



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Donatas Kiltinavičius**

**VIRTUALIŲ ELEKTRINIŲ PLĖTROS SKATINIMO  
PRIEMONIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Saulius Gudžius

**KAUNAS, 2017**

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

**VIRTUALIŲ ELEKTRINIŲ PLĖTROS SKATINIMO**  
**PRIEMONIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
**Elektros energetikos sistemos (621H63005)**

**Vadovas**

Prof. dr. Saulius Gudžius  
2017.06.05

**Recenzentas**

Lekt. dr. Jonas Vanagas  
2017.06.05

**Projektą atliko**

Donatas Kiltinavičius  
2017.06.05

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Donatas Kiltinavičius

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Virtualių elektrinių plėtros skatinimo priemonių tyrimas“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. birželio 5 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Donato Kiltinavičiaus** baigiamasis projektas tema „Virtualių elektrinių plėtros skatinimo priemonių 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)

Kiltinavičius, Donatas. Virtualių elektrinių plėtros skatinimo priemonių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Saulius Gudžius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *virtualios elektrinės, atsinaujinantys ištekliai, skatinimas, saulės elektrinės, NORD POOL SPOT.*

Kaunas, 2017. 58 p.

## **SANTRAUKA**

Stebint tendencijas elektros energetikos sektoriuje pasaulyje bei Lietuvoje pastebėtina, kad atsinaujinančius išteklius naudojančių paskirstytųjų generatorių plėtra įgauna pagreitį. Tai įtakoja Valstybių siekiai mažinti CO<sub>2</sub> išskyrimą, taikomos įvairiausios skatinimo priemonės. Skatinimo priemonėmis sudaromos lengvatinės sąlygos atsinaujinančius išteklius naudojančių paskirstytųjų generatorių savininkams, taikomos prijungimo nuolaidos, superkama už didesnę nei rinko kainą elektra ir t.t. Elektros energijos gamyba gali užsiimti kiekvienas norintis. Pastebima, kad populiariausios saulės elektrinės, nes jos nesudėtingos konstrukcijos, nereikalingi papildomi žemės lotai, galima įrengti ant pastatų. Lankstus generuojamos galios pasirinkimas. Paprastos eksploatuoti, neturi mechaninių mazgų kaip vėjo elektrinės. Energetikos sistemos operatoriai privalo prijungti prie sistemos, bet kokios galios generatorius kokie jie maži be būtų. Augant paskirstytųjų generatorių skaičiui energetikos sistemos operatoriams atsiranda nauji iššūkiai sistemos suvaldymui. Viena iš galimų paskirstytųjų generatorių integravimo priemonių padedančių spręsti naujai iškylančius uždavinius tai virtualių elektrinių sudarymas. Energetikos sistema niekada jau nebus tokia kokia buvo iki šiol.

Šiame tiriamajame darbe atliktas tyrimas siekiant įvertinti virtualios elektrinės naudą paskirstytųjų generatorių plėtros skatinimui Lietuvoje. Tiriamajame darbe apžvelgta paskirstytųjų generatorių plėtros dinamika, elektros prekybos NORD POOL SPOT birža bei teisinė aplinka reguliuojanti jų plėtrą. Taip pat apžvelgtos skatinimo priemonės.

Tyrimas atliktas sumodeliuojant virtualią elektrinę iš 36 paskirstytųjų generatorių – saulės elektrinių. Tyrimo apimtis 2016 metai, naudoti realūs duomenys. Ištirti metiniai bei paros grafikai. Palyginta su įprastinėmis saulės elektrinėmis. Aprašyti virtualios elektrinės pastebėti grafikų ypatumai. Taip pat įvertina ekonominė nauda. Sumodeliuotas elektros energijos pardavimas skirtingais scenarijais. Palyginta su šiais dienais

Atlikus tyrimą nustatyta, kad įdiegus virtualios elektrinės modelį Lietuvoje ir sudarius galimybes paskirstytųjų generatorių savininkams jungtis į ją ir prekiauti elektros energija parduodant ją už rinkos kainą kuri būti fiksuojama kas valandą ekonominė nauda sudarytų 20% lyginant jei elektros energija būtų parduodama pagal vidutinę dienos ar metų kainą. Tokia integracija paskirstytųjų generatorių integracija sumažintų skatinimo priemonių apimtį, būtų mažesnė našta kitiems elektros vartotojams. Taip pat svarbu paminėti, kad energetikos sistemos operatoriams iki šiol nematomi gamybos resursai taptų matomais ir kontroliuojamais, abipusė nauda.

Kiltinavičius, Donatas. Research on Promotional Measures of Virtual Power Plants: Master's thesis / supervisor prof. Saulius Gudžius. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power Systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: virtual power plant, renewable energy source, regulation, solar power plant, NORD POOL SPOT.

Kaunas, 2017. 58 p.

## **SUMMARY**

Use of distributed renewable energy resources in the world and Lithuania is growing. It influences because the country's seeking to reduce CO<sub>2</sub> emissions. Electric power generation may be carried out anyone who wants. It is noted that the most popular plants are photovoltaic because of its simple design, no additional land lots, can be installed on buildings. Flexible choice of generated power. Also, simple to operate, it has no mechanical components like wind power. Energy system operators must connect to the system any power generator. Growing number of distributed generators for power system operators brings new challenges to system control. One of the potential opportunity for the integration of distributed generators is formatting virtual power plant from distributed generators. The energy system has never been as it is now.

This study accomplished investigation to evaluate the benefits of virtual power plant for integration and development in Lithuania. Investigative work reviews the development dynamics of distributed generators. Also, NORD POOL SPOT electricity trading market, and the legislation of distributed energy resources.

The study was accomplished, by simulating virtual power plant of 36 distributed generators – photovoltaic generators. The study volume of the year 2016. Virtual power plant compared with conventional solar power plants. Described virtual power scheduling features. Modeled electricity sales in different scenarios.

The investigation showed that the virtual power plant could rise 20% of revenue compared to when electricity would be sold by the average daily or annual price. The integration of distributed generators integration would reduce incentives for the volume to be less burdensome for other electricity consumers. It is also important to mention that the power system operators to date production resources become visible and controlled, mutual benefit.

## TURINYS

ĮVADAS .....	8
1. APŽVALGINĖ DALIS .....	10
1.1. VPP koncepcija.....	10
1.2. VPP konstrukcijos.....	10
1.3. VPP įgyvendinimo uždaviniai. ....	13
1.4. VPP kontrolės metodai. ....	14
1.4.1. Ribinių sąnaudų metodas. ....	14
1.4.2. Šilumos ir elektros energijos optimizavimo metodas. ....	15
1.4.3. Gamybos sąnaudų mažinimo metodas.....	15
1.5. VPP naudojimo pavyzdžiai.....	16
1.6. VPP apibendrinimas .....	16
2. METODINĖ DALIS.....	17
2.1. Atsinaujinančius išteklius naudojančių paskirstytųjų generatorių prijungimo reguliavimas Lietuvoje.17	
2.2. Elektrinės Lietuvoje.....	18
2.3. Elektros energijos kainos sudėtis.....	21
2.4. Elektros energijos rinka. ....	23
2.5. Elektros energijos kaina.....	24
3. TYRIMO DALIS.....	26
3.1. Tyrimo apimtis.....	26
3.2. Metinių duomenų analizė.....	28
3.3. Paros duomenų analizė. ....	34
3.4. Elektros energijos pardavimas.....	48
3.5. Gaminančių vartotojų modelis.....	51
4. IŠVADOS .....	56
INFORMACIJOS ŠALTINIAI.....	58

## **SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS**

Naudotos santrumpos:

VPP – virtuali elektrinė;

DER – paskirstytieji generatoriai;

PTO – perdavimo tinklo operatorius

STO – skirstomojo tinklo operatorius;

## IVADAS

Vienas iš svarbiausių žmonijos uždavinių šiandien yra CO<sub>2</sub> dujų emisijos mažinimas. Darytina išvada, kad būtina visose srityse mažinti šiltnamio dujų išskyrimą. Nemaža dalis šiltnamio dujų išskiriama vykstant elektros energijos gamybos procesams. Siekiant mažinti šiltnamio dujų išskyrimą gaminant elektros energiją reikia gaminti daugiau švarios elektros energijos iš atsinaujinančių energijos išteklių. Taip pat mažinti energijos perdavimo nuostolius, siekti, kad kuo mažiau pagaminto elektros energijos būtų prarandama – nuostoliai perdavimo ir skirstymo tinkluose. Mažos galios elektrinių gaminančių elektros energiją iš atsinaujinančių energijos išteklių (paskirstytieji generatoriai) įrengimas greta elektros energijos vartotojų sumažina elektros energijos perdavimo ir skirstymo nuostolius. Tačiau elektrinių, naudojančių atsinaujinančius energijos išteklius, įrengimas pakankamai brangus lyginant su įprastinėmis elektrinėmis kurios naudoja iškastinį kurą. Siekiant sudaryti palankias sąlygas paskirstytų generatorių, gaminančių elektros energiją iš atsinaujinančių energijos išteklių, plėtrai numatomos skatinimo priemonės. Priklausomai nuo valstybės politikos ir pasirinkto skatinimo scenarijaus galimos įvairios skatinimo priemonės: nustatytas supirkimo tarifas, atleidimai nuo mokesčių, prijungimo nuolaidos ir t. t. Taikant skatinimo priemones asmenims plėtojantiems atsinaujinančių išteklių elektrines projektai tampa rentablesni. Tačiau tokios elektrinės tampa našta visiems elektros energijos vartotojams. Taip pat tokios elektrinės nepaklūsta bendram energetinės sistemos valdymui, apsunkina jos valdymą. Perdavimo ir skirstomųjų tinklų operatoriams sudėtingiau valdyti tinklą ir prognozuoti elektros energijos srautus. Kad atsinaujinančius išteklius naudojančius paskirstytieji generatoriai būtų konkurencingi, reikia – integruoti į energetines sistemas ir elektros energijos prekybos biržas kaip aktyvius lygiaverčius dalyvius. Atsinaujinančius išteklius naudojančius paskirstytuosius generatorius sujungus į virtualias elektrines taip būtų galima integruoti į energetines sistemas ir elektros energijos prekybos biržą.

Virtuali elektrinės – Lietuvos energetikos srityje yra viena iš naujausių sąvokų. VPP idėja gimė prieš keliolika metų ir turi keletą esminių privalumų kurie šių dienų energetikos problematikos kontekste yra svarūs. Pagrindinė VPP koncepcija pagrįsta centralizuoto valdymo struktūra, kuri jungia, kontroliuoja ir vizualizuoja paskirstytuosius generatorius. Šilumos ir elektros energijos generatoriai, kuro elementai, foto elementai, vėjo elektrinės, šilumos siurbliai, saulės kolektoriai ir kitų šaltinių elektros energijos ir šilumos šaltiniai gali būti sujungiami bendram veikimui tam tikroje teritorijoje siekiant maksimalaus naudingumo efekto. VPP koncepcija taip pat puikiai panaudojama atsinaujinančius energijos išteklius naudojančioms elektrinėms integracijai į energetikos sistemas, kurios kaip žinoma kuriant nebuvo pritaikomos paskirstytųjų generatorių juo labiau atsinaujinančius išteklius naudojančių elektrinių integracijai. Integracija apsunkinama dėl perdavimo pajėgumų trūkumo. Taip pat dėl nereguliaraus paskirstytojo generatoriaus, naudojančio atsinaujinančius



energijos išteklius, darbo grafiko, pavyzdžiui: vėjo elektrinių generacijos dydis priklauso nuo vėjo stiprumo kuris nekontroliuojamas; saulės elektrinių generacijos dydis priklauso nuo saulėtumo, kas taip pat nekontroliuojama. Tai sukelia rimtų problemų perdavimo tinklų operatoriui ir skirstomųjų tinklų operatoriui. Atsinaujinančius išteklius naudojančių paskirstytųjų generatorių plėtra patraukli namų ūkiams. Potencialas tokių namų ūkiuose įrengiamų paskirstytųjų generatorių milžiniškas, gali siekti dešimtis tūkstančių ar šimtus tūkstančių kilovatų. Tai galėtų sudaryti rimtą konkurenciją elektrinėms.

VPP suteikia galimybę sumažinti bendrą apkrovą elektros tinkle. Daugiau energijos yra generuojamas vartojimo vietoje dėl ko nereikia perduoti energijos dideliais atstumais - aukštos įtampos linijomis. Todėl vienas energijos nuostolių veiksnys yra arba minimalus, arba visai pašalintas. VPP sukelia didžiulius santykių ir klasikinės sampratos pokyčius energetikos srityje. Dalyviai jau nebėra tik pasyvūs vartotojai. Būdami VPP dalimi visi dalyviai gali turėti įtaką energetikos sistemai, tačiau tik iki tam tikro lygio: tai nereikia, kad dalyviai yra atsakingi už įrenginių įjungimą ir išjungimą.

Pažymėtina, kad VPP tai yra kompiuterinė sistema kontroliuojama operatoriaus. Tai galėtų būti realizuota neuroninio tinklo pagrindu. Iš tiesų, VPP netgi galėtų būti sudaromos iš namų ūkiuose įrengtų AEIE. Nepriklausomai nuo to, kiek elektros energijos gamybos pajėgumų yra įdiegta viename pastate, svarbiausias bruožas yra jungiantis visiems šaltiniams - efektyviausias būdas savaiminės pusiausvyros būsenos susidarymui. VPP užtikrintų stabilesnes energetikos sistemų elektrinių kartos veikimo sąlygas. Visi pikiniai elektros energijos poreikiai gali būti lengviau padengiami pasitelkiant VPP.

Šio tyrimo tikslas išanalizuoti VPP atsiradimo Lietuvoje galimybę. Įvertinti ar būtų ekonomiškai naudinga jungtis į VPP asmenims, kurie iki šiol eksploatuoja atsinaujinančius išteklius naudojančius paskirstytuosius generatorius.

## 1. APŽVALGINĖ DALIS

### 1.1. VPP koncepcija.

Pagrindinė VPP koncepcija pagrįsta centralizuoto valdymo struktūra, kuri jungia, kontroliuoja ir vizualizuoja paskirstytuosius generatorius. Skirtingi energijos šaltiniai apjungiami bendram veikimui tam tikroje teritorijoje siekiant maksimalaus naudingumo (techniniu ir ekonominiu aspektais) efekto.

Paskirstytųjų generatorių resursai gali būti grupuojami centralizuojant jų valdymą. Tokiu būdu apjungti mažos galios įrenginiai į grupes tampa dideliais rinkos žaidėjais. Tokiame junginyje gali dalyvauti, bet kokio tipo, galios bei kartos technologijos.

VPP atliekamų mokslinių tyrimų pagrindiniai tyrimo objektai:

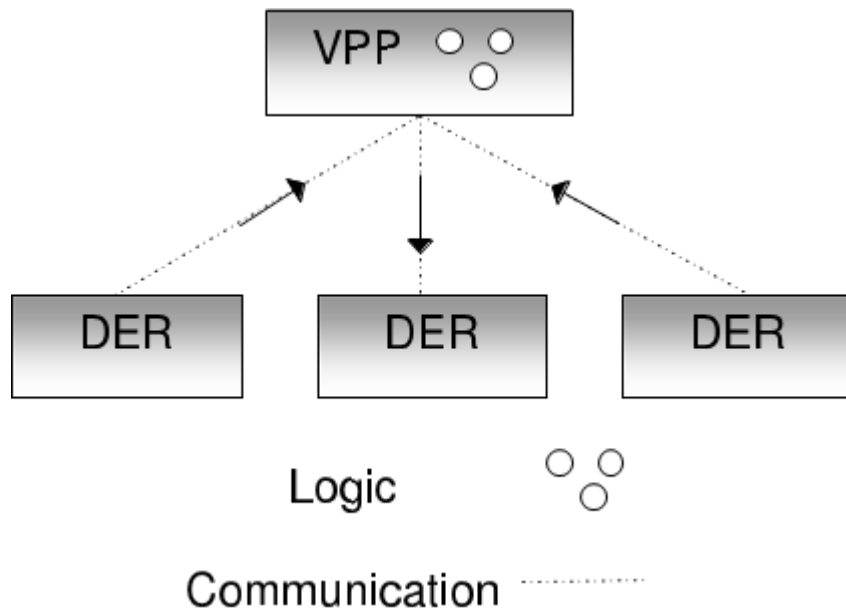
- paskirstytųjų generatorių dalyvavimas elektros rinkoje tyrimas;
- VPP kontrolės ir koordinavimo optimizavimo tyrimas;
- energetinės sistemos ir VPP konstrukcijų sąveikos tyrimas .

### 1.2. VPP konstrukcijos.

Pagal valdymo tipą VPP gali būti suskirstytos į šiuos tipus:

- centralizuotai valdomos virtualios elektrinės;
- decentralizuotai valdomos elektrinės;
- visiškai decentralizuotai valdomos elektrinės.

Centralizuotai valdomos virtualios elektrinės. Šio tipo VPP valdymas sutelktas į vieną, centralizuotą valdymo centrą, kuriame yra kaupiama, priimama ir atiduodama visa informacija reikalinga VPP efektyviam veikimui, elektros rinkoje ir energetikos sistemoje. Šio tipo VPP privalumas yra tai, kad yra tik vienas valdymo centras, minimalūs reikalavimai (ryšio įranga) paskirstyto generatoriaus integravimuisi į VPP. Taip pat paprastas būdas patenkinti rinkos paklausą.



1.2.1. pav. Centralizuotai valdomos VPP schema [1]

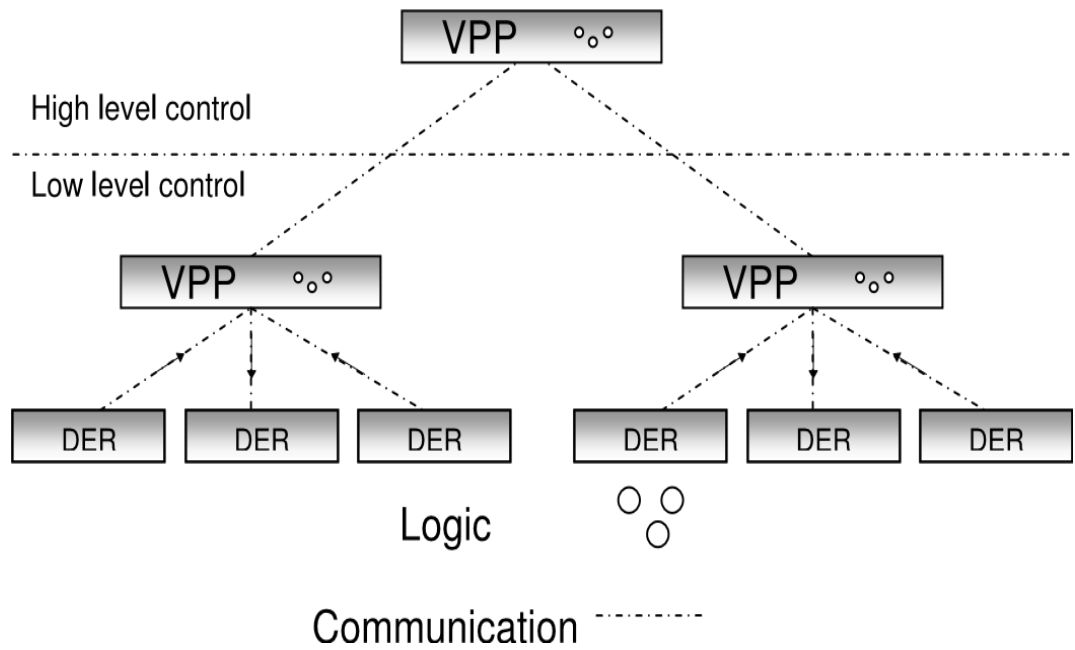
DER – paskirstytasis generatorius;

VPP – virtuali elektrinė;

Logic – VPP valdymas;

Communication – ryšys;

Decentralizuotai valdomos virtualios elektrinės — šio tipo VPP naudoja hierarchinį valdymo modelį, valdymas keliais skirtingais lygmenimis. Žemesniojo hierarchinio valdymo sistemos, centrai priima sprendimus tik iki tam tikro lygmens, deleguojant į aukštesnį valdymo lygmenį tam tikrus sprendimus. Šios tipo VPP gali padėti supaprastinti atsakomybių ir bendravimo tarp skirtingų virtualios elektrinės dalyvių pasidalinimą.



