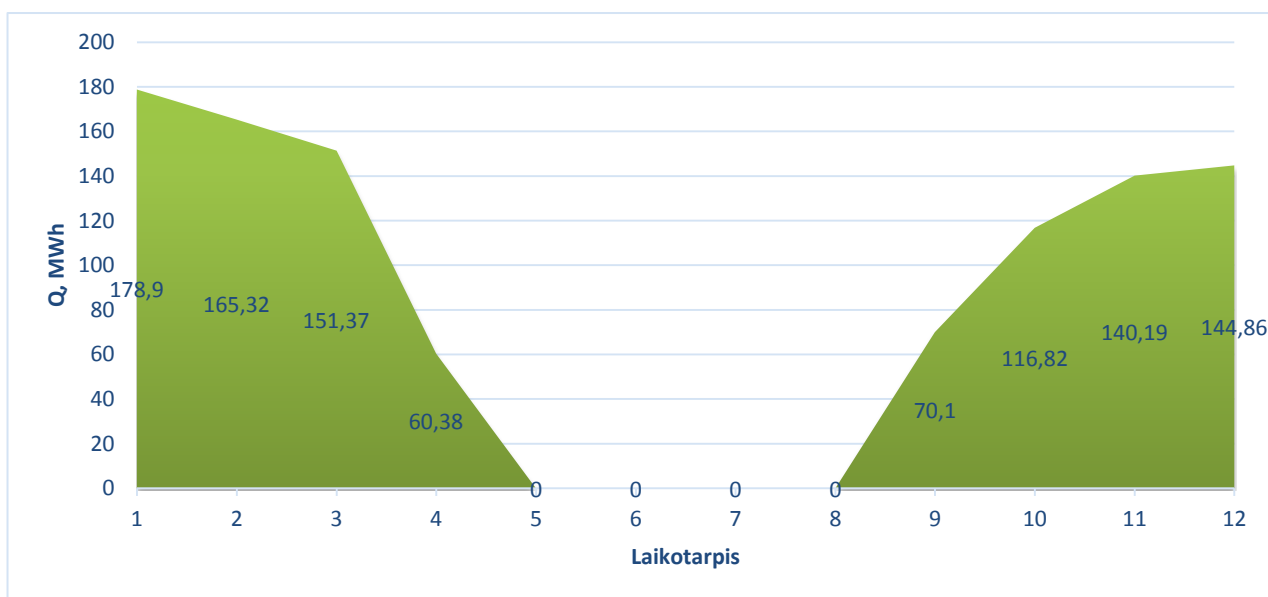
Energijos sunaudojimo, kai kalbama apie karštą vandenį, formulė:

$$Q_{h.w.} = \frac{\Psi_{h.w.}}{\eta_{h.w.}} A = \frac{10}{0,8} 4900 = 12,5 \text{ kWh/met.}; \quad (2.21)$$

čia  $\Psi_{h.w.}$  –kasmet karštam vandeniui reikalinga energija statinio pl. vienetui, kuri gamybos ir pramonės paskirties pastatams lygus 10 kWh/(m<sup>2</sup>\*metai).

$\eta_{h.w.}$  - naudingumo koeficientas ruošiant šildant vandenį, kai pastato katilinė + automatinis reguliavimas yra lygus 0,8.

Per metus karštam vandeniui ruošti energijos poreikis 61,25 MWh, o per mėnesį 5,1 MWh.



4 pav. Didžiausi šilumos poreikiai pastatui šildyti ir karštam vandeniui ruošti

### 3. GENERACIJOS ŠALTINIŲ IR JŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

#### 3.1 Vėjo elektrinių charakteristikų tyrimas ir pasirinkimas

Įmonės elektros energijos poreikiams tenkinti parenku keturias skirtingas vėjo elektrines ir jų techninius parametrus surašau į 7 lentelę.

7 lentelė. Vėjo elektrinių techniniai parametrai

	Parametras	Matavimo vienetas	Vėjo elektrinė			
			225 kW Nord WTN 250	150 kW Garbi 200/28	100 kW SAIP AH100	50 kW BENZ PMG/DD 50AH100
1	Ašies padėtis		Horizontali			
2	Vardinė įtampa	v	400			
3	Menčių skaičius	vnt	3			
4	Vardinė galia	kW	250	200	100	50
5	Darbinis vėjo greitis	m/s	14	11	11	11,5
6	Pradinis vėjas	m/s	4	3	4	3
7	Didžiausias	m/s	60	60	50	50
8	Išsijungimo vėjo	m/s	25	20	25	25
9	Rotoriaus diametras	m	30	28	19	15,2
10	Vėjaračio sukimosi	aps/min	25-37,5	6-41,5	70	40-80
11	Darbo temperatūra	°C	~ -30 +50	~ -30 +50	~ -45 +45	~-20+40
12	Tarnavimo trukmė	metai	20	20	20	20
13	Garantija	metai	5	2	2	2
14	Bokšto aukštis	m	48	34	25	25
15	Kaina su	€ /vnt	566 245	315000	250 979	117328
16	Eksploatacijos	€/m	6284,63	2835,03	2007,83	997,29

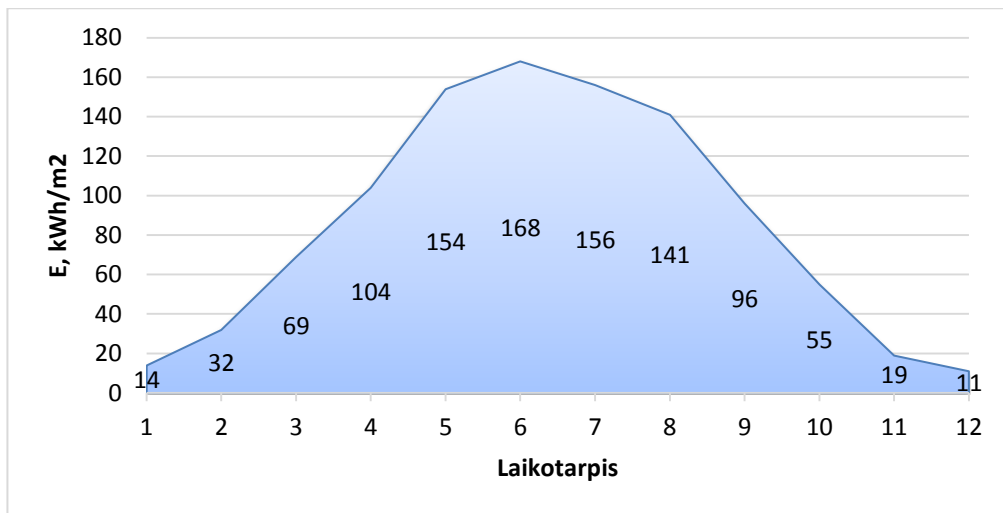
Iš lentelės matosi, kad iš keturių skirtingų VE įmonei reikiamą elektros energiją (876,94 MWh/m) pigiausiai pagamina 150 kW Garbi VE t.y. už 532143 €. Viena 150 kW Garbi VE reikiamos elektros energijos nepagamina (žiūrėti 11 paveikslėlį) ir trūkstamą elektros energijos dalį įmonė turėtų pirkti iš EES. Todėl 4.2 skyriuje bus sudaryti įvairūs energijos šaltinių variantai ekonomiškiausiai nustatyti

### 3.2 Saulės modulių charakteristikų tyrimas ir parinkimas

Saulės moduliai įrengiami ant objekto stogo, todėl nereikalingas poveikio aplinkai vertinimas. Elektros energijos gamybai parenku 4-is skirtingus saulės modulius ir jų techninius parametrus surašau į 8 lentelę.