1.2.2. pav. Decentralizuotai valdomos VPP schema [1]

DER – paskirstytasis generatorius;

VPP – virtuali elektrinė;

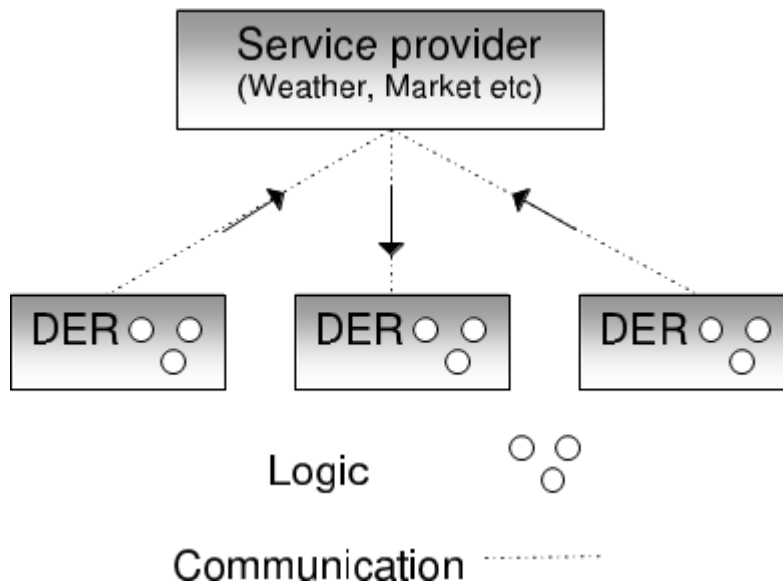
Logic – VPP valdymas;

Communication – ryšys;

High level control – aukštesnio lygmens valdymas;

Low level control – žemesnio lygmens valdymas;

Visiškai decentralizuotai valdomos virtualios elektrinės. Šio tipo VPP kiekvienas paskirstytasis generatorius veikia nepriklausomai nuo kitų, kuris dalyvauja ir reaguoja į elektros sistemos ir rinkos būklę. Šio tipo elektrinės turi daug potencialo, nes yra dinamiškos ir optimizuoja elektros energijos sistemą.



1.2.3. pav. Visiškai decentralizuotai valdomos VPP schema [1]

DER – paskirstytasis generatorius;

Service provider – paslaugos tiekėjas;

Logic – VPP valdymas;

### 1.3. VPP įgyvendinimo uždaviniai.

Siekiant įgyvendinti VPP modelį buvo susidurta su iššūkiais:

- silpna sąveika — gamybos vieneto savininkas turėtų turėti galimybę laisvai pasirinkti, su kuria VPP jis norėtų būti sugrupuotas. VPP grupės nariais nėra statiškai jie gali migruoti iš vienos VPP į kitą VPP.

- bendras priėmimas – bendravimas tarp gamybos vieneto savininko ir VPP operatorių turi būti standartizuotas. Tik vienas standartas galimas, nustatyta viena informacijos mainų apimtis.

Pasiūlyti sprendiniai:

- silpno ryšio sprendimas — visa informacija apie paskirstytuosius generatorius turi būti įtraukta į vieningą duomenų bazę. Ji bus atsakinga už ryšius su VPP veiklos vykdytojais. Kitame žingsnyje, pasirinkus VPP, gamintojas nustato ryšį tarp VPP ir paskirstytojo generatoriaus.

- bendrojo priėmimo sprendimas — visas keitimasis duomenimis turi būti atliekama pagal vieną standartą.

- keičiamos strategijos sprendimas — sistema turi reaguoti greitai ir efektyviai. Turi būti dinamiška, kad prisitaikytų pagal susidariusią situaciją nedelsiant. VPP operatorius turi turėti galimybę, pakeisti strategiją ar logiką, bet kuriuo momentu.

- saugumo sprendimas - turi būti apibrėžti saugos standartai ir specifikacijos žiniatinklio tarnyboms.

#### **1.4. VPP kontrolės metodai.**

##### **1.4.1. Ribinių sąnaudų metodas.**

Tiekti elektros energiją, esant subalansuotai elektros energijos sistemai realiu laiku, yra vienas iš pagrindinių privalumų. Rezervų galia yra sąlygota PTO ir STO. Virtualios elektrinės valdo visus sudedamuosius elektrinės vienetus, ekonomiškai efektyviausiu būdu ir sumažina bendras balansavimo išlaidas. Elektros sąnaudos labai priklauso nuo vietos aplinkybių ir pakinta laikui bėgant. Pavyzdžiui, kombinuotose elektrinėse, kur gaminama šilumos ir elektros energija, priklausomai nuo šilumos poreikio gaminama ir elektra. Kai reikia daugiau šilumos, susidaro ir daugiau elektros energijos, ir atvirkščiai. VPP yra struktūra, kurioje yra daug įvairių tipų paskirstytųjų generatorių. Energijos gamyba yra dinaminis procesas, todėl ribinės energijos sąnaudos taip pat yra kintančios. Paskirstytieji generatoriai turi siųsti informaciją apie sąnaudas į VPP. Ši informacija siunčiama formulių arba paklausos kreivių forma, nustatant VPP poreikį elektros energijai už nustatytą kainą. Neigiamos reikšmės kreivė reiškia, kad paskirstytasis generatorius yra pasiruošęs pateikti papildomos galios už nustatytą kainą. Pasiūlymai generuojami naudojant specialią programinę įrangą, kuri gali sukurti sudėtingus pasiūlymų tvarkaraščius, tam tikru laiko momentu. Šie pasiūlymai yra rengiami remiantis:

esama paskirstytojo generatoriaus būkle;

- ekonominiais parametrais pvz., ribiniais eksploatacijos išlaidos;
- rinkos aplinka įvertinant rinkos mechanizmą;

Identifikuojamos 3 skirtingos strategijos, kurios galėtų būti naudotinos konkurso metodui:

- ribiniais kaštais pagrįsta strategija – ši strategija gali būti naudojama kai VPP sudaro vien tik paskirstytieji generatoriai. Remiamasi kuro kaina, efektyvumo, veikimo istorija kuri priklauso nuo išlaikymo kaštų ir paleidimo sąnaudų.

- strategija paremta kainų istoriją – tai gali būti naudojama, kai VPP yra ir energijos kaupiklių, pvz akumuliatorių. Kaupikliai kontroliuoja kainų lygius – jei energijos kaina yra maža, tada kaupikliai priima energija iš tinklo ir atvirkščiai.

- mišrios strategijos – tai strategija paremta anksčiau dviejų strategijų aprašytais modeliais.

#### **1.4.2. Šilumos ir elektros energijos optimizavimo metodas.**

Šio metodo tikslas nustatyti visų įrenginių veikimo grafikus taip, kad maksimaliai būtų padidinta energetinės sistemos veikimo nauda. Viskas yra pagrįstas elektros kainos pokyčiu per tam tikrą laiką. Paskirstytųjų generatorių veikimo planavimas vykdomas dieną prieš. Šis grafikas turi būti pristatytas elektros rinkos operatoriui. Algoritmais yra prognozuojama elektros energijos kaina. Šilumos rezervuarai suteikia galimybę atskirti elektros energijos gamybą nuo šilumos, kadangi šilumos gamyba nesiejama su elektros gamyba. gali veikti netgi tais atvejais kai nėra šilumos vartojimo paklausos. Pagrindinis poreikis – išlaikyti šilumos tiekimą klientui pakankamo dydžio. Termofikacinės elektrinės taip pat gali veikti taip, kad būtų sukurti perteklinė elektros energija, kuri gali būti parduodama rinkoje. Algoritmas padidina naudą iš perteklinės elektros energijos pardavimo ir valdo šilumos tiekimą. Ribines sąlygas nustato techniniai gamybos blokų apribojimai. Siekiant geriausio optimizacijos rezultata, turi būti pateikiami prognozavimo duomenys. Siūloma, taikyti statistinius metodus su empirinėmis funkcijomis (prognozė su daugybine tiesine regresija). Galima naudoti fizinių modelių pagal funkcijas. Literatūroje pateikiama nuomonė, kad neuroniniai tinklai nėra tinkami daryti prognozes. Taikomas metodas kai prognozei naudojama duomenų bazė apimančia ne mažiau kaip 1 metų duomenis. Naudojami duomenys: oro sąlygos, kalendoriaus duomenys ir komercinė orų prognozė. Šilumos paklausos kreivė gaunama konkrečiame pastate. Rezultatai koreliuoja pakankamai gerai su realaus laiko duomenis.

#### **1.4.3. Gamybos sąnaudų mažinimo metodas.**

Naujų rūšių energijos šaltiniai tokie kaip atsinaujinančius išteklius naudojančios paskirstytieji generatoriais sukelia naujų problemų. Dėl to kad jie jungiami žemos arba vidutinės įtampos tinklų, atitinkamai ir problemos sukeltos žemos arba vidutinės įtampos tinkle.

Problemos pasireiškia:

- pasikeičia energijos srautų kryptys;
- tinklo perkrovos;

Kiekvieną VPP turi būti prijungta tiesiogiai ar netiesiogiai prie centrinio energijos valdymo centro tam, kad būtų užtikrintas svarbių duomenų mainai. Energijos valdymo centras kontroliuoja visą keitimosi procedūra realiu laiku. Keičiamasi informacija apie dabartinę padėtį ir būklę apie kiekvieną rinkos dalyvį. Tinkamas bendravimas turi būti pateikta perduoti duomenis. VPP sistema turėtų būti vietinio pobūdžio, greitai reaguoti su minimaliomis latentinis laikas ir turi galimybę prijungti naujus vienetus. Tinklo struktūra turi būti hierarchinė esant dideliame dalyvių skaičiui. Per daug taškus, jungiantys energijos valdymo centrai vienu metu gali nespėti susidoroti su informacijos kiekiais dėl to

gali sulėtėti VPP reakcijos laikas atitinkamai ir atsirasti problemų energetikos sistemoje. Pagrindinė iš galimų problemų tai energijos srautų pasikeitimai. VPP daugiausia dėmesio turėtų skirti tinklo energijos srautų kontrolei. Taigi, energijos srauto matavimas turi pasikeisti. Dabar matavimų atlikimui apsiribojama tik matavimais maitinimo šaltinių pusėje. Naujoji koncepcija numato, kad matavimai realiu laiku turi vykti visą parą ne tik maitinimo šaltiniuose bet vartojimo pusėje. Matavimo prietaisai turi turėti specialų protokolą, kad būtų galimas duomenų perdavimas.

Energijos valdymo centro tikslas ir funkcija: energijos gamybos sąnaudų, bendrų išlaidų ir perdavimo nuostolių kontrolė.

### **1.5. VPP naudojimo pavyzdžiai.**

Svarbiausi Europos projektai, kurie tam tikru būdu naudoja VPP koncepcijas:

*Fenix Project* – projekto tikslas – atsisakyti tradicinių mažų elektrinių valdymo principų, tai yra instaliuoti ir pamiršti principas turi būti užmirštas. Fenix Project vykdymo apimtyje numatoma, kad visi generacijos šaltiniai nepriklausomai nuo dydžio turi būti integruoti į aktyvią valdymo sistemą, bei tapti aktyviais energetikos sistemos dalyviais. Fenix Project bandymai apima dviejų tipų VPP: komercinės ir techninės.

*Ecogrid Project* — šio projekto esminė idėja - paskirstyta energijos rinka. Galutiniai energijos vartotojai yra rinkos centre. Sistemos operatorius pateikia labiausiai ekonomiškai efektyvų energetikos sistemos valdymo principą. Pavyzdžiui, veikia Bornholmo saloje.

### **1.6. VPP apibendrinimas**

Paskirstytųjų generatorių skaičius ateityje tik didės, nes didėjant aplinkosauginiams reikalavimams intensyviai plėtojami energijos šaltiniai kurie naudoja atsinaujinančius energijos išteklius. Atsinaujinantys energijos ištekliai skatinami vyriausybių, kuriamos įvairios programos kuriomis siekiama skatinti šio tipo elektrinių plėtrą, siekiant mažinti CO<sub>2</sub> dujų išskyrimą. Skatinimo priemonės orientuotos į pačias elektrines, o ne jų suvaldymą.

Šiuo metu pasaulyje energetinių sistemų veikimas pagrįstas didelių elektrinių veikimu, kurios užtikrina sistemos darbą nežiūrint į tai ar sistemoje veikia paskirstytieji generatoriai ar ne. Tačiau ši padėtis keičiasi, nes paskirstytųjų generatorių sistemoje galia didėja, tad dėl to atsirandančias problemas reikalinga spręsti klasikinėmis priemonėmis, t.y. didinant sisteminių elektrinių skaičių ir galią, kad užtikrinti sistemos balansavimą, arba ieškoti inovatyvių sprendinių. Vienas iš tokių sprendinių ir yra virtulių elektrinių diegimas.



Pagrindinis elektros energijos šaltinių bus paverstas decentralizuotų šaltinių. Ši tendencija yra stebima Danijoje, kur mažos šilumos ir elektros energijos elektrinių skaičius gerokai padidėjo pastaraisiais metais. Didžiausias virtualios elektrinės privalumas yra jos modulinė struktūra. Ji gali būti prijungta prie sistemos bet kokia apimtimi ir ją gali sudaryti kintantis paskirstytųjų generatorių skaičius. Priklausomai nuo reikalavimų, gali būti pridėta papildomų modulių siekiant optimizuoti sistemą.

Apžvelgtoje literatūroje virtualios elektrinės aprašomas skirtingai. Kiekvienas požiūris ir koncepcija skiriasi tačiau nesiskiria tikslas – rinkti ir tvarkyti paskirstytųjų generatorių informaciją optimizuojant jų veiklą siekiant kiek galima geriausių rezultatų ekonominiu ir socialiniu aspektais.

## **2. METODINĖ DALIS**

### **2.1. Atsinaujinančius išteklius naudojančių paskirstytųjų generatorių prijungimo reguliavimas Lietuvoje.**

Lietuvos Respublikoje, kaip ir kitose valstybėse, siekiama skatinti atsinaujinančius išteklius naudojančių elektrinių plėtrą. Tuo tikslu leidžiami teisės aktai kurie nustato taisykles ir priemones tokių elektrinių atsiradimui.

Esminis lūžis teisiniame reguliavime įvyko 2011 metų gegužės 12 dieną kai įsigaliojo Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas [5]. Šio įstatymo uždaviniai numatyti iki 2020 metų:

vėjo elektrinių, prijungtų prie elektros tinklų, įrengtąją suminę galią padidinti iki 500 MW, neįskaitant mažųjų elektrinių, kurių įrengtoji galia yra ne didesnė kaip 30 kW;

saulės šviesos energijos elektrinių, prijungtų prie elektros tinklų, įrengtąją suminę galią padidinti iki 10 MW, neįskaitant mažųjų elektrinių, kurių įrengtoji galia ne didesnė kaip 30 kW;

hidroelektrinių, prijungtų prie elektros tinklų, įrengtąją suminę galią padidinti iki 141 MW;

biokuro elektrinių, prijungtų prie elektros tinklų, įrengtąją suminę galią padidinti iki 355 MW.

Įstatyme nustatytos ir priemonės uždavinių siekimui, t.y. nustatytos skatinimo priemonės, bei šių priemonių paskirstymo tvarka. Nustatytos šios skatinimo priemonės: prijungimo paslaugos kainos nuolaida, supirkimo tarifai, atleidžiama nuo viešuosius interesu atitinkančių paslaugų apmokestinimo, atleidžiama nuo balansavimo mokesčių. Šios skatinamosios priemonės skirstomos organizuojant aukcionus. Pažymėtina, kad saulės šviesos elektrinių kurių įrengtoji generuoti galia ne didesnė kaip 30 kW, skatinimo priemonės nebuvo skirstomos per aukcionus. Tokių elektrinių prijungimui buvo nustatytas elektros energijos supirkimo tarifas. Vertindami įstatymo uždavinius,

skatinimo priemonės ir tvarką, kaip jos paskirstomos matome, kad viena iš pagrindinių priemonių pasiekti įstatymo tikslą, t.y. 2020 metais ne mažiau kaip 23 % sudarytų elektros energija pagaminta iš atsinaujinančių energijos išteklių, yra mažos galios saulės elektrinių įrengimas.

Kiti poįstatyminiai teisės aktai kurie detaliau nustatė procedūras:

- Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo energijai gaminti skatinimo tvarkos aprašas;
- Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo elektros energijai gaminti skatinimo kvotos ir aukcionų regionai;
- Elektros energijos, pagamintos iš atsinaujinančių energijos išteklių, kilmės garantijų išdavimo, perdavimo ir jų galiojimo panaikinimo ir kitose valstybėse narėse išduotų kilmės garantijų pripažinimo taisyklės.

## 2.2. Elektrinės Lietuvoje.

2017 m. sausio 1 d. Lietuvos elektros sistemoje elektrinių bendra įrengtoji galia sudarė 3589 megavatus (MW) [6].

2.2.1. lentelė: Įrengtoji galia pagal kuro tipą ir prijungimo tašką.