**8 lentelė.** Saulės modulių techniniai parametrai

	Parametras	Saulės moduliai			
		ZDNY- 80C36	P60.6-WF-230	ReneSola Virtus II	BLU-270
1	Didžiausia galia P <sub>m</sub> , W	80	230	250	270
2	Įtampa U <sub>oc</sub> , V	17,39	36,8	37,4	39,6
3	Trumpojo jungimo srovė I <sub>sc</sub> ,	5,11	8,5	8,83	9,1
4	Įtampa kai didžiausia galia	22,11	29,3	30,1	31,4
5	Srovė kai didžiausia galia	4,82	7,9	8,31	8,6
6	Naudingumo koeficientas η,	13,1	13,7	16,8	14,6
7	Darbo temperatūra t, °C	nuo -40 iki 85	nuo -40 iki 85	nuo -40 iki 85	nuo -40 iki 85
8	Išmatavimai, mm	1230x580x120	1640x992x45	1640x992x40	1649x991x40
9	Paviršiaus plotas, m <sup>2</sup>	0,71	1,63	1,63	1,68
10	Tarnavimo laikas, met.	25	25	25	25
11	Kaina, €.	108,9	172,55	175,45	199,99
12	Eksploatacijos išlaidos 1%,	1,09	1,73	1,75	2
	Didžiausias galimas modulių skaičius 4500, m <sup>2</sup> 24500, m <sup>2</sup>	6338	6338	2760	2760



5 pav. Saulės energijos horizontaliame paviršiuje priklausomybė nuo laiko

Pagal duomenis apskaičiuoju vidutinį metinį saulės modulių pagamintos elektros energijos kiekį ir rezultatus surašau į lentelę.

3.1 skyriuje minėta 150 kW Garbi VE nepagamina reikiamos elektros energijos kiekio. Pagal 8 lentelės duomenis surandu kiekvieno SM pagaminamos elektros energijos kiekį ir reikalingą modulių skaičių trūkstamai energijai pagaminti. Gautus rezultatus pateikiu lentelėje.

9 lentelė. Saulės modulių pagaminamos elektros energijos kiekiai

Eil. Nr.	Parametras	Modelis	
		TAS180W/D	TAS550W/D
<b>Techniniai rodikliai</b>			
1	Nominali įtampa, V	400	400
2	Šiluminė galia, kW	83	247,5
3	Nominali elektrinė galia, kW	18,5	55
4	Paleidimo srovė, A	49	149,5
5	Skleidžiamas triukšmas, dB(A)	68	68
6	Šaldiklio tipas ir kiekis, kg	R417A/2300x4	R417A/3450x8
7	Įrenginio svoris, kg	622	330
8	Tarnavimo trukmė, kg	25	25
<b>Ekonominiai rodikliai</b>			
9	Šilumos siurblio kaina, €	43079,16	104905,71
10	Ekspluatacinės išlaidos, €/m	4738,71	11539,63
11	Reikalingas šil. siurblių kiekis, vnt	3	1
12	Žemės kolektorių įrengimas, €	97312,33	97312,33
13	Akumuliacinė talpa, €	22505,79	22505,79
14	Katilinės įrengimo darbai, €	12511,58	12511,58
Viso, €:		261567,18	237235,41

Pagal 9 lentelės duomenis matome, kad trūkstamą elektros energijos kiekį (506,7 MWh/m) pigiausiai pagamins ReneSola Virtus II JC250M-24B saulės moduliai t.y už 505649 €.

### 3.3 Šilumos siurblių charakteristikų tyrimas ir parinkimas

Šalčiausio mėnesio (sausio mėn.) šilumos poreikiams ir karšto vandens ruošimui parenku atitinkamos galios šilumos siurblius žemė-vanduo. TAS180W/D ŠS šiluminė galia 83 kW todėl norint tenkinti šalčiausio mėnesio poreikį bus naudojami trys tokie modeliai. ŠS pagrindinius techninius ir ekonominius rodiklius pateikiu 10 lentelėje [27].

**10 lentelė.** Šilumos siurblių techniniai/ekonominiai rodikliai

Eil. Nr.	Parametras	Modelis	
		TAS180W/D	TAS550W/D
<b>Techniniai rodikliai</b>			
1	Nominali įtampa, V	400	400
2	Šiluminė galia, kW	83	247,5
3	Nominali elektrinė galia, kW	18,5	55
4	Paleidimo srovė, A	49	149,5
5	Skleidžiamas triukšmas, dB(A)	68	68
6	Šaldiklio tipas ir kiekis, kg	R417A/2300x4	R417A/3450x8
7	Įrenginio svoris, kg	622	330
8	Tarnavimo trukmė, kg	25	25
<b>Ekonominiai rodikliai</b>			
9	Šilumos siurblio kaina, €	43079,16	104905,71
10	Ekspluatacinės išlaidos, €/m	4738,71	11539,63
11	Reikalingas šilumos siurblių kiekis, vnt	3	1
12	Žemės kolektorių įrengimas, €	97312,33	97312,33
13	Akumuliacinė talpa, €	22505,79	22505,79
14	Katilinės įrengimo darbai, €	12511,58	12511,58
Viso, €:		261567,18	237235,41

## 4. EKONOMINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS

### 4.1 Elektros ir šilumos energijų tarifai

Akcinė bendrovė „Lesto“ juridinius asmenis skirsto į grupes. Klientai, kurių pasirašytoje elektros energijos pirkimo - pardavimo sutartyje nurodoma leistina naudoti galia yra iki 30 kW (imtina). Ir klientai kurių pasirašytoje elektros energijos pirkimo - pardavimo sutartyje nurodoma leista naudoti galia viršija 30 kW [28].

Nagrinėjama įmonė atsiskaitinėja pagal dvinarį galios dedamosios ir diferencijuotos pagal laiko intervalus energijos dedamosios tarifą:

- Galios dedamoji 0,53 € /kW/mėn.;
- Mažiausių apkrovų 0,11 € /kWh;
- Vidutinių apkrovų 0,12 € /kWh;
- Didžiausių apkrovų 0,13 € /kWh;
- Švenčių ir poilsio dienų 0,05 € /kWh.

Kadangi nenustatinėjau elektros energijos suvartojimo pagal laiko intervalus todėl bus naudojamas aritmetinis tarifų vidurkis.

2016 metų supirkimo tarifai elektros energijai, pagamintai naudojant atsinaujinančius energijos išteklius priklausomai nuo įrengtosios galios pateikti 13 lentelėje.

**11 lentelė.** Supirkimo tarifai elektros energijai, pagamintai naudojant atsin. energijos išteklius

<b>Saulės jėgainės</b>		
$I_G \leq 10$ Perteklinės energijos supirkimo tarifas	0,144	0,144
$10 < I_G \leq 100$ Maksimalus tarifas	0,132	0,132
$I_G > 100$ Maksimalus tarifas	0,122	0,122
<b>Vėjo energija</b>		
$I_G \leq 10$ Perteklinės energijos supirkimo tarifas	0,069	0,069
$10 < I_G \leq 350$ Maksimalus tarifas	0,066	0,066
$I_G > 350$ Maksimalus tarifas	0,054	0,054

Priimu, kad lyginamoji dujų kaina patalpų šildymui dujiniu katilu kainuoja apie 0,0573 € /kWh.

#### 4.2 Hibridinių energijos tiekimo variantų sudarymas

Įmonės elektros ir šilumos poreikiams tenkinti sudarau hibridinių energijos tiekimo sistemų variantus ekonomiškai efektyviausiam parinkti:

1. Gaminant elektros energiją naudojama 1x Nord 250 kW VE, energija naudojama savoms reikmėms tenkinti.
2. Gaminant elektros energiją naudojama 1x Nord 250 kW VE, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
3. Gaminant elektros energiją naudojama 1x Garbi 200 kW VE, energija naudojama savoms reikmėms tenkinti.

4. Gaminant elektros energiją naudojami 1x Garbi 200 kW VE, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
5. Gaminant elektros energiją naudojami 1x SAIP 100 kW VE, energija naudojama savoms reikmėms tenkinti.
6. Gaminant elektros energiją naudojami 1x SAIP 100 kW VE, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
7. Gaminant elektros energiją naudojami 4x BENZ 50 kW VE, energija naudojama savoms reikmėms tenkinti.
8. Gaminant elektros energiją naudojami 4x BENZ 50 kW VE, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
9. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami ZDNY- 80C36 (80 W) SM, VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama į EES.
10. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW V.E, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami ZDNY- 80C36 (80 W) SM, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
11. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami P60.6-WF-230 (230 W) SM, VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama į EES.
12. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami P60.6-WF-230 (230 W) SM, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
13. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami Virtus II JC250M-24B (250 W) SM, VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama į EES.
14. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami Virtus II JC250M-24B (250 W) SM, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
15. Gaminant elektros energiją naudojami 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami BLU-270 (270 W) SM, VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama į EES.