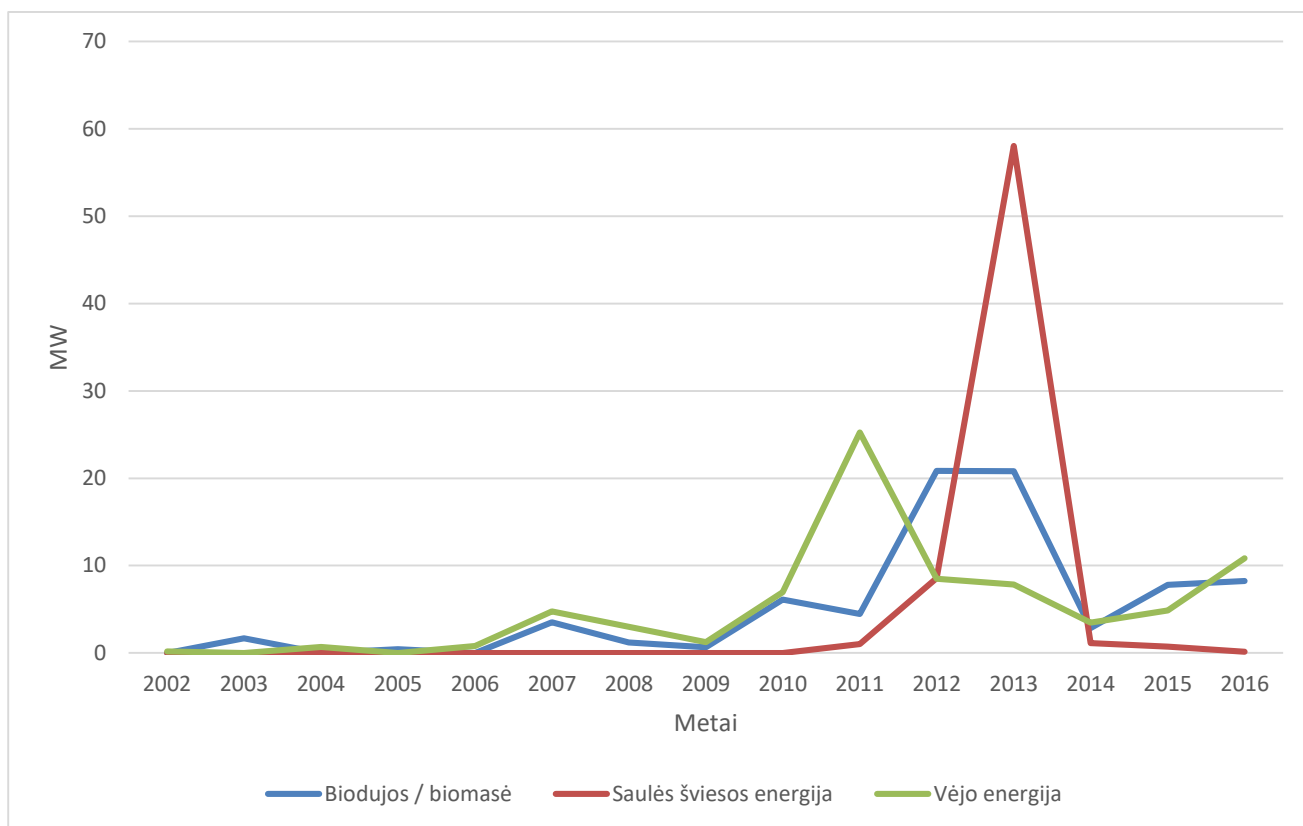
Tipas	STO (MW)	PTO (MW)	Viso (MW)
Šiluminės elektrinės	0	1850	1850
Hidroelektrinės	27	1001*	1028
Vėjo elektrinės	84	425	509
Biokuro elektrinės	122	0	122
Saulės elektrinės	80	0	80
VISO	313	3276	3589

\*- įvertinta 900 MW Kruonio HAE

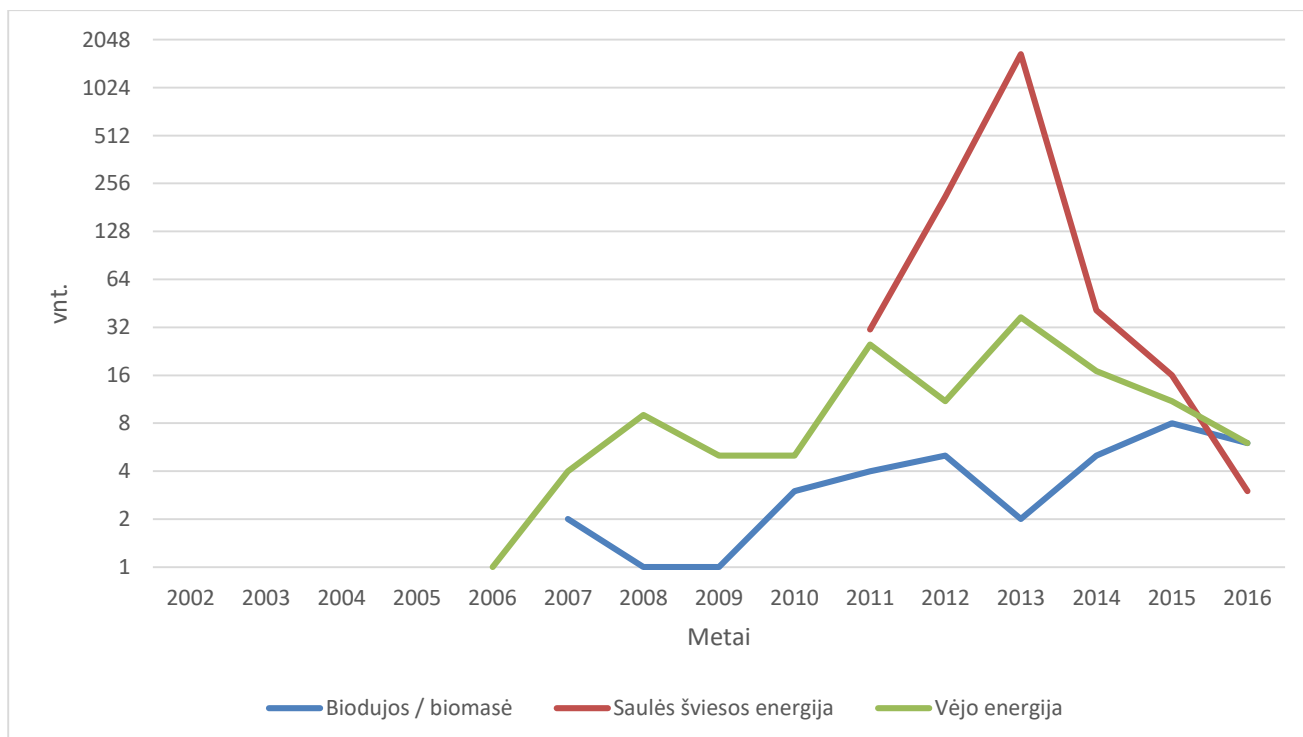
Lietuvoje instaliuota paskirstytųjų generatorių t.y. elektrinių prijungtų prie STO elektros tinklo bendra galia sudaro 313 MW t.y. 9 % nuo visos instaliuotos galios.

Atlikus elektrinių naudojančių atsinaujinančius energijos išteklius prijungimo analizę Lietuvoje per tam tikrą laikotarpį, galima teigti, kad, esminis paskirstytųjų generatorių proveržis sietinas su šio tiriamojo darbo 2.1. pastraipoje aprašyto įstatymo [5] įsigaliojimu.

2.2.2. grafikas: Įrengtoji galia (MW) pagal kuro tipą.



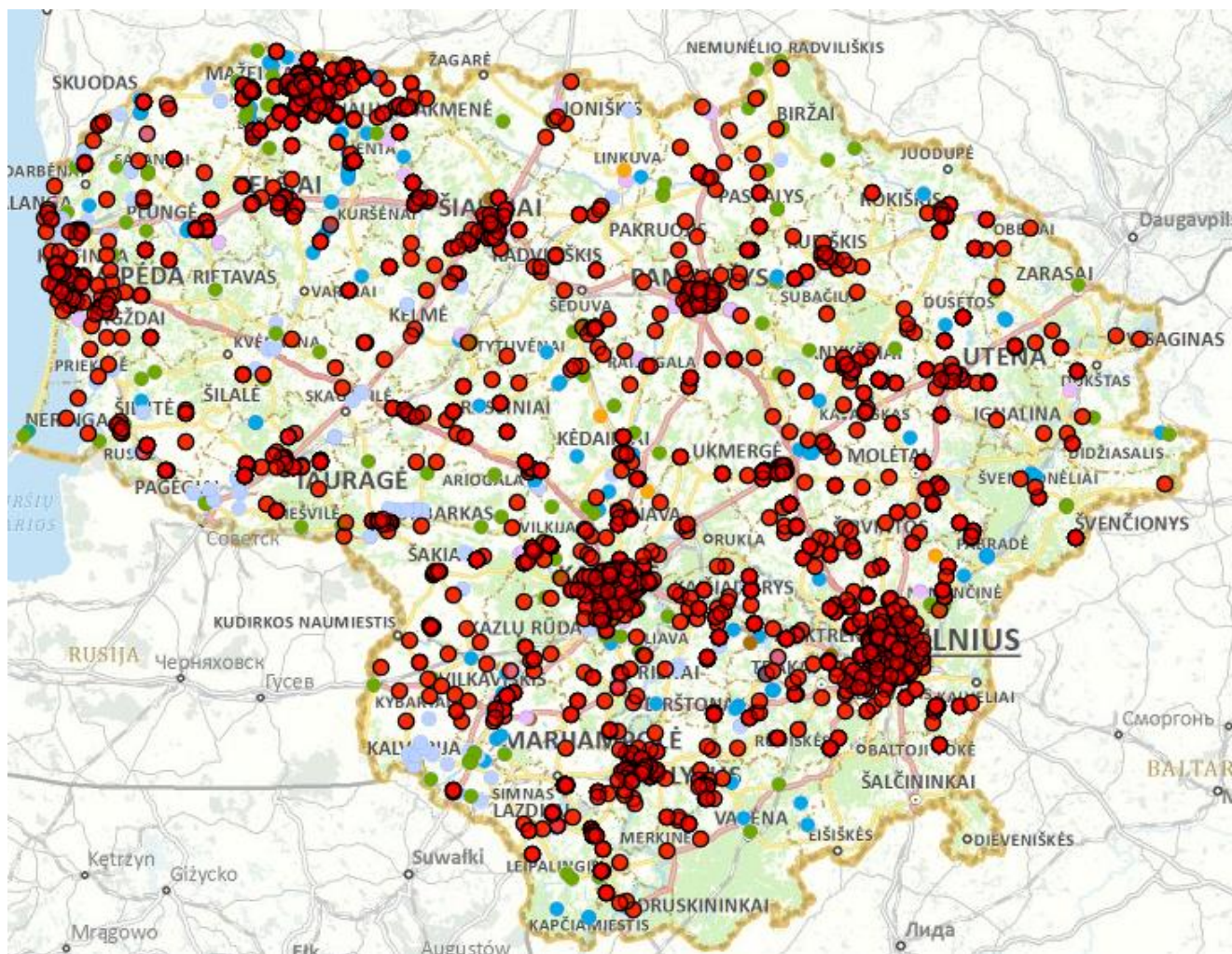
2.2.3. grafikas: Elektrinių kiekis (vnt.) pagal kuro tipą.



Pastaba: naudota logaritminė skalė.

Paskirstytųjų generatorių prijungimo pikas 2013 metai: prijungtos 1657 saulės šviesos energiją naudojančios elektrinės kurių bendra galia 58 MW, ir 37 vėjo energiją naudojančios elektrinės kurių bendra galia 8 MW. Pažymėtina, kad didžiausia prie skirstomojo tinklo vėjo elektrinių galia 25 MW buvo prijungta 2011 metais, prijungtos 25 elektrinės.

Prie STO tinklų yra prijungtos 99 hidroelektrinės, paskirstytieji generatoriai, kurių bendra galia sudaro 27 MW. Didžioji dalis jų įrengta ir pradėta eksploatuoti iki 1990 metų. Įstatymo skatinimo priemonės neįtakojė hidroelektrinių plėtros proveržio.



2.2.4. Pav. Saulės elektrinių paplitimas Lietuvoje. Šaltinis [www.avei.lt](http://www.avei.lt) [7].

2.2.4. paveiksle pateikiamas saulės elektrinių paplitimas Lietuvoje. Kaip matome, elektrinės išsidėsčiusios per visą respubliką, koncentracija didesnė ties miestais t.y. kur yra ir atitinkamai daugiau elektros energijos vartotojų.



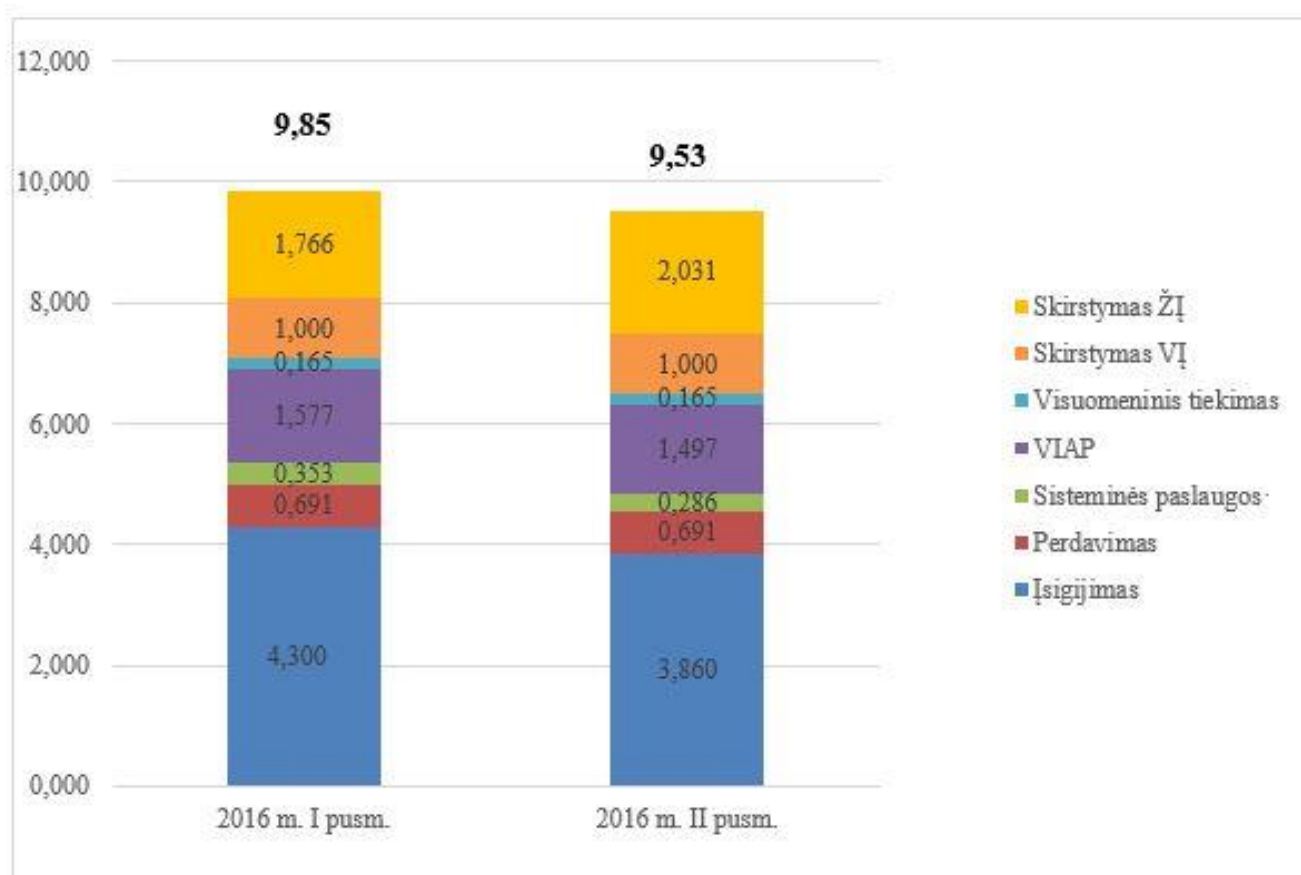
2.2.5. Pav. Hidro elektrinių paplitimas Lietuvoje. Šaltinis [www.avei.lt](http://www.avei.lt) [7].

### 2.3. Elektros energijos kainos sudėtis.

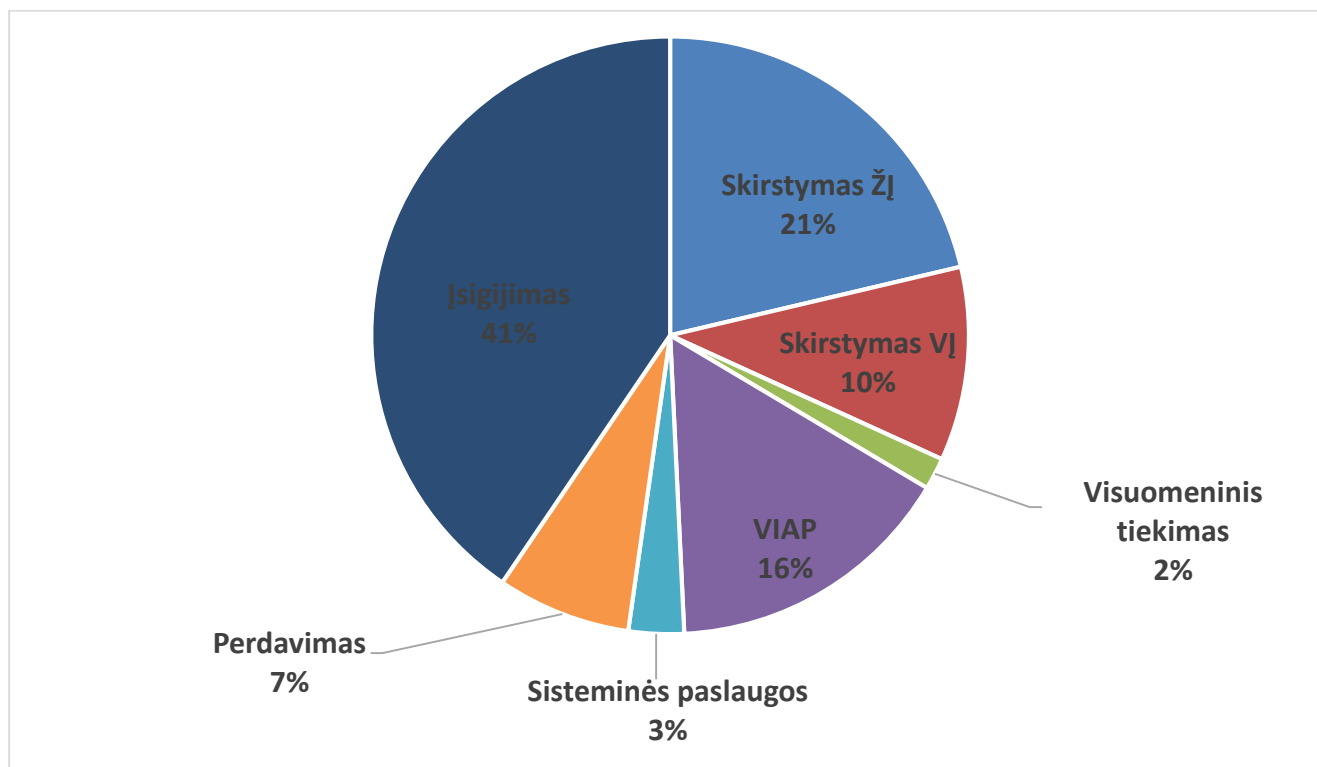
Lietuvos Respublikoje galutinę elektros energijos kainą vartotojams nustato Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija.

Galutinę elektros energijos kainą sudaryta iš šių dedamųjų:

- skirstymo žemosios įtampos tinklais dedamosios;
- skirstymo vidutinės įtampos tinklais dedamosios;
- perdavimo aukštos įtampos tinklais dedamosios;
- visuomeninio tiekimo dedamosios;
- sisteminių paslaugų dedamosios;
- viešuosius interesus atitinkančių paslaugų dedamosios;
- įsigijimo (gamybos) dedamosios.



2.3.1. Pav. Vidutinės elektros energijos kainos 2016 m. I pusm. ir 2016 m. II pusm., ct/kWh (be PVM). Šaltinis [www.regula.lt](http://www.regula.lt) [8].



2.3.2. Pav. Vidutinės elektros energijos kainos 2016 m. II pusmečio sudėtis procentais.

Didžiausią galutinės elektros energijos kainos dalį t.y. 41% sudaro elektros energijos įsigijimas - gamyba. Elektros energijos skirstymas, STO paslaugos 31%. Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų dalis (VIAP) 16%. Elektros energijos perdavimas, PTO paslaugos 7%. Pažymėtina, kad Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija nustatydamą galutinę elektros energijos kainą vartotojams vertindama PTO STO ir kitų dalyvių ekonominius rodiklius nustato skirstymo, pardavimo, visuomeninio tiekimo ir sisteminių paslaugų dedamųjų kainas. Elektros energijos įsigijimo kaina formuojasi atsižvelgiant į elektros biržos rodiklius t.y. daugiau kaip 40 % galutinės elektros kainos.

#### **2.4. Elektros energijos rinka.**

Elektros rinka – tai įvairių ūkio subjektų santykių, kurie formuojasi prekiaujant elektros energija, visuma. Ši rinka yra ypatinga tuo, kad elektros energija negali būti sandėliuojama, ji turi būti suvartojama tuo pačiu metu, kaip ir gaminama, o elektros perdavimas turi būti vykdomas kontroliuojant jos parametrus [6].

Prekyba elektros energija galima dviem būdais: pirma, prekyba elektros biržoje; antra, prekyba tiesiogiai.

Nuo 2012 metų birželio 18 dienos didmeninė elektros energijos prekybą Lietuvos elektros biržoje administruoja Šiaurės ir Baltijos šalių elektros biržų operatorė NORD POOL SPOT [6]. Šioje biržoje vyksta didmeninė elektros energijos prekyba. Mažiausias galimas pasiūlyti kiekis 0,1 MW. Taip pat dalyviai už dalyvavimą šioje biržoje turi sumokėti dalyvių mokesčius bei kitus papildomus mokesčius kurie sudaro daugiau kaip 20 tūkstančių eurų., [9] dėl ko paskirstytųjų generatorių savininkai iš esmės negali dalyvauti biržoje dėl mažų instaliuotų galių ir mažų pagaminamų elektros energijos kiekių – ekonomiškai nenaudinga. Biržoje prekyboje dalyvauja didelių elektrinių operatoriai ir nepriklausomi elektros tiekėjai.

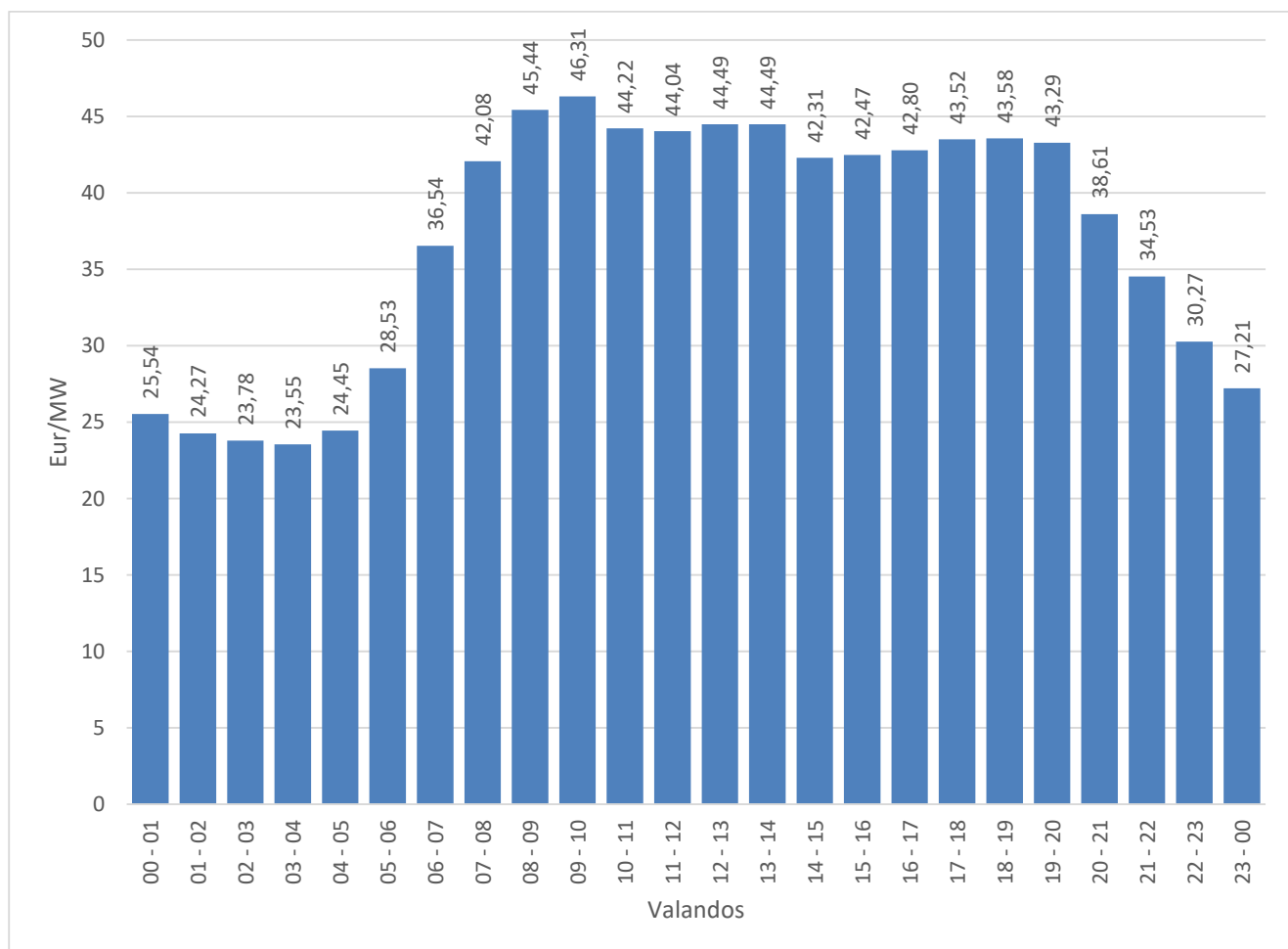
Prekyba tiesiogiai – sudaromi dvišaliai tiesioginiai sandoriai tarp elektros energijos gamintojų ir nepriklausomų elektros energijos tiekėjų. Nepriklausomi tiekėjai gali pirkti elektros energiją iš visų elektros energijos gamintojų, tame tarpe ir iš mažos galios elektrinių – paskirstytųjų generatorių. Tačiau elektros energijos pirkimas iš pavienių paskirstytųjų generatorių yra nepatogus, perkami labai maži kiekiai, o administracinė našta tokia pati kaip ir perkant iš didelių gamintojų. Taip pat paskirstytųjų generatorių savininkams neparanku tiekti elektros energiją nepriklausomiems tiekėjams, nes reikalinga užsiimti energijos gamybos prognozavimu, taip pat yra ir nemaža administracinė našta, reikalinga kurti įmonę, vesti apskaitą ir .t.t. Dėl išvardintų priežasčių tai lieka tik teorinė galimybė.

Mažmeninėje prekyboje dalyvauja nepriklausomi elektros tiekėjai ir elektros vartotojai, kurie su tiekėjais yra sudarę dvišales elektros prekybos sutartis.

## 2.5. Elektros energijos kaina.

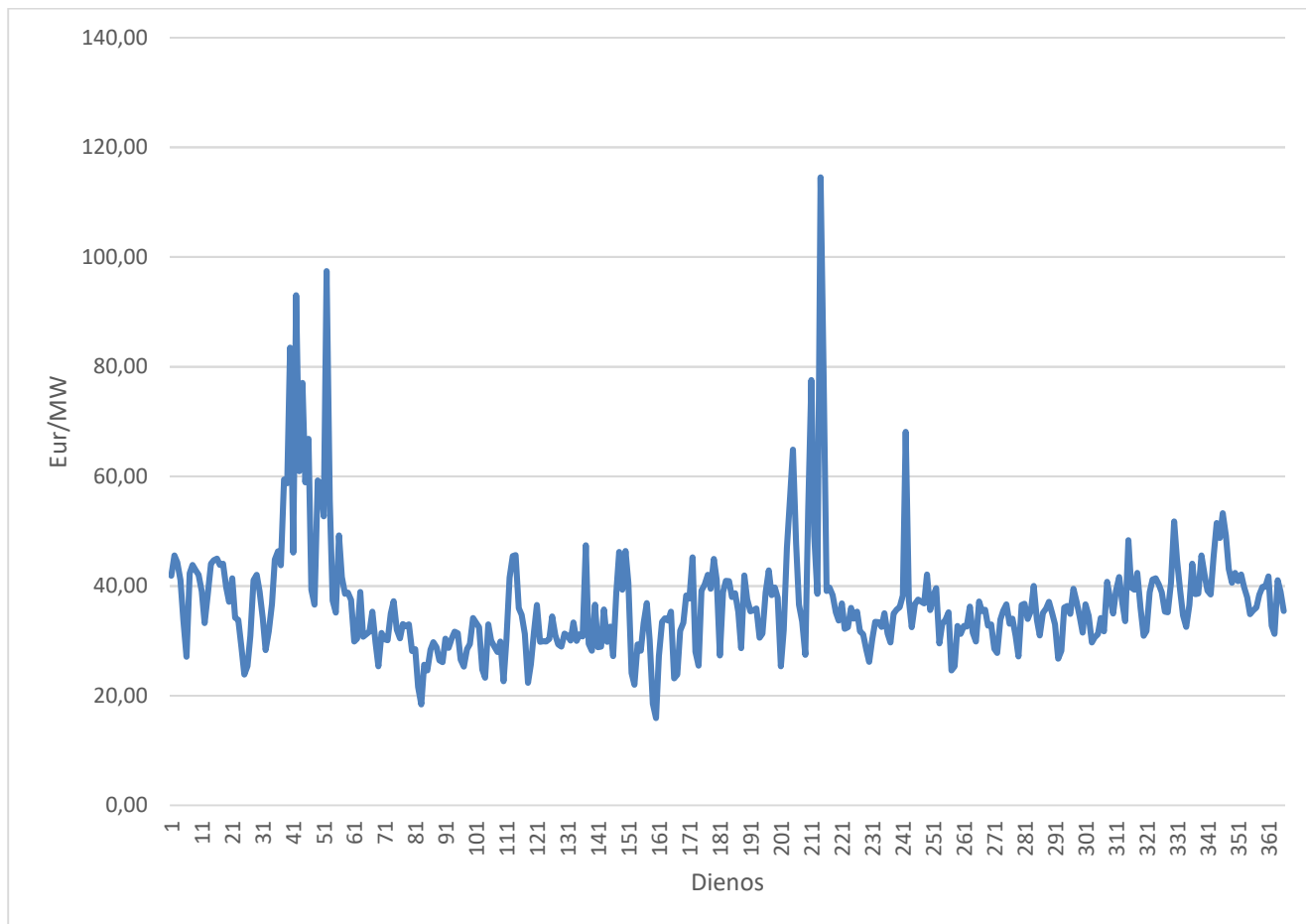
Kadangi elektros energija yra specifinė prekė, turi būti suvartojama tuo pačiu metu kaip ir pagaminama, o elektros energijos vartojimas ir gamyba kinta tai turi įtakos ir kainai. Be minėto veiksnio elektros energijos kainai turi įtakos taip pat oro sąlygos, CO2 taršos leidimų kainos, kuro kainos pasaulinėje rinkoje, ekonominės parietės, vandens lygio hidroelektrinėse ir kita. Veikiant visiems veiksniams NORD POOL SPOOT biržoje kur prekiaujama didmenine elektros energija formuojasi elektros energijos kaina. Pažymėtina, kad prekyba vykdoma valandos intervalu – kiekvieną valandą kaina taip pat būna skirtinga [9].

2.4.1. grafikas: Vidutinės elektros energijos kainos (Eur./MW) kitimas per parą (2016 metų duomenys).





2.4.2. grafikas: Vidutinės elektros energijos kainos (Eur./MW) kitimas per metus (2016 metų duomenys).

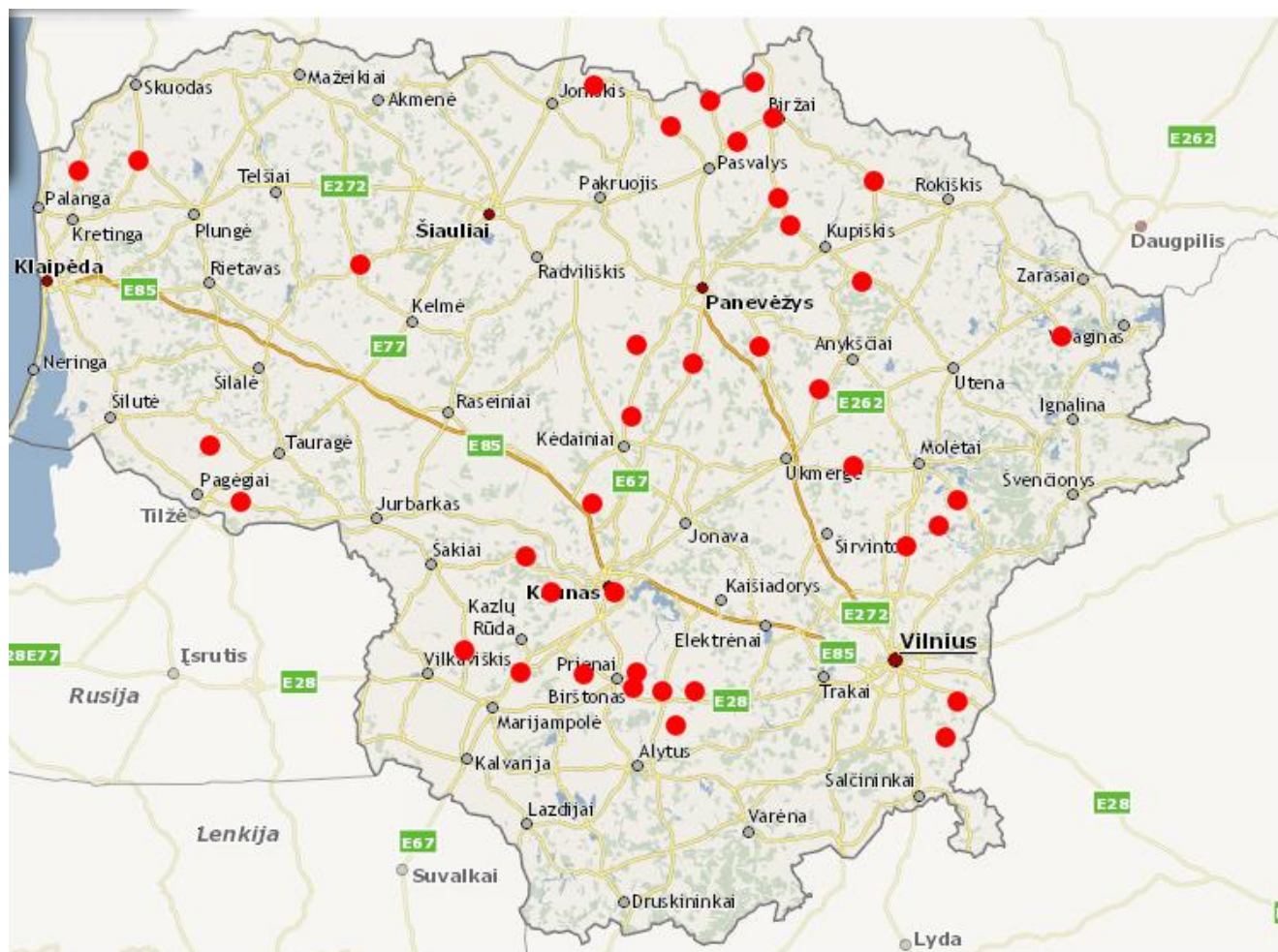


Kaip matome iš grafikų kainos kitimas yra ženklus. Kai kuriais atvejais kaina paroje skiriasi keletą kartų. Didžiausias kainos kitimas per 2016 metus užfiksuotas 2016 metų sausio 11 dieną kai skirtumas buvo tarp mažiausios ir didžiausios buvo 10 kartų t.y. 200,05 ir 19,36 Eur./MW. 2016 metų sausio 7 dieną nuo 12 iki 14 val. užfiksuota didžiausia 2016 metais elektros kaina – 200,07 Eur./MW. Žemiausia 2016 metų rugpjūčio 5 dieną nuo 5 iki 6 val. – 6,01 Eur/MW.

### 3. TYRIMO DALIS.

#### 3.1. Tyrimo apimtis.

Virtualios elektrinės modelio sudarymui atsitiktine tvarka pasirinktos 36 saulės. Modeliuojamos VPP suminė įrengtoji generuoti galia 1076 kW. Tyrimui naudoti elektrinių 2016 metų valandiniai duomenys.



3.1.1. Pav. VPP modelio elektrinių išsidėstymo geografija.

Modelio sudarymui pasirinkome, kiek galima labiau išsidėsčiusias elektrines per visą Lietuvos Respubliką, kad atliekant tyrimą būtų galima įvertinti teigiamus ir neigiamus aspektus kai elektrinė yra koncentruota vienoje vietoje ir VPP atveju išsidėsčiusi per kiek galimą didesnę plotą.

3.1.2 lentelėje pateikiami pasirinktų elektrinių sudarančių modeliuojamą VPP duomenys.

3.1.2. lentelė: Elektrinių sudarančių modeliujama VPP informacija.