16. Gaminant elektros energiją naudojama 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami BLU-270 (270 W) SM, o visa energija, kuri buvo pagaminta, parduodama į EES.
17. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 k:W VE ir ZDNY- 80C36 (80 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama į EES.
18. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir ZDNY- 80C36 (80 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą, visa pagaminta el. energija parduodama i EES.
19. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir P60.6-WF-230 (230 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama i EES.
20. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir P60.6-WF-230 (230 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą, visa pagaminta el. energija parduodama i EES.
21. Gaminant elektros energiją naudojama 2x Garbi 200 kW VE ir Virtus II JC250M-24B (250 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė. parduodama i EES. Visa SM energija parduodama į EES.
22. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir Virtus II JC250M-24B (250 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą, visa pagaminta el. energija parduodama į EES.
23. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir BLU-270 (270 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti, o perteklinė parduodama į EES. Visa SM energija parduodama į EES.
24. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir BLU-270 (270 W) SE išnaudojant visą galimą montavimo plotą, visa pagaminta el. energija parduodama į EES.
25. Gaminant elektros energiją naudojama 2x Garbi 200 kW VE, o trūkstamai elektros energijai pagaminti naudojami Virtus II JC250M-24B (250 W) SM, tik perteklinė energija parduodama į EES.
26. Gaminant elektros energiją naudojama 2xGarbi 200 kW VE ir Virtus II JC250M-24B (250 W) SM išnaudojant visą galimą montavimo plotą, tik perteklinė energija parduodama į EES.
27. Gaminant elektros energiją naudojama 2x Garbi 200 kW VE ir V SM išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti. Visa SM energija parduodama į EES. Patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui naudojami 3xTAS180W/D (249 k:W) žemė-vanduo tipo ŠS. Trūkstamas elektros energijos kiekis perkamas iš tinklų.

28. Gaminant elektros energiją naudojama 3x Garbi 200 kW VE ir ASP-JSOM (180 W) SM išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti. Visa SM energija parduodama į EES. Patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui naudojami TAS550W/D (247.5 kW) žemė-vanduo tipo ŠS. Trūkstamas elektros energijos kiekis perkamas iš tinklų.
29. Gaminant elektros energiją naudojama 3x Garbi 200 kW VE ir ASP-180M (180 W) SM išnaudojant visą galimą montavimo plotą. VE ir SM elektros energija naudojama savoms reikmėms tenkinti ir tik perteklius parduodamas į EES. Patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui naudojami TAS550W/D (247.5 kW) žemė - vanduo tipo ŠS.
30. Gaminant elektros energiją naudojama 3x Garbi 200 kW VE ir ASP-J 80M (180 W) SM išnaudojant visą galimą montavimo plotą. Visa elektros energija parduodama į tinklus. Patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui naudojami TAS550W/D (247.5 kW) žemė-vanduo tipo ŠS.

### 4.3 Variantų analizė

Skaičiavimuose priimu, kad projekto investicijos dengiamos nuosavu kapitalu.

Vadovaujantis Lietuvos Respublikos atsinaujinančių energetikos išteklių įstatymo (Žin., 2011, Nr. 62-2936) 21 straipsnio 3 dalies nuostatomis, skaičiavimuose priimu, kad gamintojas, kuris elektros energijos gamybai naudoja atsinaujinančiuosius energijos išteklius, ir kurio įrengtoji galia viršija 30kW, prie elektros tinklų prijungiamas nemokamai. Gamintojas, kuris elektros energijos gamybai naudoja atsinaujinančiuosius energijos išteklius, ir kurio įrengtoji galia viršija 30kW ir yra ne didesnė kaip 350 kW, apmoka 20 proc. prijungimo prie elektros tinklų išlaidų. Gamintojas, kuris elektros energijos gamybai naudoja atsinaujinančiuosius energijos išteklius, ir kurio įrengtoji galia viršija 350 kW, apmoka 40 proc. prijungimo prie elektros tinklų išlaidų.

Kiekvienam variantui apskaičiuoju kapitalines investicijas, metines išlaidas, gaminamos energijos savikainą ir t.t. Skaičiuodamas dabartinę grynąją vertę variantus nagrinėju įrenginių tarnavimo laikotarpiui (t.y 25m.). Atsižvelgdamas į Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos pasiūlymus ir pastabas, skaičiavimuose naudoju 8,00% diskonto normos rodiklį [29].

1. Suminės kapitalinės projekto investicijos:

$$K = k_{\text{ireng}} + k_{\text{prijungimo m.}}, \text{ €} \quad (4.1)$$

čia  $k_{\text{ireng}}$  - įrenginių kaina;

$k_{\text{prijungimo m.}}$  - įrenginių prijungimo prie EES mokestis, €

2. Suminės metinės išlaidos:

$$C = c_{eksploat.} + c_{amort.}, \text{ €/m\textsubscript{en}} \quad (4.2)$$

čia  $c_{eksploat.}$  - įrenginių eksploatacinės išlaidos €/m;

$c_{amort.}$  - įrenginių metinis nusidėvėjimas skaičiuojamas tiesiniu metodu €/m.

3. Energijos savikainos formulė:

$$S = \frac{C + K}{W_{sum.}}, \text{ €/kWh}$$

čia  $W_{sum.}$ , m. - metinė elektros energijos gamyba, kWh/m.

4. Metinės pajamos

$$P = p_{pasig.} + p_{pard.}, \text{ €/m;} \quad (4.4)$$

čia  $p_{pasig.}$  - metinės pajamos vartojant pasigamintą energiją, €/m;

$p_{pard.}$  - metinės pajamos už parduotą energiją, €/m.

5. Metinis pelnas:

$$NP = P - (C + c_p), \text{ €/m} \quad (4.5)$$

čia  $c_p$  - metinės išlaidos už pirktą energiją, €/m.

6. Metinis grynasis pelnas:

$$NP_P = NP * t_p, \text{ €/m} \quad (4.6)$$

čia  $t_p$  metinis pelno mokestis, 15%.

7. Vidinę pelno normą nustatau interpoliacijos būdu, panaudojant diskonto normas: vieną - teigiamai NPV reikšmei gauti, o kitą - neigiamai NPV reikšmei:

$$IRR = i_1 + \left[ (i_2 - i_1) * \left( \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \right], \text{ \%}; \quad (4.7)$$

čia  $i_1$  - žemesnė diskanto norma;

$i_2$  - aukštesnė diskanto norma;

$NPV_1$  - grynoji dabartinė vertė prie žemesnės diskanto normos;

$NPV_2$  - grynoji dabartinė vertė prie aukštesnės diskanto normos.

8. Projekto atsipirkimo laikas, diskontuojant pinigų srautą:

$$T_D = \frac{-\ln\left(1 - \frac{i * K}{NP_P}\right)}{\ln(1 + i)}, \text{ met.}; \quad (4.8)$$

čia  $i$  - diskinto normos rodiklis, 8%.

9. Dabartinė grynoji vertė:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{1 + i}, \text{ met.}; \quad (4.9)$$

čia  $CF_t$  - pinigų srautas laiko momentu  $t$ , €;  $T$  - naudojimo trukmė metais.

10. Įplaukų ir išlaidų santykis:

$$B/C = \frac{PVB}{PVC}; \quad (4.10)$$

čia:  $PVB$  - pajamų srauto dabartinė vertė, €;

$PVC$  - išlaidų srauto dabartinė vertė, €.

Investicinių projektų variantai bus vertinami taip:

- $B/C > 1$ , tai NPV yra teigiamas ir projektas priimtinas
- $B/C < 1$ , tai NPV yra neigiamas ir projektas atmestinas;
- $B/C = 1$ , tai NPV=0 ir t.y. ribinis variantas - projektas nepelningas ir nenuostolingas.

Gautus rezultatus pateikiu 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Pagrindiniai variantų ekonominių rodiklių rezultatai

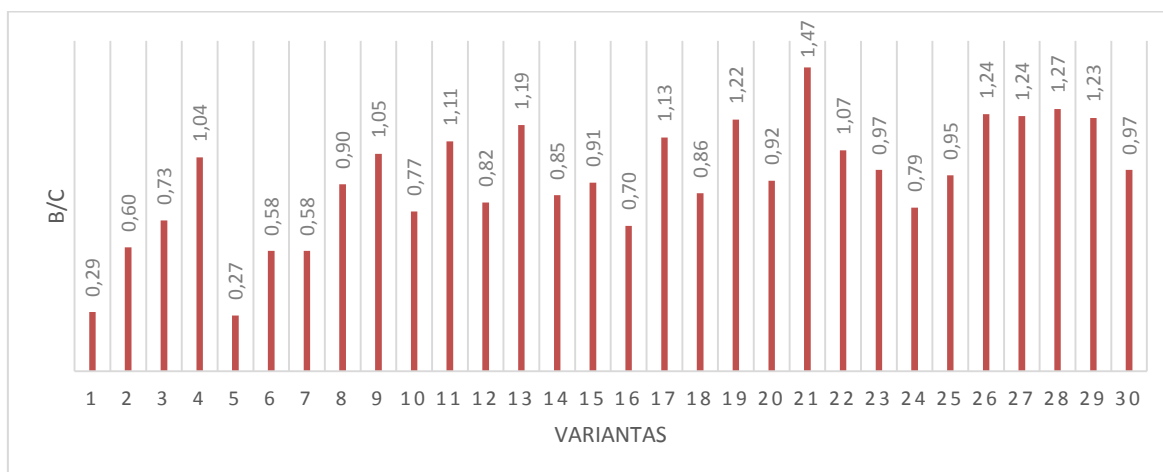
Var. Nr.	Kapitalinės investicijos, €	Pajamos, €/m	Grynasis pelnas, €/m	NPV, €	B/C	IRR	Atsipirkimo laikas diskontuojant pinigų srautą, m
1*	577569,90	27675,08	-1380,45	-254194,11	0,29	-	-
2*	577569,90	56877,46	20492,56	-119984,28	0,60	-	-
3*	321300,00	38423,80	16962,10	-54089,89	0,73	-	-
4	321300,00	54167,25	28735,20	65676,38	1,04	11,21	19,72
5*	255998,58	11311,07	-2315,62	-340673,98	0,27	-	-
6*	255998,58	24144,39	7291,62	-163796,57	0,58	-	-
7*	471658,56	44625,71	16237,84	-177030,11	0,58	-	-
8	471658,56	69309,86	34715,81	21729,07	0,90	8,71	38,13
9	1291834,58	267460,07	152657,75	369258,18	1,05	12,38	15,07
10*	1291834,58	270502,11	154870,31	-266724,11	0,77	-	-
11	1000408,68	221842,95	129370,86	484252,02	1,11	13,96	12,74
12*	1000408,68	224327,16	131165,04	-151730,27	0,82	-	-
13	977316,49	235220,24	140283,21	595302,33	1,19	15,85	10,74
14*	977316,49	237872,43	142203,39	-40679,96	0,85	7,40	44,14
15	995871,22	176346,59	95425,61	109397,43	0,91	9,14	24,70
16*	995871,22	178322,62	96838,65	-526584,87	0,70	-	-
17	1332808,20	170077,96	78084,37	627090,70	1,13	14,05	12,62
18*	1332808,20	292544,98	169865,67	-8891,60	0,86	7,91	34,64
19	1118838,00	263938,52	156499,12	810900,34	1,22	16,03	10,58
20	1118838,00	266222,02	158142,77	174918,05	0,92	9,86	21,52
21	1126842,00	305317,34	187251,71	1498417,05	1,47	20,25	8,01
22	1126842,00	307553,15	188859,59	640567,08	1,07	14,20	12,36
23	1178173,22	216793,96	118924,74	329558,22	0,97	10,57	19,16
24*	1178173,22	218575,72	120192,09	-306424,08	0,79	-	-

25	977316,49	158968,45	83150,36	117985,88	0,95	9,67	22,25
26	1126842,00	241036,89	139097,37	799232,92	1,24	15,72	10,86
27	1709709,18	387419,47	220680,20	1270744,54	1,24	15,64	11,45
28	1685377,41	380333,65	216011,37	1327093,08	1,27	16,06	11,02
29	1685377,41	349237,99	192711,13	1136669,46	1,23	16,00	12,22
30	1685377,41	401049,65	231444,92	464397,68	0,97	10,97	20,54

*Pastaba.* \* pažymėti variantai ekonomiškai nepelningi, nes projektai su neigiama grynąja dabartine verte (NPV) atmetami, kadangi diskontuota išlaidų vertė didesnė už numatomų pajamų diskontuotą vertę.

Iš 12 lentelės rezultatų matyti, kad variantai (t.y. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 var.) kuriuose visa SE ir VE pagaminta elektra parduodama į EES nėra tokie pelningi arba visai nepelningi lyginant su kitais.

Santykis tarp pajamų ir išlaidų būna arba subalansuotas (išlaidos atitinka/viršija pajamas) arba deficitinis (išlaidos viršija pajamas). 12 lentelės variantų pajamų ir išlaidų santykis pateikiamas 6 paveikslėlyje.



**6 pav.** Energijos tiekimo variantų pajamų ir išlaidų santykio palyginimas

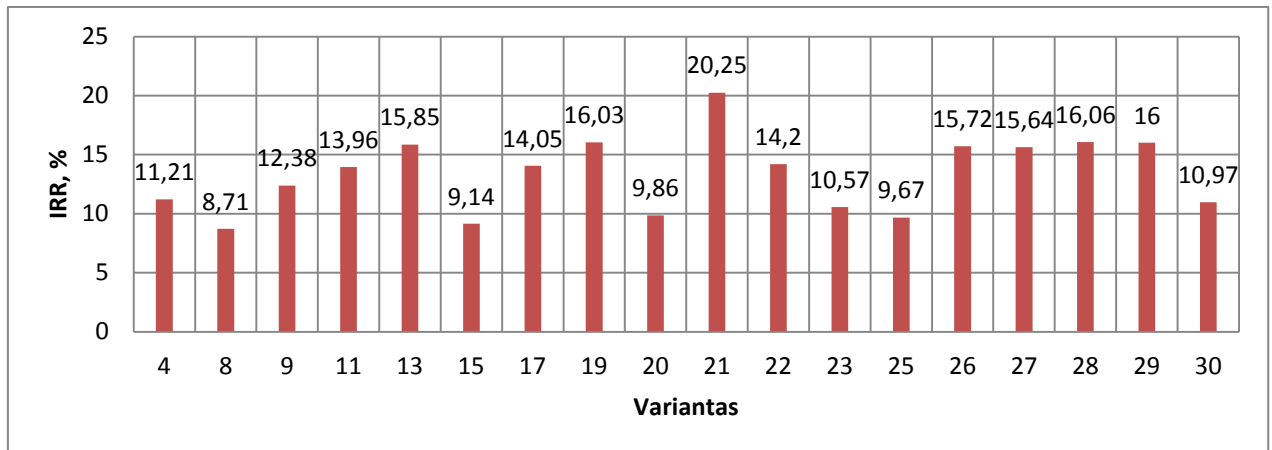
Interpoliacijos būdu nustatytų vidinių pelno normų (IRR) rezultatus pateikiu 13 lentelėje ir atvaizduoju grafiškai 7 paveiksle.

**13 lentelė.** Vidinė pelno norma

Var. Nr.	IRR	Var. Nr.	IRR
<b>4</b>	11,21	<b>21</b>	20,25
<b>8</b>	8,71	<b>22</b>	14,2
<b>9</b>	12,38	<b>23</b>	10,57
<b>11</b>	13,96	<b>25</b>	9,67
<b>13</b>	15,85	<b>26</b>	15,72
<b>15</b>	9,14	<b>27</b>	15,64
<b>17</b>	14,05	<b>28</b>	16,06

<b>19</b>	16,03	<b>29</b>	16
<b>20</b>	9,86	<b>30</b>	10,97

Pagal rezultatus, matomus 13 lentelėje, galima daryti išvadą, kad vidinė pelno norma parodo, kad diskonto normai esant tam tikros reikšmės, projektas atsipirks, bet nebus pelningas.



**7 pav.** Energijos tiekimo variantų vidinės pelno normos palyginimas

Galima matyti, kad ekonomiškai efektyviausias variantas kuriame naudojami tik elektros energijos šaltiniai yra 21 variantas (VE ir SE). Projekto dabartinė grynoji vertė 1498417,05 € ir jau pirmais metais laukiamas 187251,71 € grynasis pelnas. Pajamos viršija išlaidas net 1,69 karto ir projekto atsipirkimo laikas 8,01 metai.