Eilės Nr.	Savivaldybė	Įrengtoji generuoti galia (kW)
1	Kauno	30,0
2	Šakių	30,0
3	Zarasų	30,0
4	Alytaus	29,8
5	Pasvalio	30,0
6	Prienų	29,6
7	Radviliškio	30,0
8	Vilniaus raj.	30,0
9	Šalčininkų	30,0
10	Joniškio	30,0
11	Vilkaviškio	29,6
12	Kėdainių	29,8
13	Kauno	30,0
14	Panevėžio	30,0
15	Panevėžio	30,0
16	Panevėžio	30,0
17	Panevėžio	30,0
18	Kretingos	30,0
19	Kretingos	30,0
20	Kupiškis	30,0
21	Rokiškis	29,4
22	Kupiškio	30,0
23	Kuršėnų	29,8
24	Kelmė	29,8
25	Kelmė	30,0
26	Kazlų rūdos	30,0
27	Molėtų	30,0
28	Ukmergės	30,0
29	Vilniaus raj.	30,0
30	Molėtų	29,9
31	Tauragės	30,0
32	Pagėgių	30,0
33	Biržų	29,0
34	Biržų	30,0
35	Pasvalio	30,0
36	Pasvalio	29,6

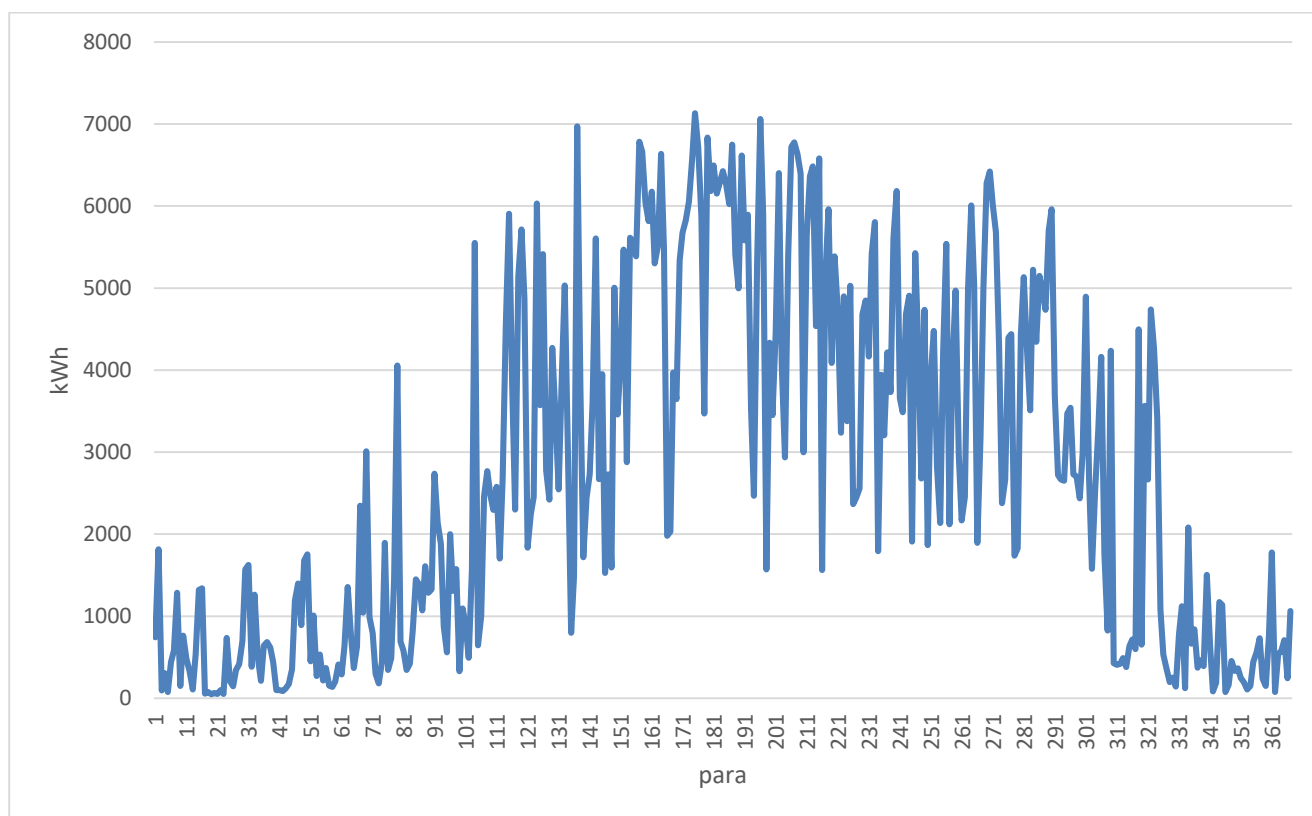
### 3.2. Metinių duomenų analizė.

Siekiant įvertinti VPP specifiką analizuojame ir palyginame VPP metinius gamybos duomenis su įprastinėmis elektrinėmis t.y. įrengtomis vienoje teritorijoje. Palyginimui pasirinkome 3 panašios galios elektrines [7]:

- Kretingos rajone įrengtą 1000 kW saulės elektrinę;
- Trakų rajone įrengtą 1000 kW saulės elektrinę;
- Kauno rajone, Vandžiogaloje įrengtą 995 kW saulės elektrinę.

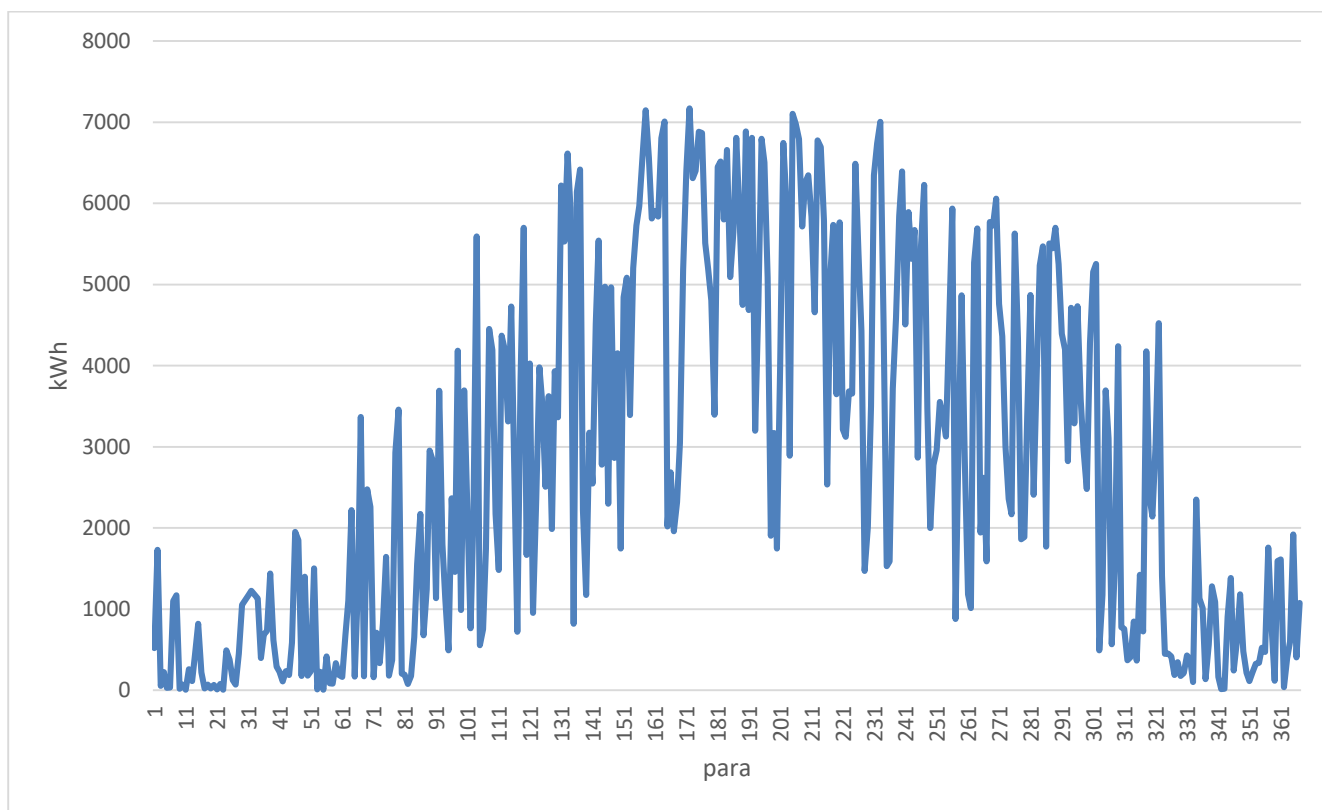
Iš turimų 2016 metų duomenų sudarome elektrinių metinius pagaminto elektros energijos kiekio grafikus. Susumavus visų 36 elektrinių, apjungtų į VPP, duomenis sudarome metinį elektros energijos gamybos grafiką 3.2.1.

3.2.1. grafikas: Modeliuojamos VPP metinis pagaminto elektros energijos kiekio grafikas (kWh./para).

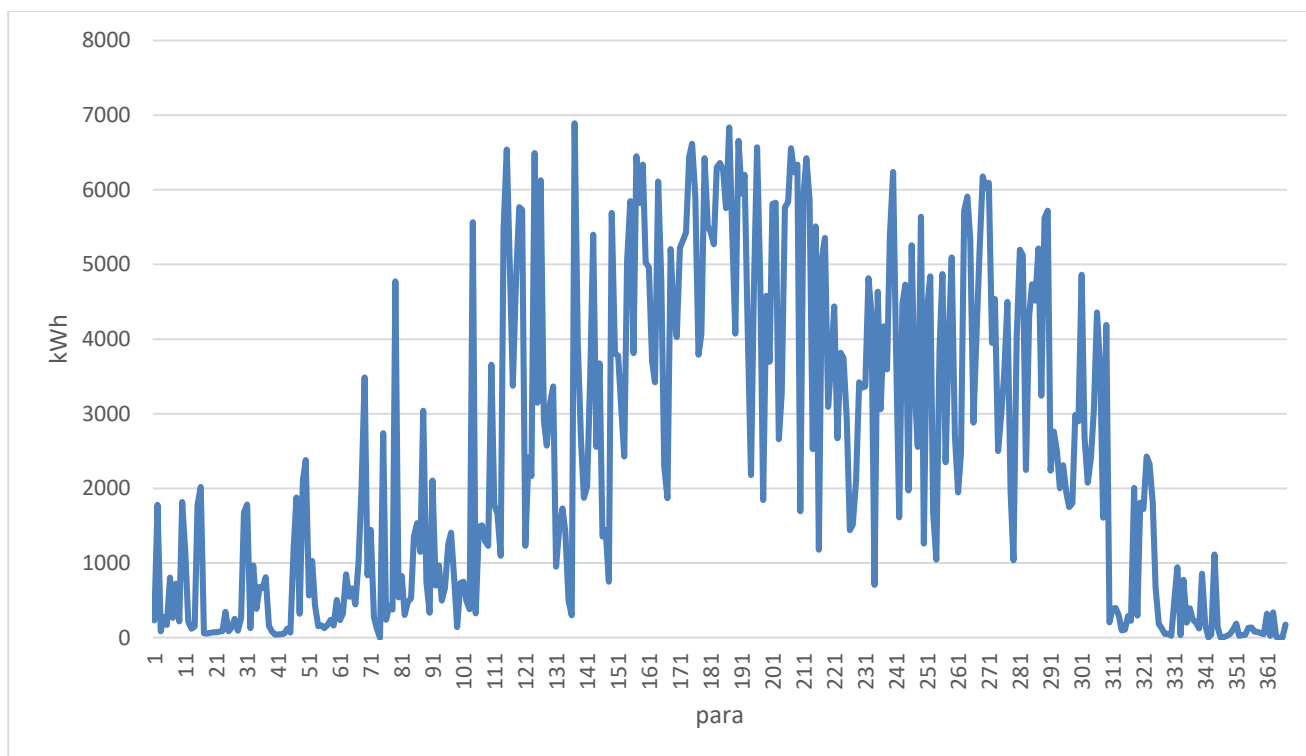


Sudarome palyginamųjų elektrinių metinius grafikus 3.2.2 – 3.2.4.

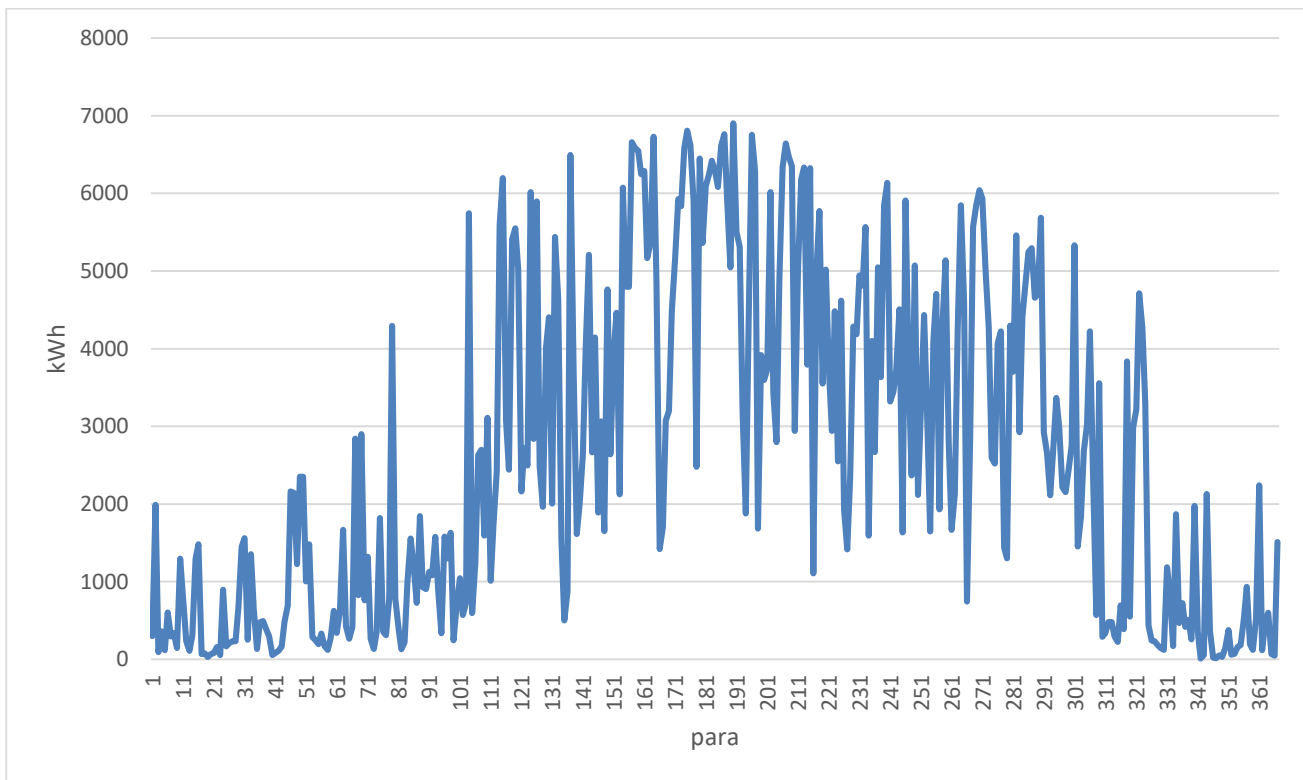
3.2.2. grafikas: Kretingos rajone įrengtos 1000 kW galios metinis pagaminto elektros energijos kiekio grafikas (kWh./para).



3.2.3. grafikas: Trakų rajone įrengtos 1000 kW galios metinis pagaminto elektros energijos kiekio grafikas (kWh./para).

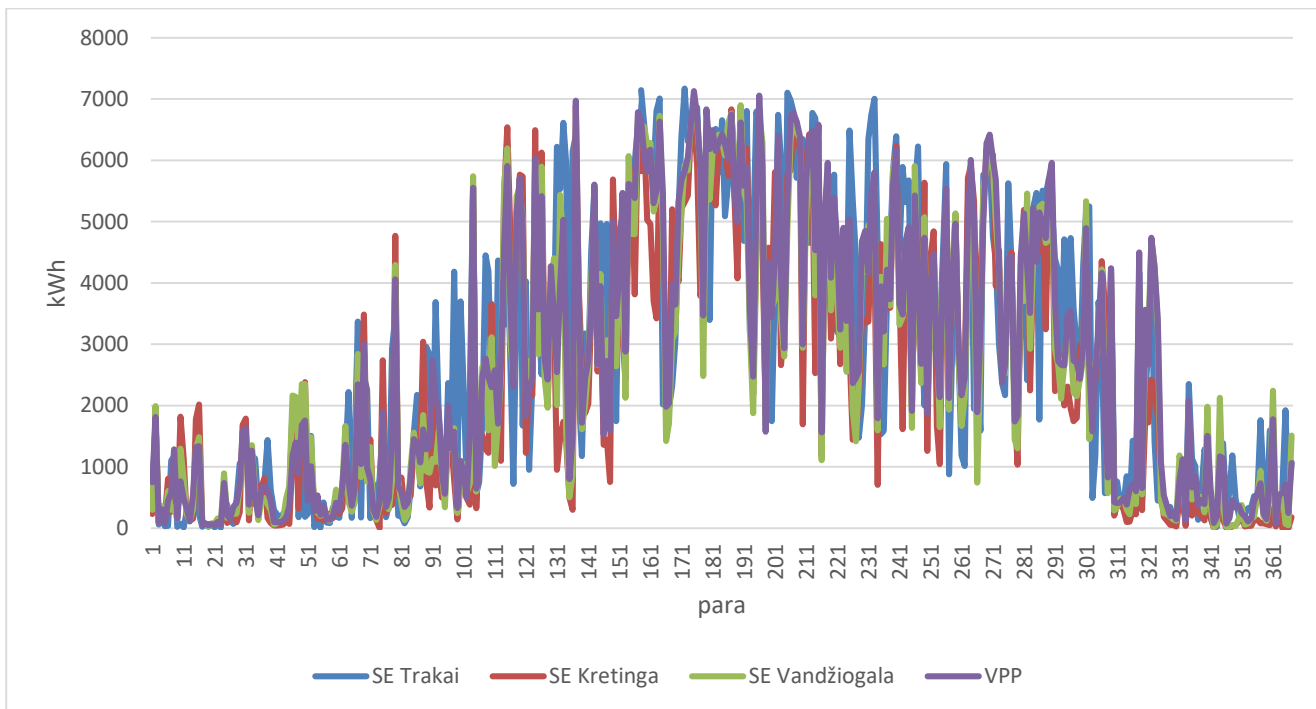


3.2.4. grafikas: Vandžiogaloje įrengtos 995 kW galios metinis pagaminto elektros energijos kiekio grafikas (kWh./para).



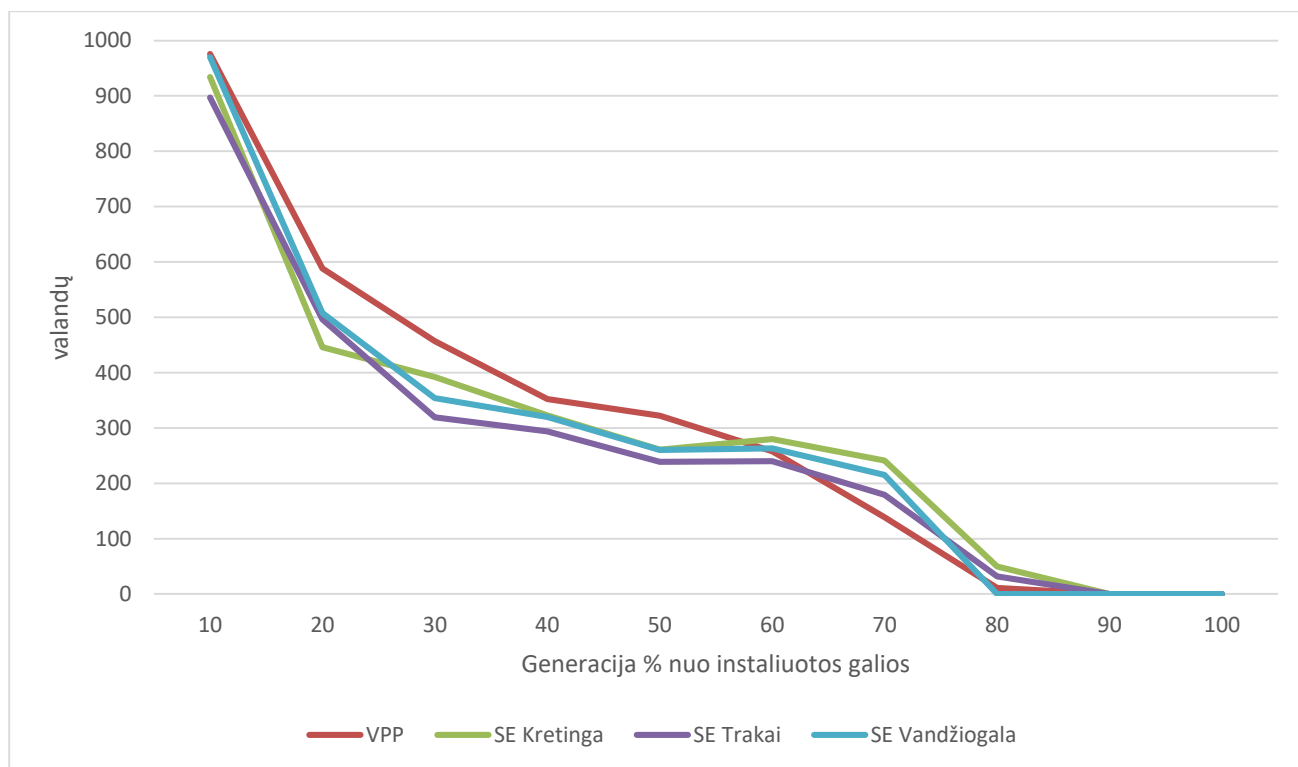
Palyginame modeliuojamos VPP ir panašios galios saulės elektrinių metinius duomenis.

3.2.5. grafikas: Modeliuojamos VPP ir panašios galios elektrinių metinių grafikų palyginimas (kWh./para).



Sulyginus metinius elektrinių grafikus darytina išvada, kad grafikai iš esmės nesiskiria. Pastebima, kad VPP grafikas lyginant su kitų elektrinių neišsėina už maksimalių ir minimalių kitų elektrinių grafikų. Grafiko pikai yra mažesni, o minimumai didesni. Pastebėto skirtumo įvertinimui apskaičiuojame ir sudarome elektrinės generacijos grafiką - kiek valandų ir kokia galia per metus elektrinės veikė. Tiksliesniam palyginimui elektrinės generacijos dydį skaičiuojame procentais. Iš skaičiavimo rezultatų sudarome grafiką 3.2.6.

3.2.6. grafikas: Modeliuojamos VPP ir palyginamųjų elektrinių duomenys pagal generacijos dydį % / valandas.



Sudarius grafiką pastebėta, kad VPP per metus daugiau dirba valandų lyginant su kitomis elektrinėmis esant 20-50 % generacijos ribose. Fiksuotas 18% didesnis valandų skaičius. Tačiau VPP 60-80 % generacijos ribose dirbo 23% valandų mažiau.

Įvertinimui kokią įtaką turi šis metinių grafikų skirtumas, palyginame pagamintos elektros energijos kiekius. Kadangi elektrinės nėra visiškai vienodų galių, palyginimą atliekame apskaičiuodami kiek pagaminama iš instaliuoto 1 kW per metus. Taip pat duomenų įvertinimui MATLAB apskaičiuojame standartinę nuokrypį ir dispersiją. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.2.7 lentelėje.

3.2.7. lentelė: Elektrinių metinių duomenų palyginimas.

Elektrinė	VPP	SE Kretinga	SE Trakai	SE Vandžiogala
Įrengtoji galia (kW)	1076	1000	1000	995
Metinis pagamintos elektros energijos kiekis (kWh)	1.004.853	1.025.666	898.577	954.996
Pagaminta iš 1 kw (kWh)	934	1026	899	960
Skirtumas VPP / palyginamoji elektrinė (%)	0	+10	-4	+3
Standartinis nuokrypis	2158	2244	2135	2139
Dispersija	4657688	5034522	4559336	4576467

Atlikus pagamintų elektros energijos kiekių palyginimą, matome, kad skirtumai tarp kai kurių elektrinių yra pakankamai dideli. Tarp mažiausiai ir daugiausiai pagaminusių elektrinių yra 14 % skirtumas. Galimų veiksmų įvertinimui atliekame visu 36 VPP elektrinę sudarančių elektrinių skaičiavimus įvertinančius kiek pagaminama elektros energijos per metus iš instaliuoto 1 kW. Atklytų skaičiavimų rezultatai pateikiami 3.2.8 lentelėje.



3.2.8. lentelė: Elektrinių sudarančių VPP metiniai gamybos duomenys.

Eil. Nr.	Savivaldybė	Įrengtoji generuoti galia (kW)	Metinis pagamintos elektros energijos kiekis (kWh)	Pagaminta 1 kW (kWh)
1	Kauno	30,0	25611	854
2	Šakių	30,0	27864	929
3	Zarasų	30,0	38074	1269
4	Alytaus	29,8	27166	913
5	Pasvalio	30,0	29335	978
6	Prienuų	29,6	30725	1039
7	Radviliškio	30,0	25309	844
8	Vilniaus raj.	30,0	27481	916
9	Šalčininkų	30,0	27826	928
10	Joniškio	30,0	22715	757
11	Vilkaviškio	29,6	28705	970
12	Kėdainių	29,8	27865	936
13	Kauno	30,0	30437	1015
14	Panevėžio	30,0	27167	906
15	Panevėžio	30,0	28792	960
16	Panevėžio	30,0	30413	1014
17	Panevėžio	30,0	28504	950
18	Kretingos	30,0	28476	949
19	Kretingos	30,0	26865	895
20	Kupiškis	30,0	27873	929
21	Rokiškis	29,4	24054	818
22	Kupiškio	30,0	27073	902
23	Kuršėnų	29,8	29103	978
24	Kelmė	29,8	27428	922
25	Kelmė	30,0	27428	914
26	Kazlų rūdos	30,0	26717	891
27	Molėtų	30,0	28552	952
28	Ukmergės	30,0	26510	884
29	Vilniaus raj.	30,0	27197	907
30	Molėtų	29,9	28742	962
31	Tauragės	30,0	31971	1066
32	Pagėgių	30,0	27474	916
33	Biržų	29,0	28537	984
34	Biržų	30,0	29197	973
35	Pasvalio	30,0	25353	845
36	Pasvalio	29,6	22313	754
VISO	VPP	1076,1	1004853	934

Daugiausiai pagamino elektrinė Nr.3 įrengta Zarasų sav. Iš 1 kW per metus pagamino 1269 kWh. Mažiausiai elektrinė Nr. 36 įrengta Pasvalio sav. Iš 1 kW per metus pagamino 754 kWh. Modeliuojama VPP per metus iš 1 kW pagamintų 934 kWh. Elektrinių sudarančių VPP gamybos ribos sudaro nuo +26% iki -24% procentų ribose nuo vidutinės vertės. Darytina išvada, kad pagaminamam elektros energijos kiekiui esminės įtakos turi elektrinės įrengimo vieta ir toje vietovėje buvusios gamtinės sąlygos - debesuotumas. Taip pat skirtumams turėtų įtakos saulės elektrinių pozicija pasaulio šalių atžvilgiu, naudojamų modulių techninių charakteristikų. Šio tyrimo apimtyje šie veiksniai eliminuoti darant prielaidą, kad elektrinės įrengtos vienodomis sąlygomis.

### 3.3. Paros duomenų analizė.

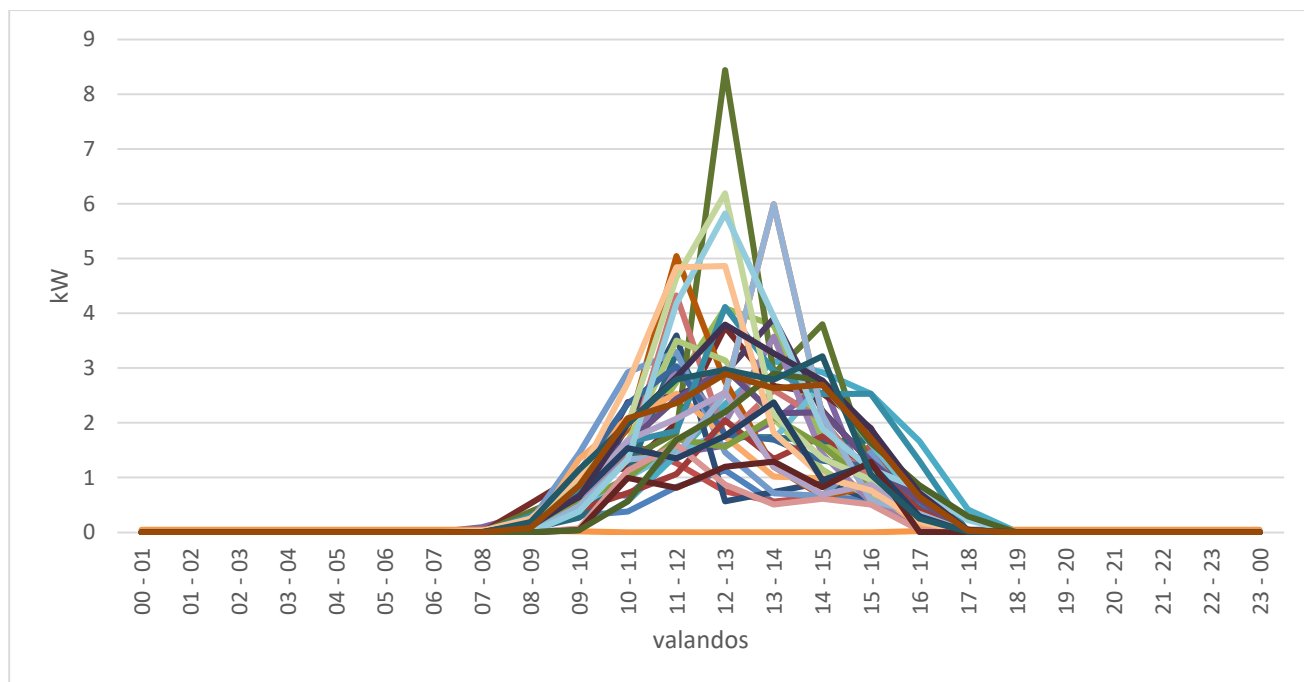
Atitinkamai atliekame VVP ir įprastinių elektrinių elektros energijos gamybos paros grafikų analizę.

Atsitiktine tvarka pasirinkome analizuoti 4 parų duomenis skirtingais metų sezonais:

- Žiemos sezonas – vasario 15 diena;
- Pavasario sezonas – balandžio 15 diena;
- Vasaros sezonas – liepos 15 diena;
- Rudens sezonas – rugsėjo 15 diena.

Sudarom VPP elektrinę sudarančių visų 36 elektrinių vasario 15 dienos paros grafikus.

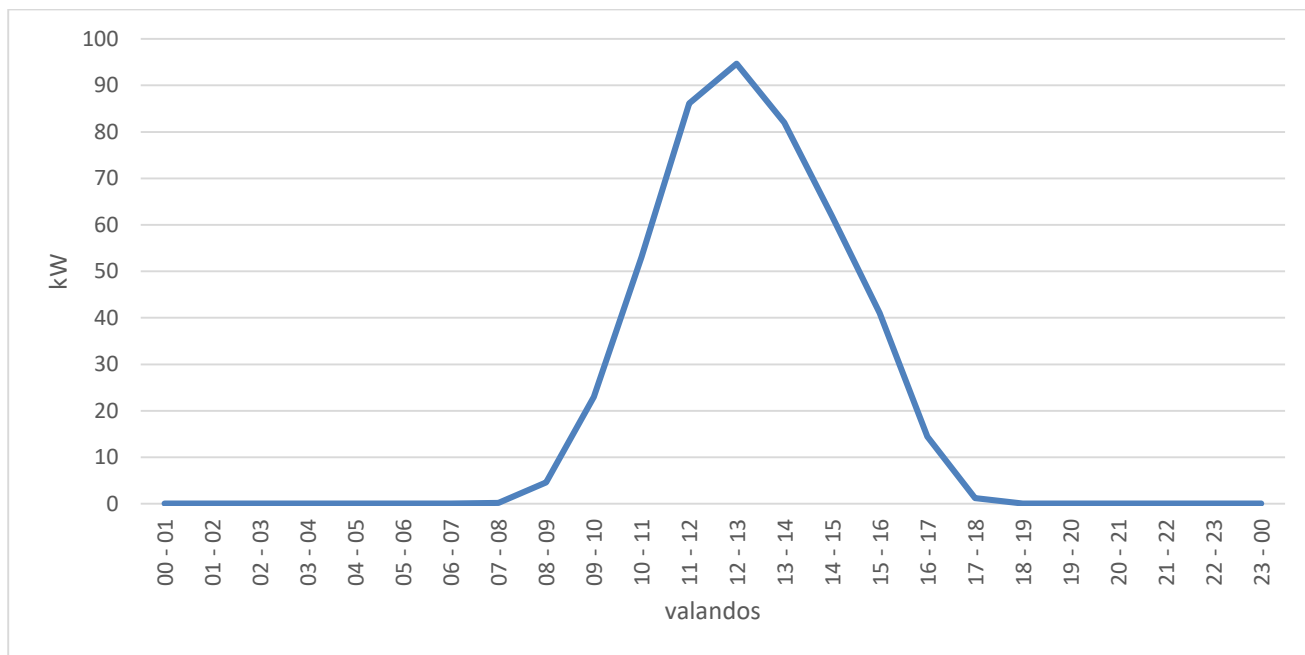
#### 3.3.1. grafikas: Pavienių elektrinių sudarančių VPP vasario 15 d. generacijos grafikas.



Tokios pačios galios elektrinių, sudarančių VPP, tos pačios paros grafikai visiškai skirtingi. Grafikų skirtumai susidaro dėl to, kad elektrinės įrengto skirtingose vietose su skirtingomis aplinkos sąlygos.

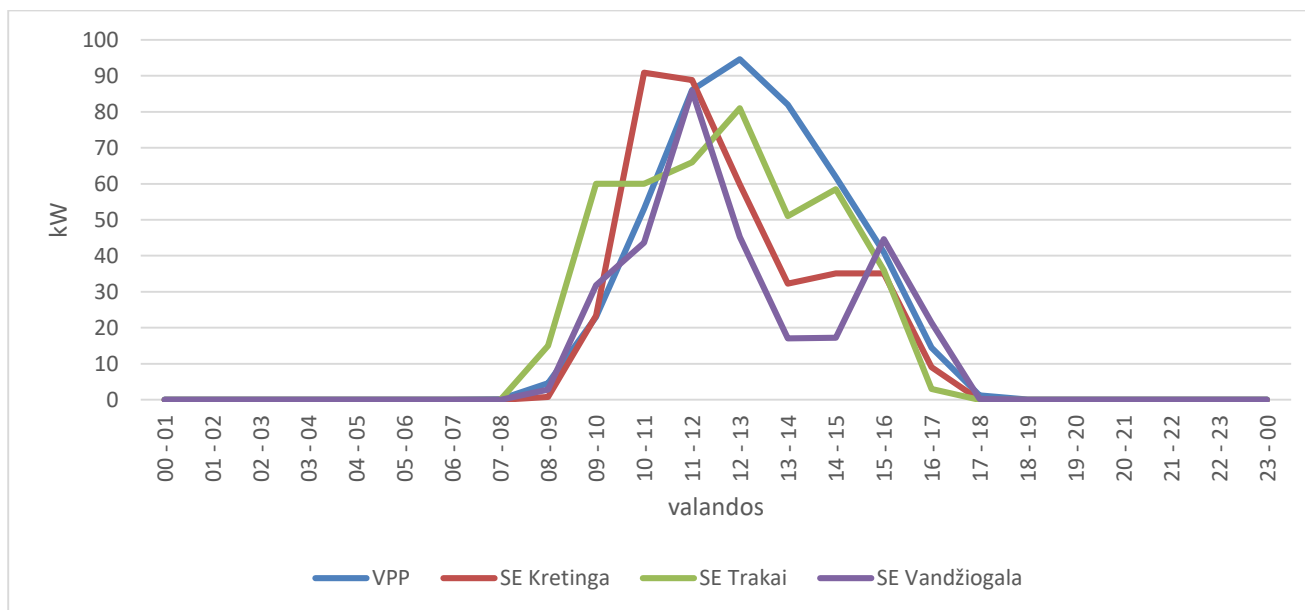
Modeliuojame VPP vasario 15 dienos grafiką.

3.3.2. grafikas: VPP vasario 15 d. generacijos grafikas.



Susumavus visų VPP sudarančių elektrinių paros grafikus į vieną, gauname aiškų tolygiai didėjantį iki piko ir tolygiai mažėjantį nuo piko grafiką. Atliekame grafikų palyginimą su pasirinktomis palyginimui panašios galios įprastinėmis elektrinėmis.