Ekonomiškai efektyviausias variantas kuriame naudojami elektros ir šilumos energijos šaltiniai yra 28 variantas (VE, SE ir ŠS). Projekto dabartinė grynoji vertė lygi 1327093,08 € ir jau pirmais metais laukiamas 216011,37 grynasis pelnas. Pajamos viršija išlaidas 1,46 karto ir projekto atsipirkimo laikas 11,02 metai.

Toliau 21 variantą vadinsiu A, o 28 variantą vadinsiu B.

#### 4.4 A ir B variantų jautrumo analizė

Jautrumo analizės tikslas - išryškinti svarbiausius veiksnius (kitai vadinamus "kritinius kintamuosius"), kurie labiausiai gali turėti įtakos projektui, bei patikrinti kiekvieno iš jų nuoseklių pasikeitimų įtaką projekto rezultatams (pvz., NPV, IRR, pelningumui ir t.t.).

Atliekant jautrumo analizę uždavinio sprendinio tikslu dažniausiai būna nagrinėjamo projekto parametrų neigiamų pokyčių ribinių reikšmių apskaičiavimas, norint, kad projektas išliktų pelningas.

A ir B variantams atliksiu šiuos jautrumo analizės tyrimus:

- 1) Variantų jautrumo analizė sumažėjus saulės energijos supirkimo tarifui iki 50 %.
- 2) Variantų jautrumo analizė sumažėjus viso energijos supirkimo tarifui iki 100 %.
- 3) Analizę kiek turi atpigti saulės modulių įrengimai sumažėjus elektros energijos supirkimo tarifui, kad projekto atsiperkamumas išliktų nepakitęs.
- 4) Analizę kiek turi atpigti vėjo elektrinių įrengimai sumažėjus vėjo elektros energijos supirkimo tarifui, kad projekto atsiperkamumas išliktų nepakitęs.
- 5) Ribinių elektros energijos tarifų nustatymas prie kurių projektas išlieka nei pelningu nei nuostolingu.
- 6) Projektų jautrumo analizė kai elektrinės paleidimas vėluoja 1-3 metus.

#### 4.4.1 Saulės energijos supirkimo tarifo ir technologijų kainos įtakos tyrimas

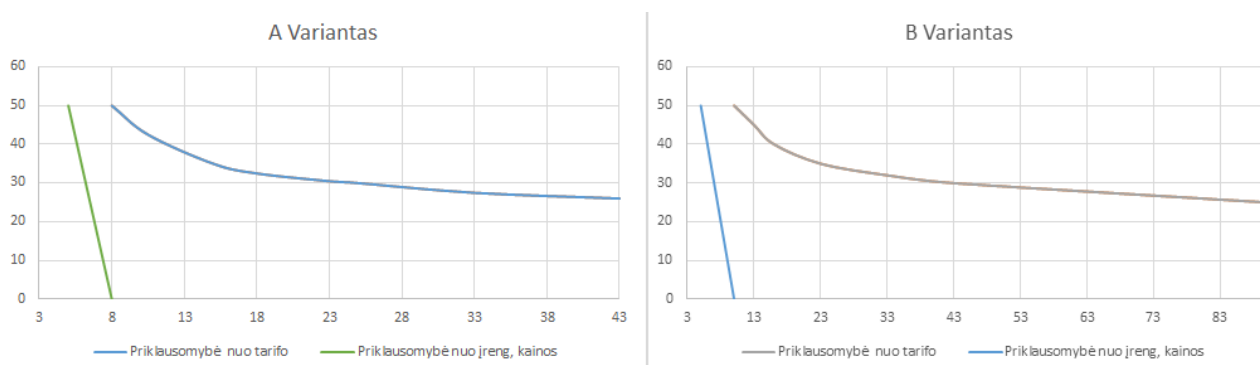
A ir B variantuose saulės elektrinės visa energija yra parduodama į EES. Nustatau SE pagamintos elektros energijos supirkimo tarifo ir saulės modulių technologijos atpigimo įtaką projektų dinaminiam atsipirkimo laikui. Tyrimą atlieku, palaipsniui mažindamas (5% intervalu) saulės energijos supirkimo tarifą bei įrenginių kainą iki 50 % ir fiksuoju projekto dinaminį atsipirkimo laiką. Gautus rezultatus pateikiu 16, 17 lentelėse ir atvaizduoju grafiškai 19 paveikslėlyje.

**14 lentelė.** A var. Projekto atsiperkamumo priklausomybės nuo saulės supirkimo tarifo ir įrenginių rezultatai

		SE įrenginių kainų sumažėjimas, %										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
SE elektros energijos supirkimo tarifo sumažėjimas, %	0	8,01	7,59	7,18	6,79	6,42	6,06	5,72	5,39	5,08	4,77	4,48
	5	8,67	8,20	7,74	7,31	6,90	6,50	6,13	5,77	5,42	5,09	4,77
	10	9,46	8,92	8,40	7,92	7,45	7,02	6,60	6,20	5,82	5,46	5,11
	15	10,42	9,78	9,19	8,64	8,11	7,62	7,15	6,70	6,82	6,37	5,94
	20	11,60	10,85	10,16	9,51	8,90	8,34	7,80	7,30	6,82	6,37	5,94
	25	13,11	12,19	11,36	10,59	9,88	9,21	8,59	8,01	7,47	6,96	6,47
	30	15,12	13,96	12,91	11,96	11,10	10,30	9,57	8,89	8,26	7,66	7,11
	35	17,98	16,39	15,01	13,79	12,69	11,71	10,81	9,99	9,24	8,54	7,89
	40	22,52	20,07	18,05	16,35	14,88	13,60	12,45	11,42	10,50	9,65	8,87
	45	31,79	26,65	23,07	20,34	18,14	16,31	14,74	13,38	12,18	11,11	10,14
	50	45,62	48,85	34,44	27,94	23,74	20,66	18,24	16,25	14,58	13,14	11,87

**15 lentelė.** B var. Projekto atsiperkamumo priklausomybės nuo saulės supirkimo tarifo ir įrenginių rezultatai

		SE Įrenginių kainų sumažėjimas, %										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
SE elektros energijos supirkimo tarifo sumažėjimas, %	0	11,02	10,52	10,04	9,58	9,15	8,74	8,34	7,96	7,6	7,25	6,91
	5	11,96	11,38	10,84	10,33	9,84	9,38	8,94	8,52	8,11	7,73	7,36
	10	13,08	12,42	11,79	11,21	10,65	10,13	9,63	9,16	8,71	8,29	7,88
	15	16,22	15,25	14,36	13,55	12,79	12,09	11,43	10,81	10,24	9,69	9,17
	20	16,22	15,25	16,36	13,55	12,79	12,09	11,43	10,81	10,24	9,69	9,17
	25	18,53	17,29	16,18	15,17	14,25	13,41	12,63	11,9	11,23	10,6	10
	30	21,81	20,1	18,61	17,31	16,14	15,09	14,13	13,26	12,45	11,71	11,01
	35	27,00	24,31	22,12	20,29	18,71	17,32	16,1	15	14	13,09	12,26
	40	38,06	31,97	27,92	24,9	22,49	20,5	18,81	17,34	16,05	14,9	13,86
	45	58,09	69,44	4,94	33,88	29,03	25,58	22,91	20,75	18,93	17,36	16
	50	88,29	82,55	71,55	60,52	48,49	36,44	30,42	26,41	23,41	21,03	19,06



**7 pav.** A ir B variantų atsiperkamumo priklausomybė nuo SE supirkimo tarifo ir įrengimų kainos

Pagal 15,16 lentelių ir 7 paveikslėlio rezultatus matyti, kad tiek A ir B variantų projektų dinaminiam atsiperkimui didelę įtaką turi tiek saulės energijos supirkimo tarifas tiek saulės elektrinės įrenginių kaina. 4.4.5 skyriuje bus nustatomi ribiniai saulės elektrinės supirkimo tarifai.

#### 4.4.2 Vėjo energijos supirkimo tarifo ir technologijų kainos įtakos tyrimas

Tiek A ir B variantuose VE energija naudojama savoms reikmėms tenkinti ir tik perteklinė parduodama į tinklą. Nustatau VE pagamintos elektros energijos supirkimo tarifo ir VE įrenginių atpigimo įtaką projektų dinaminiam atsiperkimui laikui. Tyrimą atlieku, palaipsniui mažindamas (5% intervalu) vėjo energijos supirkimo tarifą bei įrenginių kainą iki 50 % ir fiksuoju projekto dinaminį atsiperkimą laiką. Gautus rezultatus pateikiu 17, 18 lentelėse ir atvaizduoju grafiškai 8 paveikslėlyje.



**16 lentelė.** A var. Projekto atsiperkamumo priklausomybės nuo vėjo supirkimo tarifo ir įrenginių rezultatai

		SE įrenginių kainų sumažėjimas, %										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
SE elektros energijos supirkimo tarifo sumažėjimas, %	0	8,01	7,73	7,45	7,19	6,94	6,69	6,46	6,23	6,00	5,79	5,58
	5	8,03	7,75	7,47	7,21	6,95	6,71	6,47	6,24	6,02	5,80	5,59
	10	8,05	7,77	7,49	7,23	6,97	6,72	6,48	6,25	6,03	5,81	5,60
	15	8,07	7,79	7,51	7,24	6,99	6,74	6,50	6,27	6,04	5,83	5,62
	20	8,09	7,81	7,53	7,26	7,00	6,76	6,51	6,28	6,06	5,84	5,63
	25	8,11	7,83	7,55	7,28	7,02	6,77	6,53	6,30	6,07	5,85	5,64
	30	8,14	7,85	7,57	7,30	7,04	6,79	6,54	6,31	6,08	5,86	5,65
	35	8,16	7,86	7,58	7,31	7,05	6,80	6,56	6,33	6,10	5,88	5,66
	40	8,18	7,89	7,60	7,33	7,07	6,82	6,58	6,34	6,11	5,89	5,68
	45	8,20	7,91	7,62	7,35	7,09	6,83	6,59	6,35	6,13	5,90	5,69
	50	8,22	7,93	7,64	7,37	7,11	6,85	6,61	6,37	6,14	5,92	5,70

**17 lentelė.** A var. Projekto atsiperkamumo priklausomybės nuo vėjo supirkimo tarifo ir įrenginių rezultatai

		SE įrenginių kainų sumažėjimas, %										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
SE elektros energijos supirkimo tarifo sumažėjimas, %	0	11,02	10,50	10,01	9,55	9,11	8,69	8,30	7,92	7,57	7,22	6,90
	5	11,05	10,53	10,03	9,57	9,13	8,71	8,32	7,94	7,58	7,24	6,91
	10	11,08	10,55	10,06	9,59	9,15	8,73	8,34	7,96	7,60	7,26	6,93
	15	11,11	10,58	10,09	9,62	9,17	8,75	8,36	7,98	7,62	7,27	6,94
	20	11,14	10,61	10,11	9,64	9,20	8,77	8,37	7,99	7,63	7,29	6,96
	25	11,17	10,64	10,14	9,67	9,22	8,80	7,39	8,01	7,65	7,30	6,97
	30	11,20	10,67	10,16	9,69	9,24	8,82	8,41	8,03	7,67	7,32	6,99
	35	11,23	10,70	10,19	9,71	6,26	8,84	7,43	8,05	7,68	7,33	7,00
	40	11,27	10,73	10,22	9,74	9,29	8,86	8,45	7,07	7,70	7,35	7,01
	45	11,30	10,75	10,24	9,76	9,31	8,88	8,47	8,08	7,72	7,36	7,03
	50	11,33	10,78	10,27	9,79	9,33	8,90	8,49	8,10	7,73	7,38	7,04

Iš 17, 18 lentelių tyrimo rezultatų matyti, kad VE supirkimo tarifo sumažėjimas net iki 50 % projektų dinaminiam atsipirkimo laikui didelės įtakos neturi. Todėl ir 100% sumažėjus VE elektros energijos supirkimo tarifui didelės įtakos projektų atsiperkamumui neturi.

Tačiau VE įrenginių kainos sumažėjimas turi didelę įtaką projektų atsiperkamumui. Toliau pateikiu koks bus projektų atsipirkimo laikas, kai 100 % sumažės VE elektros energijos supirkimo tarifas

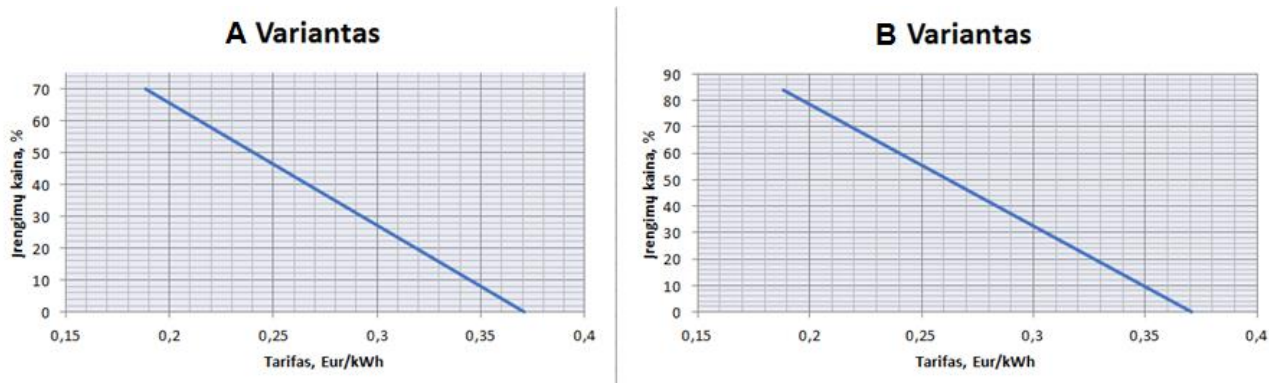
- A varianto projekto atsipirkimo laikas 8,44 met. (buvo 8,1 met.);
- B varianto projekto atsipirkimo laikas 11,66 met. (buvo 11,02 met.).

#### 4.4.3 Saulės elektrinės supirkimo tarifo įrengimų kainos priklausomybės kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs tyrimas

A ir B variantams nustatau kiek turi sumažėti SE įrenginių kaina sumažėjus saulės elektrinės supirkimo tarifui iki 50 %, kad projekto atsiperkamumas išliktų nepakitęs. Gautus rezultatus pateikiu 20 lentelėje ir atvaizduoju grafiškai 21 paveikslėlyje.

**18 lentelė.** A ir B variantų SE supirkimo tarifo ir įrenginių kainos priklausomybės kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs rezultatai

		SE supirkimo tarifas, %										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		SE įrenginių kainos sumažėjimas, %										
A var.	0	7	14	21	28	35	42	49,1	55,9	63,1	70	
Projekto atsiperkamumo laikas išlieka 8,01												
B var.	0	8,3	16,6	25	33,2	41,5	50	58,2	66,5	75	83,2	
Projekto atsiperkamumo laikas išlieka 11,02												



**7 pav.** A ir B variantų atsiperkamumo priklausomybė nuo SE supirkimo tarifo ir įrengimų kainos

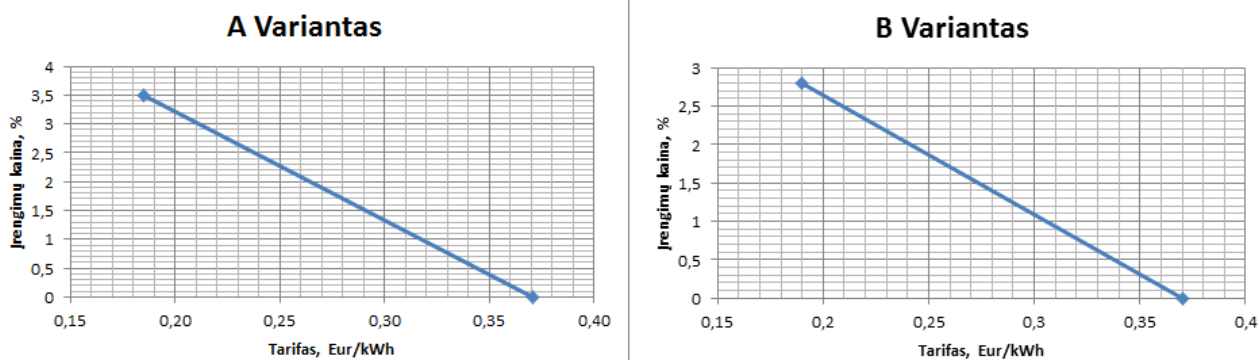
Iš 21 paveikslėlio matyti, kad sumažėjus saulės energijos supirkimo tarifui 50 % A varianto įrenginių kaina turi sumažėti 70%, o B varianto 83,32 %, kad projektų atsiperkamumas išliktų nepakitęs.