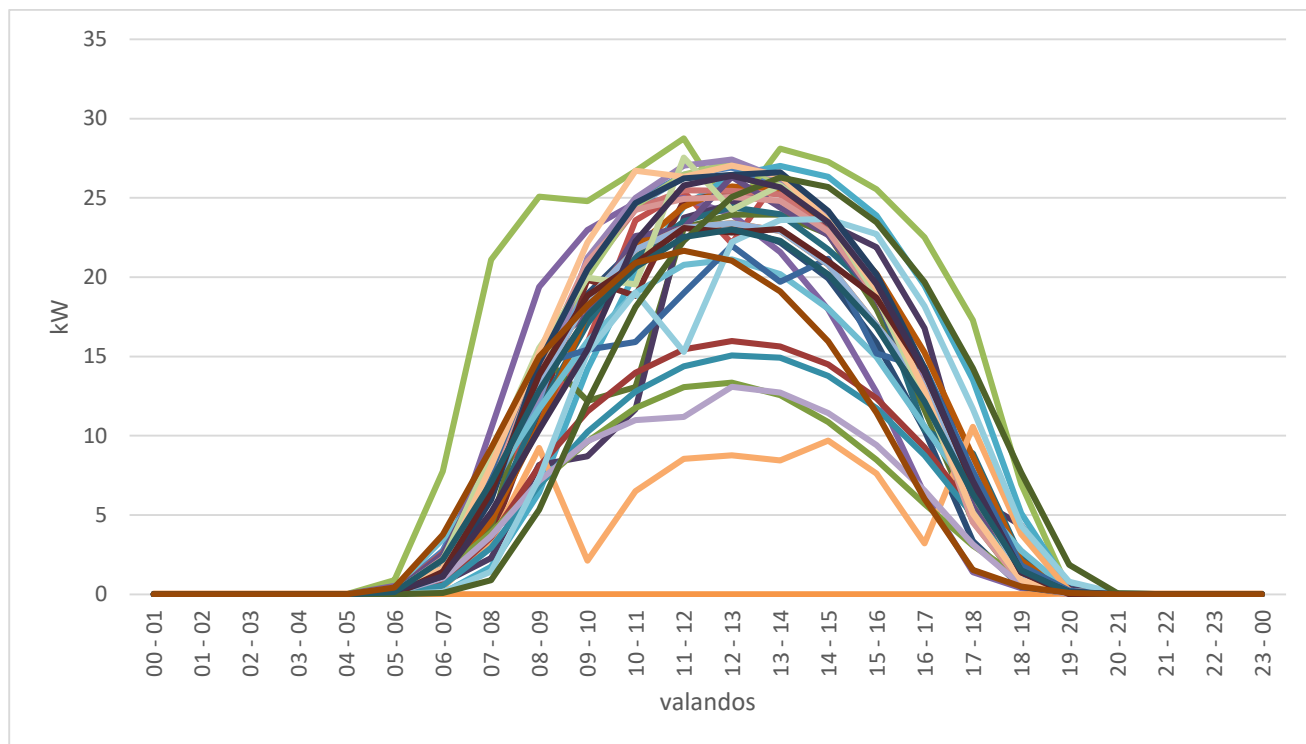
3.3.3. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių vasario 15 d. generacijos grafikai.



Sulyginus grafikus matome, kad panašios galios įprastinių elektrinių paros grafikai tą pačią dieną skiriasi. Skirtingu laiku fiksuoti gamybos pikai. Taip pat akivaizdu, kad visos turėjo generacijos nuosmukį ties 13-14 val. Pažymėtina, kad VPP neturėjo gamybos nuosmukio ties 13-14 val, kas buvo užfiksuota įprastinėse elektrinėse.

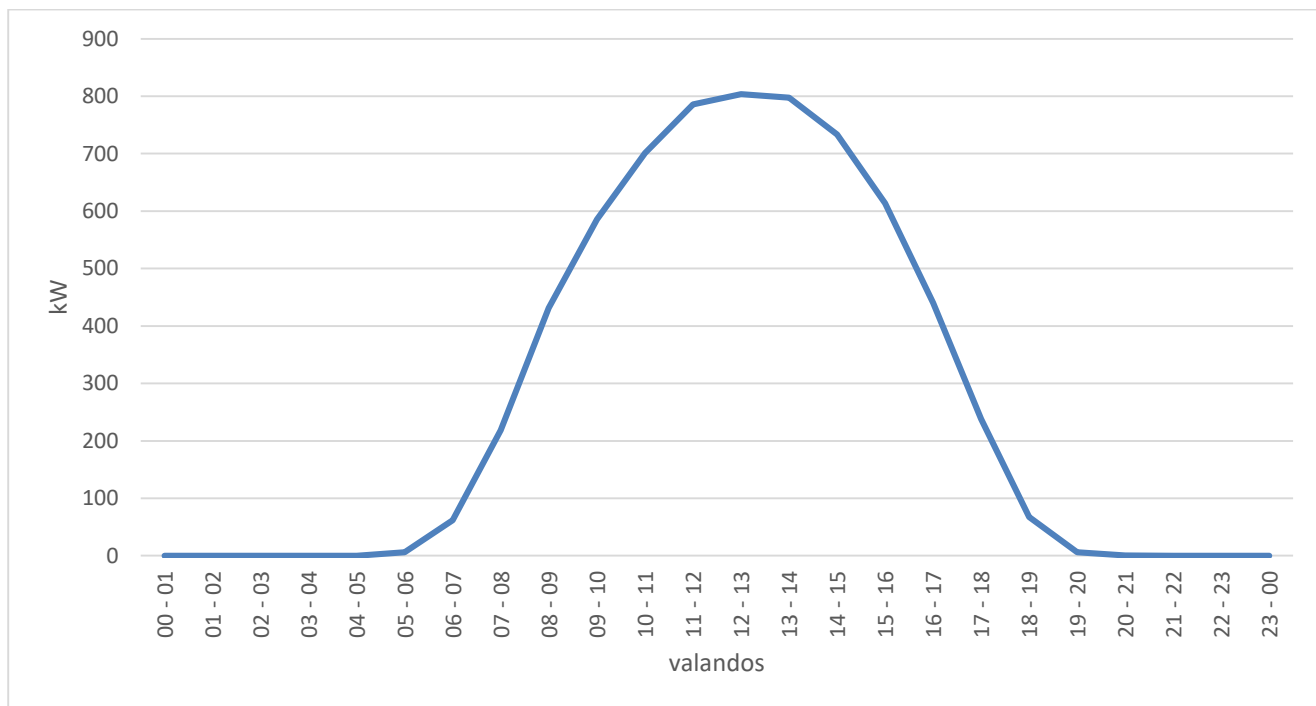
Analogiškai kaip ir vasario 15 dienai sudarom VPP elektrine sudarančių visų 36 elektrinių balandžio 15 dienos paros grafikus.

### 3.3.4. grafikas: Pavienių elektrinių sudarančių VPP balandžio 15 d. generacijos grafikas.



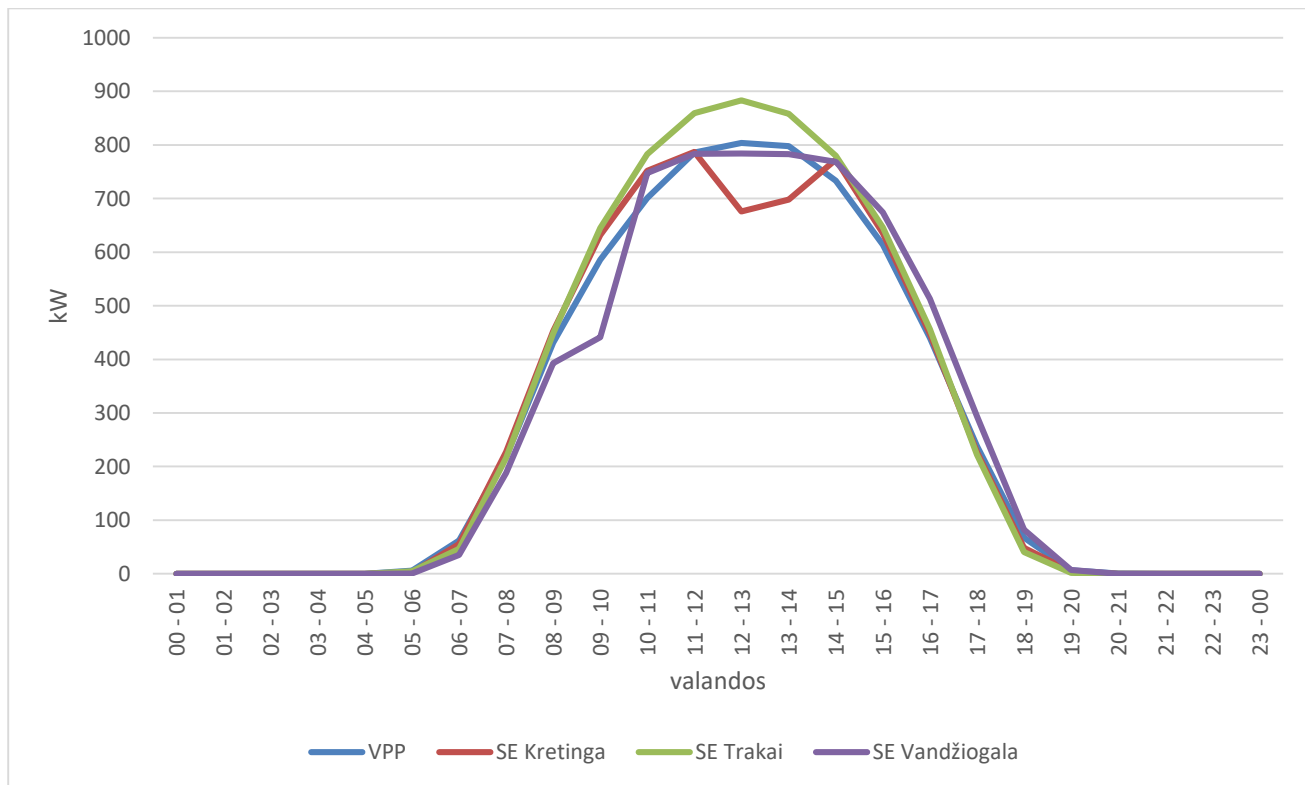
Matome, kad tokio pačios galios elektrinių sudarančių VPP tos pačios paros grafikai skirtingi, tačiau galima išvelgti kelių pavienių elektrinių grafikus kurie yra tolygiai didėjantys ir mažėjantys, be didesniu nuokrypių nuo parabolės. Sudarome VPP paros grafiką

### 3.3.5. grafikas: VPP balandžio 15 d. generacijos grafikas.



Susumavus visų VPP sudarančių elektrinių balandžio 15 d. paros grafikus į vieną, gauname aiškų tolygiai didėjantį iki piko ir tolygiai mažėjantį grafiką taip pat kaip ir vasario 15 dienos. Atliekame palyginimą su pasirinktomis panašios galios įprastinėmis elektrinėmis.

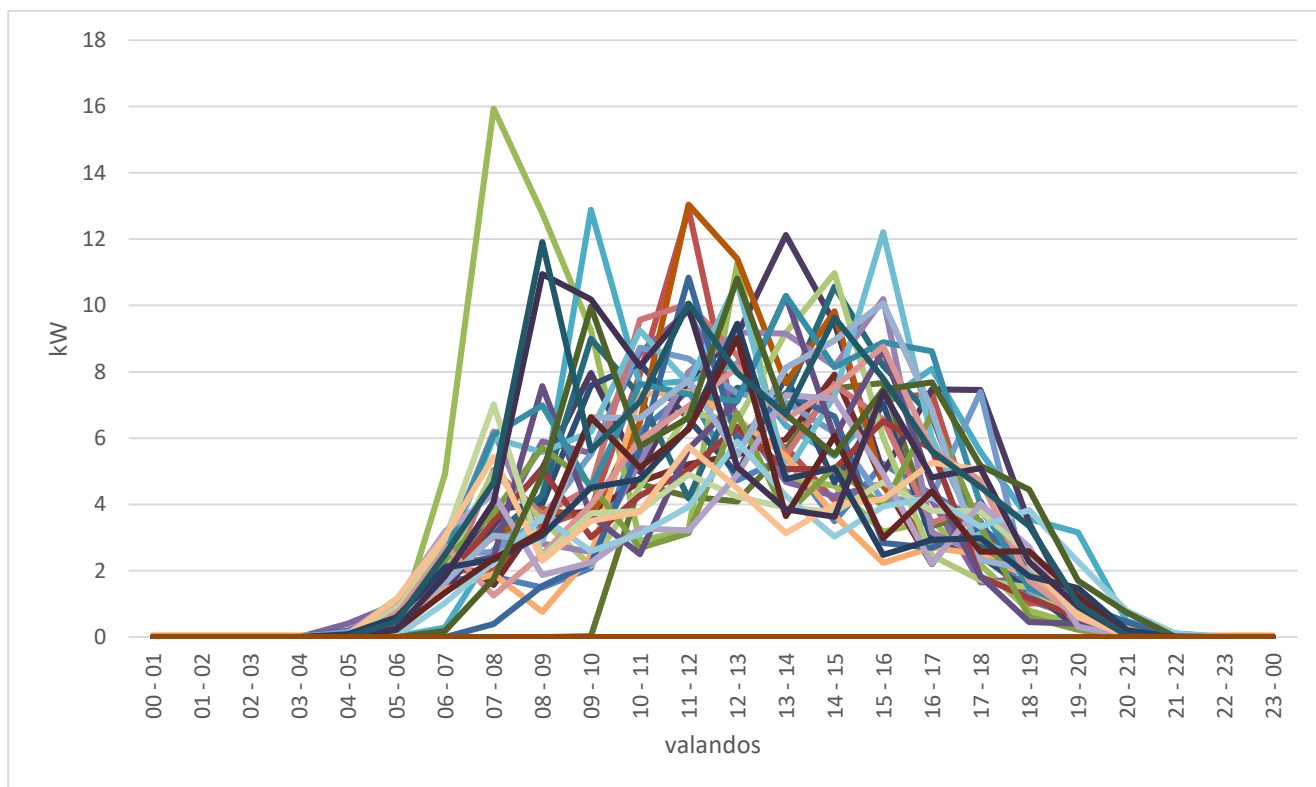
### 3.3.6. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių balandžio 15 d. generacijos grafikai.



Sulyginus grafikus matome, kad panašios galios įprastinių elektrinių grafikai tą pačią dieną turėjo skirtumų. Gamybos pikai fiksuoti panašiu laiku. Neužfiksuoti generacijos nuosmukiai. Tik saulės elektrinės įrengtos Kretingoje matome paros grafike matome gamybos nuosmukį nuo 12 iki 13 valandos kai kitos elektrinės tame tarpe ir VPP tuo laikotarpiu turėjo paros gamybos pikus.

Sudarom VPP elektrine sudarančių visų 36 elektrinių liepos 15 dienos paros grafikus.

3.3.7. grafikas: Pavienių elektrinių sudarančių VPP liepos 15 d. generacijos grafikas.



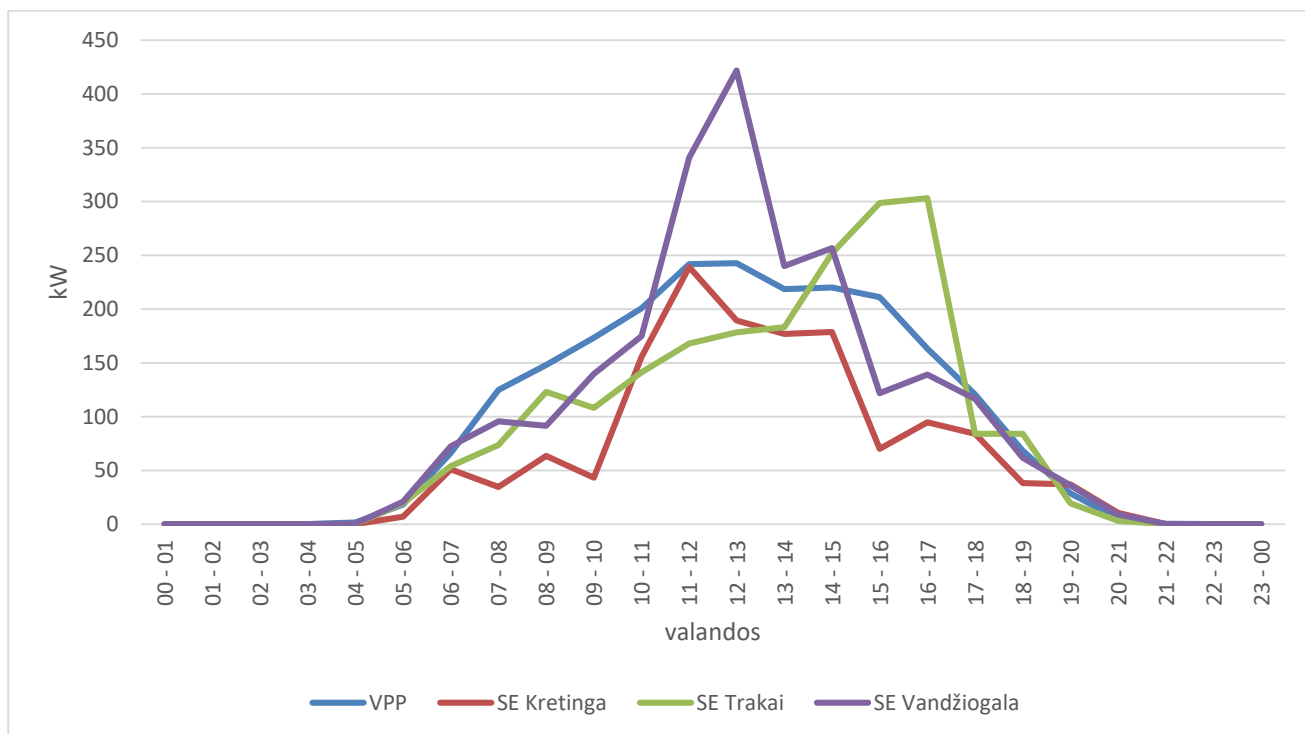
Liepos 15 dienos pavienių elektrinių grafikai visiškai chaotiški, neprognozuojami. Grafikai pjūkliniai. Iš šių pavienių grafikų sudarome VPP paros grafiką.

### 3.3.8. grafikas: VPP liepos 15 d. generacijos grafikas.



Susumavus visų VPP sudarančių elektrinių liepos 15 d. paros grafikus į vieną, gauname bendrą grafiką kuris yra pakankamai artimos geometrijos į idealų saulės elektrinės grafiką. Grafikas turi aiškų piką tarp 12-13 valandų. Tačiau matomas ir nežymus nuosmukis grafike tarp 13-14 val. Pavienių elektrinių grafikai buvo visiškai chaotiški, susumavus gaunamas aiškus grafikas. Atliekame palyginimą ir su panašios galios įprastinėmis elektrinėmis kurias esame pasirinkę.