#### 4.4.4 Vėjo elektrinės supirkimo tarifo ir įrengimų kainos priklausomybės kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs tyrimas

A ir B variantams nustatau kiek turi sumažėti VE įrenginių kaina sumažėjus vėjo elektrinės supirkimo tarifui iki 50 %, kad projekto atsiperkamumas išliktų nepakitęs. Gautus rezultatus pateikiu 21 lentelėje ir atvaizduoju grafiškai 22 paveikslėlyje.

**29 lentelė.** A ir B variantų VE supirkimo tarifo ir įrenginių kainos priklausomybės kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs rezultatai

SE supirkimo tarifas, %											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
SE įrenginių kainos sumažėjimas, %											
A	0	0,3	0,7	1	1,4	1,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5
var.	Projekto atsiperkamumo laikas išlieka 8,01										
B	0	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	2	2,2	2,5	2,8
var.	Projekto atsiperkamumo laikas išlieka 11,02										



**8 pav.** A ir B variantų VE tarifo ir įrenginių kainos priklausomybė kai projekto atsiperkamumas išlieka nepakitęs

Iš 8 paveikslėlio matyti, kad sumažėjus VE energijos supirkimo tarifui 50 % A varianto įrenginių kaina turi sumažėti 3.5 %, o B varianto 2.8 %, kad projektų atsiperkamumas išliktų nepakitęs. Tokius rezultatus įtakoja, kad VE pagaminta elektros energija yra vartojama vietoje ir tik preteklinė parduodama į EES.

#### 4.4.5 Ribinių elektros energijos tarifų nustatymas

Kadangi saulės elektrinės supirkimo tarifas turi didelę įtaką projektų atsiperkamumui, todėl nustatau ribinius tarifus, prie kurių projektai yra nepelningi ir nenuostolingi (t.y. NPV=0, B/C=1):

- A varianto SE ribinis supirkimo tarifas 0,1885 €/kWh (t.y 50,85 % nuo 0,37 €/kWh);
- B varianto SE ribinis supirkimo tarifas 0,2093 €/kWh (t.y 56,47 % nuo 0,37 €/kWh).

Taigi 50 % sumažėjus SE pagamintos energijos supirkimo tarifui A ir B variantų projektai tampa nebepeilingi, nes atitinkamai NPV=-25857,88 €, B/C=0.99 ir NPV=-197,18 €, B/C=0.93. Pagal 4.4.2 skyriaus rezultatus matome, kad didelės įtakos vėjo elektrinės pagamintos energijos supirkimo tarifo sumažėjimas neturi.

Nustatėme ribinius pagamintos energijos tarifus, kai VE pagamintos energijos tarifas sumažėjo 50 %

- A varianto SE ribinis supirkimo tarifas 0,1947 €/kWh (t.y. 50,52 % nuo 0,37 €/kWh), kai VE supirkimo tarifas sumažėjęs 50 %;
- B varianto SE ribinis supirkimo tarifas 0,2158 €/kWh (t.y. 58,22 % nuo 0,37 €/kWh), kai VE supirkimo tarifas sumažėjęs 50 %.

#### 4.4.6 Projektų jautrumo analizė "užsitęsusioms statyboms"

"Užsitęsusioms statyboms" reiškia, kad planuojamos elektrinės paleidimas vėluoja tam tikrą laikotarpį. A ir B variantams nustatoma kaip keisis projektų vidinė pelno norma (NPV), pajamų ir išlaidų santykis (B/C), kai vėluoja SE, VE ir abiejų paleidimas 1-3 metus. Kai vėluoja elektrinių paleidimas priimu tokias sąlygas:

- Dėl teisinių/administracinių kliūčių  $n$ -metus ( $n=1, 2$  arba  $3$  vėlavimo laikotarpis metais) vėluoja vienos ar abiejų elektrinių prijungimas prie elektros energetikos sistemos (EES)
- Skaičiuojant pinigų srautus nuliniiais metais kapitalines investicijas sudarys tik įrengimų kaina, o  $n$ -metais atsiras vėluojančios elektrinės prijungimo prie EES išlaidos.
- Vėlavimo laikotarpiu nevertinu užsitęsusių elektrinės metinių išlaidų kurias sudaro: įrenginių eksploatacinės išlaidos ir metinis nusidėvėjimas.
- Vėlavimo laikotarpiu nepaleista elektrinė neatneša papildomų pajamų kurias sudaro: pajamos už sutaupytas lėšas ir pajamos už parduotą energiją.
- Vėlavimo laikotarpiu vertinamos padidėjusios išlaidos dėl perkamos elektros energijos iš EES.

Gautus rezultatus pateikiu 21-22 lentelėse 4 bei 9-10 paveikslėliuose.

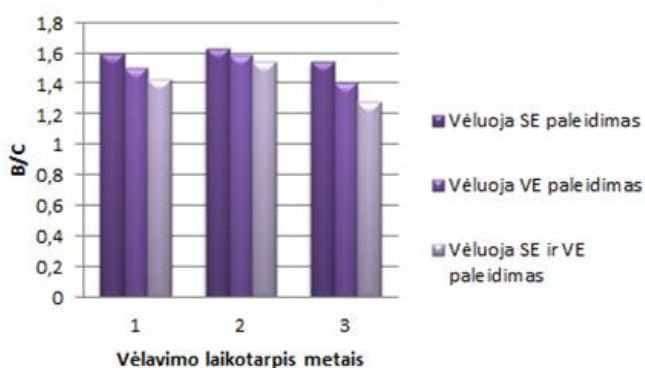
**21 lentelė.** A varianto „užsitęsusių statybų“ tyrimo rezultatai

Vėlavimo metai	Vėluoja SE paleidimas		Vėluoja VE paleidimas		Vėluoja SE ir VE paleidimas	
	NPV, €	B/C	NPV, €	B/C	NPV, €	B/C
1	1272482,82	1,599	1403874,17	1,637	1177939,95	1,544
2	1063284,46	1,509	1316334,28	1,587	881201,89	1,406
3	869582,28	1,43	1235279,19	1,547	606444,43	1,279

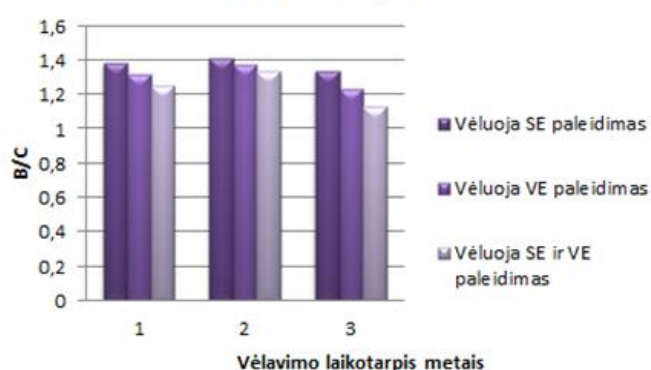
22 lentelė. B varianto „užsitęsusių statybų“ tyrimo rezultatai

Vėlavimo metai	Vėluoja SE paleidimas		Vėluoja VE paleidimas		Vėluoja SE ir VE paleidimas	
	NPV, €	B/C	NPV, €	B/C	NPV, €	B/C
1	1101158,85	1,385	1215338,78	1,413	989404,54	1,341
2	891960,21	1,316	1111862,58	1,372	676729,99	1,232
3	698,25	1,25	1016051,28	1,335	387216,46	1,132

**A Variantas**

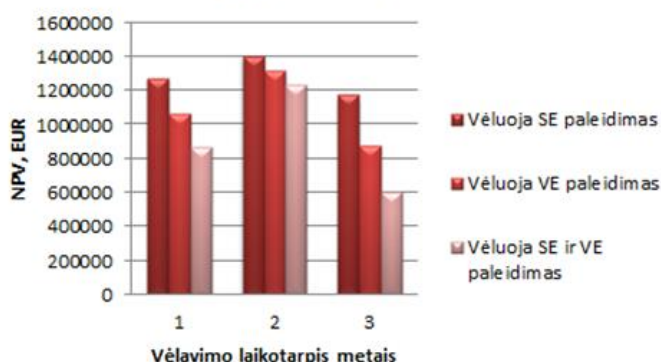


**B Variantas**

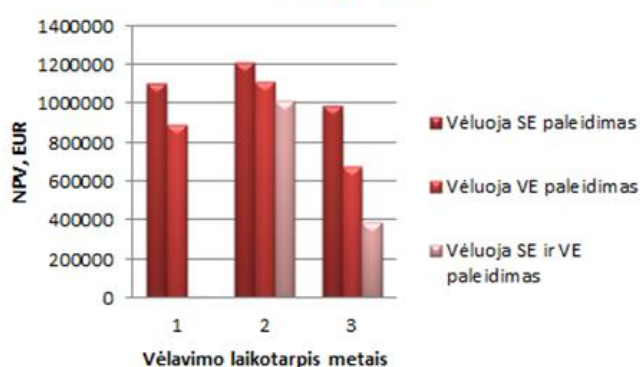


9 pav. A ir B variantų pajamų ir išlaidų santykis „užsitęsusių statyboms“

**A Variantas**



**B Variantas**



10 pav. A ir B dabartinė grynoji vertė „užsitęsusių statyboms“

9-10 paveikslėliuose matyti, kad abėjuose variantuose užsitęsęs SE paleidimas turi didesnę įtaką nei vėjo elektrinės. 3 metams vėluojant SE paleidimui A varianto B/C=1,423, o dabartinė grynoji vertė lygi 869582,28 €, analogiškai B varianto B/C=1,25 NPV=698258,32 €.

Nemaža rizika projekto pelningumui atsiranda B variantui, kai 3 metus vėluoja SE ir VE paleidimas, tuomet pajamų ir išlaidų santykis 1,132, o dabartinė grynoji vertė 387216,46 €.

## IŠVADOS

1. Hibridinių sistemų panaudojimas leidžia lengviau pasiekti gerą generuojančių galių dydžio ir pagamintos energijos kiekio išnaudojimo koeficientą, išnaudojant kiekvienos technologijos privalumus.
3. Nustatyta, kad iš parinktų vėjo elektrinių ekonomiškai efektyviausia naudoti Garbi-200, kuri įmonės reikiamą elektros energiją 876,94 MWh/m pagamina pigiausiai t.y už 315 000 €.
4. Nustatyta, kad iš parinktų saulės modulių ekonomiškai efektyviausia naudoti ReneSola Virtus II JC250M-24B, kuri įmonės trūkstamą elektros energiją 506,7 MWh/m pagamina pigiausiai t.y už 318590 €.
5. Įmonės šilumos poreikiams tenkinti ekonomiškai efektyviausia naudoti TAS550W/D šilumos siurblius. Per metus bus pagaminta 1241,46 MWh šilumos energijos.
6. Ekonomiškai efektyviausias variantas, kuriame naudojami tik elektros energijos šaltiniai, yra A variantas. Projekto kapitalinės investicijos siekia 1126842 €, o grynasis pelnas 187251 €. Atsipirkimo laikas 8 metai (NPV=1498417 €, IRR=20,25 %).
7. Kai naudojami elektros ir šilumos energijos šaltiniai ekonomiškai efektyviausias yra B variantas. Kapitalinės investicijos siekia 1685377 €, o grynasis pelnas 216011 €/m. Atsipirkimo laikas 11 metų (NPV=1327093 €, IRR=16,06 %).
8. Kad A ir B variantų atsiperkamumas išliktų nepakitęs sumažėjus saulės energijos supirkimo tarifui 50 % (iki 0,185 €/kWh), atitinkamai įrengimų kaina turi sumažėti 70 % ir 83,32 %.
9. Ribinės saulės elektrinės elektros energijos pardavimo kainos buvo nustatytos bandymų būdu. Nustatyta, kad A varianto elektros energiją pigiausiai galima parduoti už 0,188 €/kWh, B varianto už 0,209 €/kWh.

## LITERATŪRA

1. Informacija apie Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos protokolą. Kioto protokolas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <[http://lt.wikipedia.org/wiki/Kioto protokolas](http://lt.wikipedia.org/wiki/Kioto_protokolas)>.
2. Staniulis R., Deksnys R. Paskirstytos generacijos integracija į elektros energetikos sistemą ir įtaka energijos tiekimo patikimumui. Kaunas: Technologija, 2007. 62p.
3. Graham A., Damien F. Final Report for OFGEM's project. Electricity network Scenarios for Great Britain in 2050. Ref. No. 157a/08, 2008. 133p.
4. Europos komisijos darbo programa. Komisijos komunikatas Europos parlamentui, tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui. Briuselis, 2011.11.15. 53p.
5. Chowdhmy S., Mor Chowdhury row S.P., Crossley P. Microgrids and active distribution networks,, The institution of engineering and technology, 2009. 321p.
6. Miškinis V., Norvaiša E. Paskirstytoji elektros energijos gamyba Europoje ir Lietuvoje. ENERGETIKA 2007. T. 53. Nr. 4. P. 1-8.
7. Slušnys D. Paskirstytųjų generatorių sistemos stabilumo tyrimas. Kauno Technologijos Universitetas, 2008, 90p.
8. Lasseter R., Akhil A., Marnay C. Integration of distributed energy resources. LBNL-50829, 2002. P. 1-27.
9. Tudorache T., Roma C. The numerical modeling of transient regimes of diesel generator sets. Acta Polytechnica Hungarica, 2010. Vol. T7. No, 2. 53p.
10. Herbreteau J., Courtecuisse V., Peng L., Degobert Ph. Association of PV; gas micro turbine and short term storage system to participate in frequency control. 2008. 6p.
11. Bandza A., Nargėlas A. Garo turbinos dinaminio modelio identifikavimas pagal eksperimento duomenis. ENERGETIKA, 2004. Nr. 2. P. 15-19.
12. Sandip Pasricha. A dynamic PEMfuel cell model. IEE 0885-8969, 2006. 7p.
13. Wang C. Control of PEM fuel cell distributed generation systems. IEEE 0885-8969, 2006. 10p.
14. Twiddle J., Jones N. A high-level technique for diesel engine combustion system condition monitoring and fouled diagnosis. Journal of systems and control engineering, 2002. 16p.
15. Adomavičius V., Žukienė L. Mažosios kogeneracinės elektrinės ir jų plėtros perspektyvos. ISSN 1822-0754. 2011, nr. 6. P. 56-69.



16. LR Ūkio ministerija. Įvairių kogeneracijos technologijų įrengimo galimybių ir sąnaudų studijos bei rekomendacijų dėl šių technologijų parengimas. Ataskaita Nr. 012007.2007.P.59.
17. Lietuvos respublikos vyriausybės nutarimas Nr. 1426. Nacionalinė energetikos strategija. Vilnius, 2010. 44p.
18. Lasseter R. H. MicroGrids. IEEE 0-7803-7322, 2002.
19. Šatas J. Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla, 2006. 129p.
20. Deksnys P. Vėjo elektrinių plėtros galimybių analizė, LEI, 2009. 149p.
21. Informacija apie vėjo elektrines [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mywindpowersystem.com/products/>>
22. Pleskūnas G. Baltijos jūros vėjo elektrinių parko galimybių studija. Magistro darbas, 2011. 51p.
23. Vėjo energija. Vėjo energetika ir jos plėtros perspektyva Lietuvoje [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mokslasirtechnika.lt/mokslo-naujienos/v-jo-energetika-ir-jos-pl-tros-perspektyva-lietuvoje.html>>.
24. Informacija apie saulės modulius [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.sauleselektrines.lt/lt/produktai/saul%C4%97s-moduliai>>, <[http://www.greenstart.lt/lt/produktai/saules\\_energijos\\_sistemas\\_elekirai\\_gaminti/fotovoltiniai\\_s\\_aules\\_moduliai\\_sharp/](http://www.greenstart.lt/lt/produktai/saules_energijos_sistemas_elekirai_gaminti/fotovoltiniai_s_aules_moduliai_sharp/)>.
25. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro nutarimas Nr. DJ -248. Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. STR 2.09.04:2008.
26. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro nutarimas Nr. DI-624. Pastatų. energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas. STR 2.01.09:2005.
- 27 Informacija apie šilumos siurblius [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <[http://v.rww.tasolsolar.co.za/downloads/Industria!\\_Heatpumps.pdf](http://v.rww.tasolsolar.co.za/downloads/Industria!_Heatpumps.pdf)>.
28. Informacija apie elektros tarifus [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.lesto.lt/lt/verslui/elektros-energijos-kainos-ir-tarifu-planai/768>>.