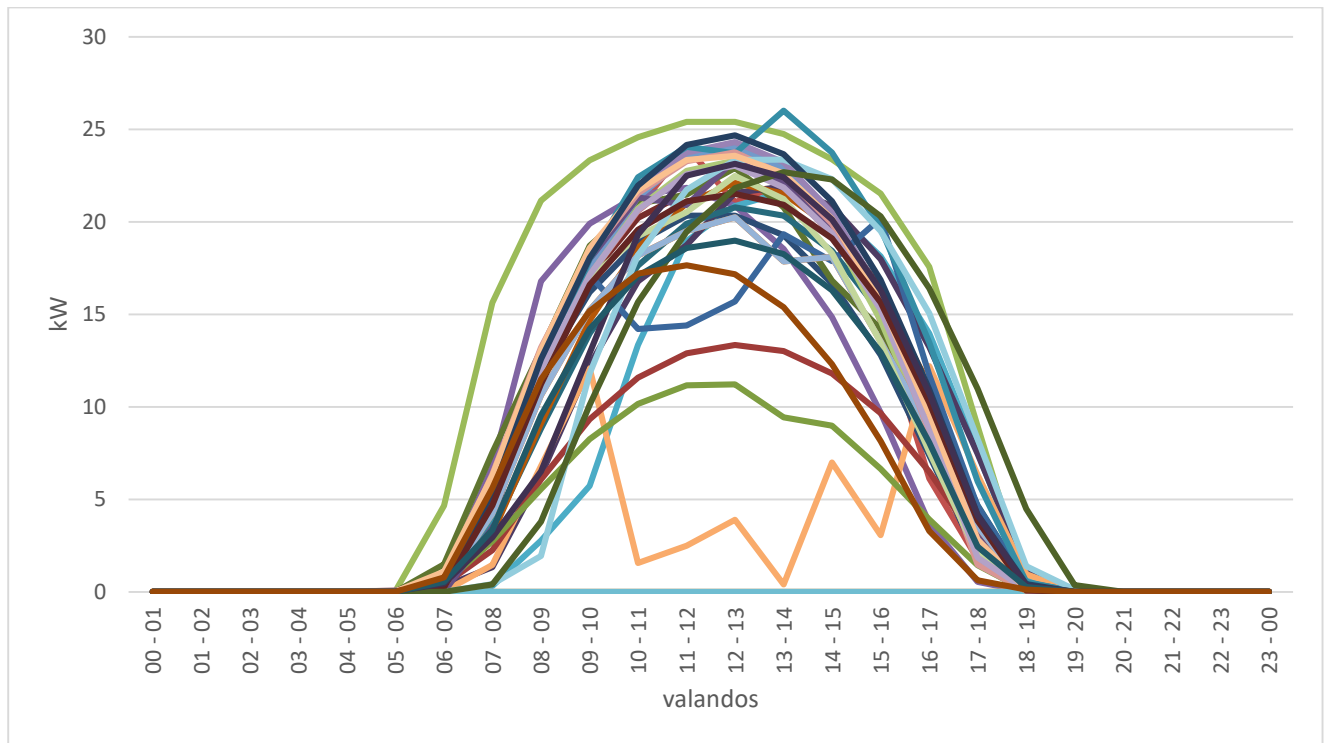
### 3.3.9. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių liepos 15 d. generacijos grafikai.



Panašios galios elektrinių grafikai chaotiški, skiriasi gamybos pikai, turi po kelis gamybos nuosmukius.

Atliekame rudens sezono atsitiktinės paros grafikų analizę Sudarome pavienių elektrinių paros grafikus.

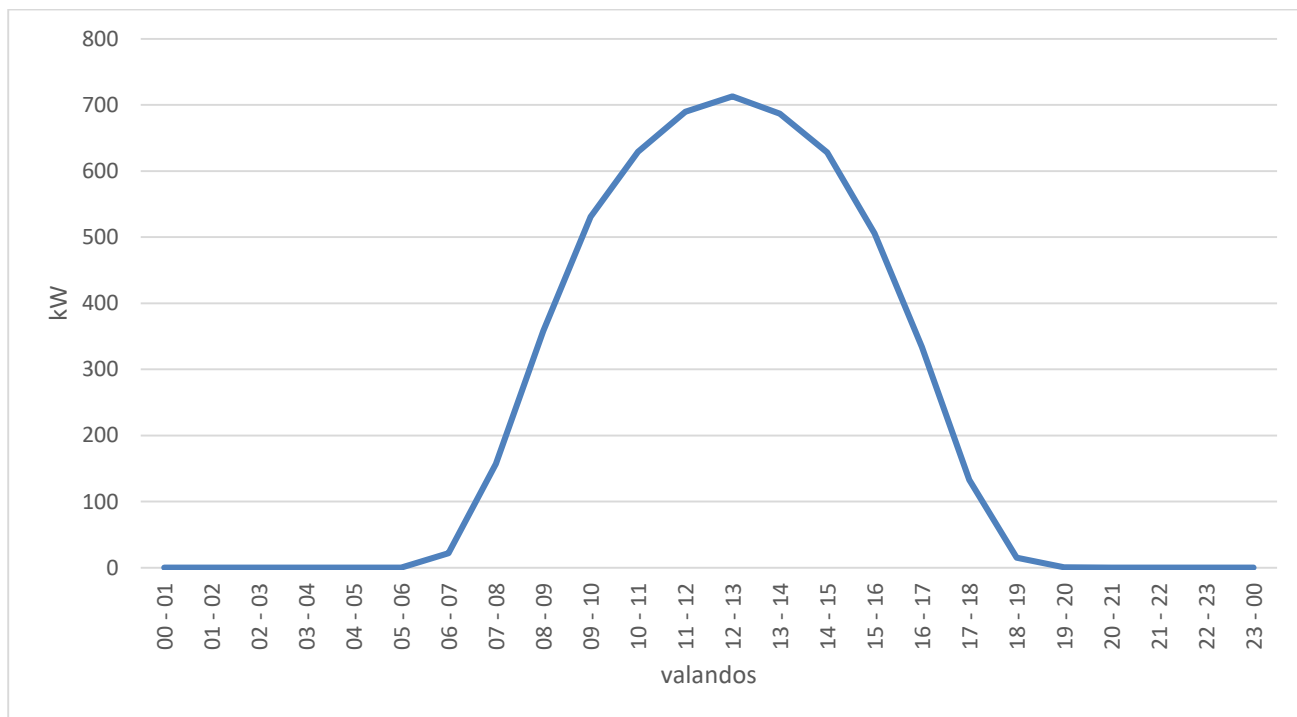
3.3.10. grafikas: Pavienių elektrinių sudarančių VPP rugsėjo 15 d. generacijos grafikas.



Matome, kad tokio pačios galios didžiosios dalies elektrinių sudarančių VPP tos pačios paros grafikai panašūs yra tolygiai didėjantys ir mažėjantys, be didesniu nuokrypių nuo parabolės. Sudarome VPP paros grafiką

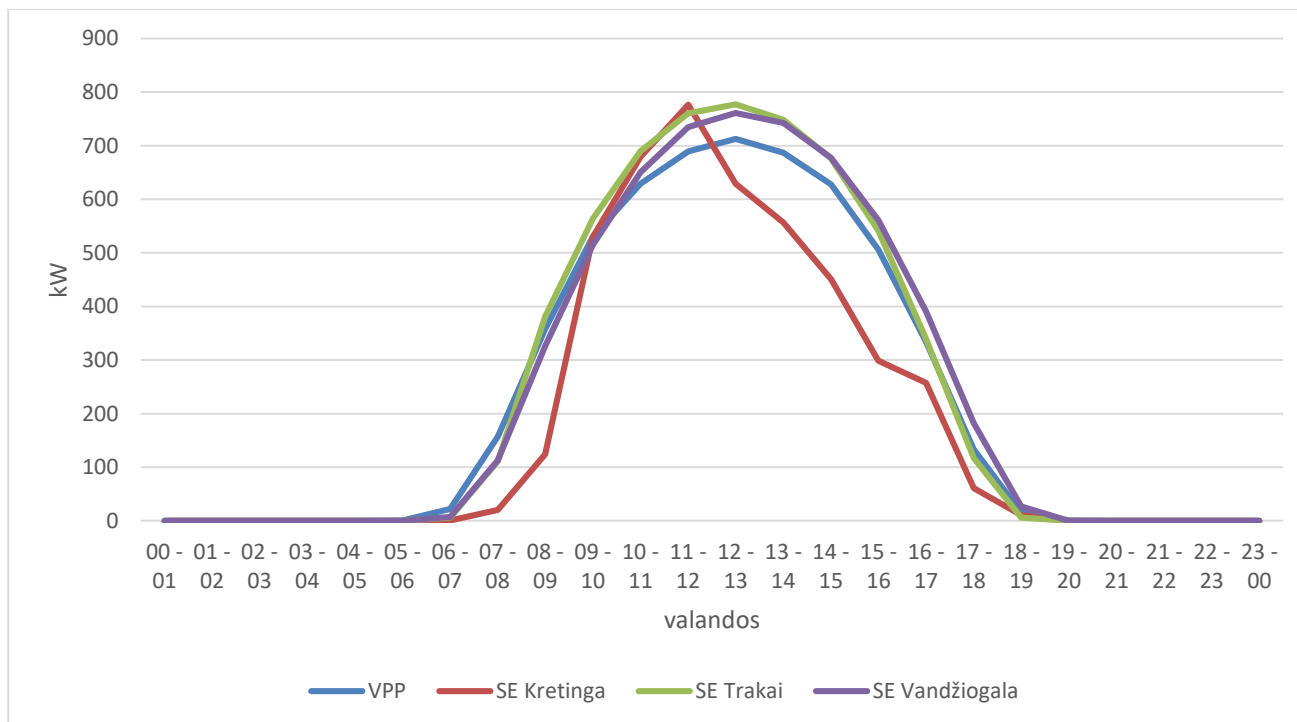


3.3.11. grafikas: VPP rugsėjo 15 d. generacijos grafikas.



Susumavę elektrinių paros grafikus gauname idealų VPP paros grafiką su aiškiu piku. Atliekame palyginimą su panašios galios elektrinėmis.

3.3.12. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių rugsėjo 15 d. generacijos grafikai.



Sulyginus grafikus matome, kad panašios galios įprastinių elektrinių grafikai tą pačią dieną neturėjo esminių skirtumų. Gamybos pikai fiksuoti tuo pačiu laiku. Neužfiksuoti generacijos nuosmukiai. Tik saulės elektrinės įrengtos Kretingoje matome paros grafike matome staigesnį generacijos mažėjimą nuo piko nei kitose elektrinėse.

Išanalizavus keturių atsitiktinių parų grafikus, darytina išvada, kad VPP atveju paros grafikai yra tolygesni ir lengviau prognozuojami lyginant su įprastinėmis elektrinėmis kurios įrengtos vienoje vietoje. Pastebima, kad net tais atvejais kai pavienių elektrinių grafikai yra visiškai neprognozuojami, žiūrint liepos 15 dienos 3.3.7 grafiką, VPP gaunamas pakankamai aiškus ir prognozuojamas grafikas. Pastebėta, kad VPP visada gamybos pikas buvo fiksuojamas tarp 12 -13 valandų. Tuo tarpu kitų elektrinių pikas arba net keli pikai buvo skirtingu laiku.

Siekiant įvertinti didesnės imties duomenis MATLAB atliekame visų metų paros duomenų analizę, apskaičiuojame dispersiją ir standartinį nuokrypį kiekvienai paros valandai VPP ir palyginamosioms elektrinėms.

Dispersija– statistinė imties charakteristika, atspindinti labiausiai tikėtiną eilinio matavimo vertės nukrypimą nuo aritmetinio vidurkio.

Dispersija remiamasi skaičiuojant matavimo rezultatų kokybę bei patikimumą, taip pat ji atspindi ir paties tiriamo objekto ar reiškinių ypatybes ir (kaip ir vidurkis) gali būti laikoma tyrimų rezultatu.

Dispersija apskaičiuojama pagal formulę

$$D(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Standartinis nuokrypis (arba *vidutinis kvadratinis nuokrypis*) – dydis, nusakantis atsitiktinio dydžio įgyjamų reikšmių sklaidą apie vidurkį (įprasta žymėti  $s$ ,  $SD$  arba  $\sigma$ ). Standartinio nuokrypio dimensija yra lygi atsitiktinio dydžio dimensijai.

Standartinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal formulę:

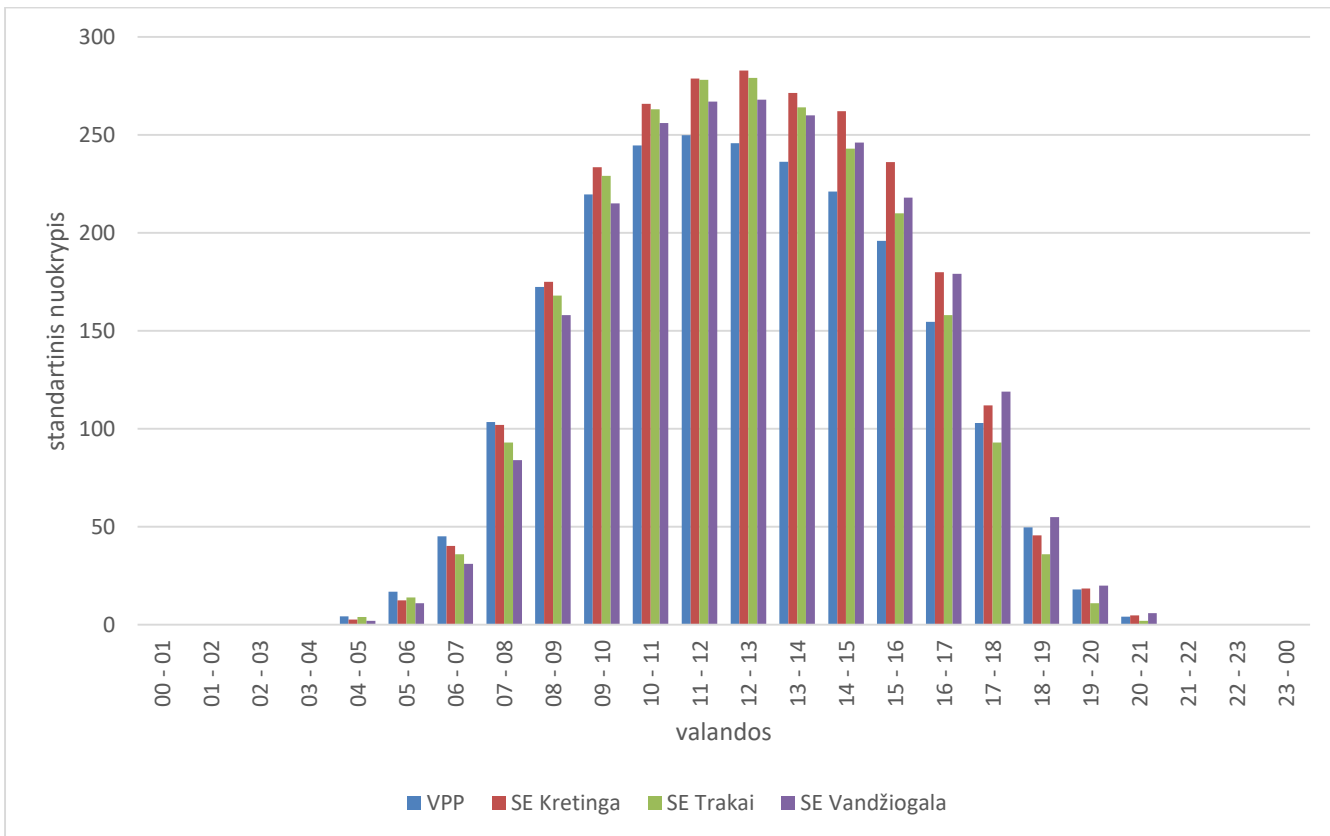
$$E[X] = \mu$$

Skaičiavimai atlikti MATLAB skaičiavimo programa. Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikiami 3.3.13 lentelėje ir 3.3.14. bei 3.3.15 grafikuose.

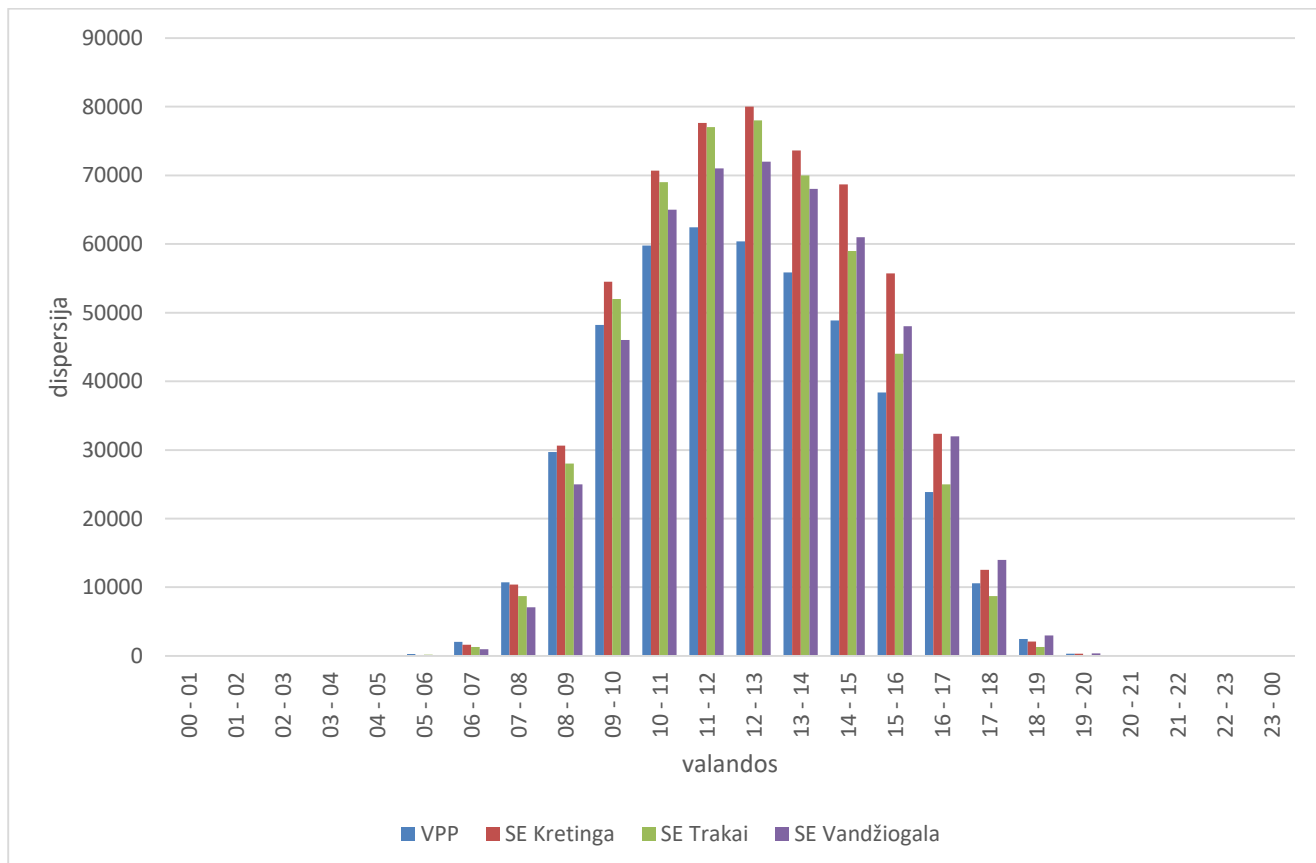
3.3.13. lentelė: Elektrinių atskirų paros valandų standartinis nuokrypis ir dispersija

Valanda	Standartinis nuokrypis				Dispersija			
	VPP	SE Kretinga	SE Trakai	SE Vandžiogala	VPP	SE Kretinga	SE Trakai	SE Vandžiogala
00 - 01	0	0	0	0	0	0	0	0
01 - 02	0	0	0	0	0	0	0	0
02 - 03	0	0	0	0	0	0	0	0
03 - 04	0	0	0	0	0	0	0	0
04 - 05	4	3	4	2	19	7	13	3
05 - 06	17	13	14	11	285	157	190	110
06 - 07	45	40	36	31	2038	1613	1300	970
07 - 08	103	102	93	84	10700	10407	8700	7100
08 - 09	172	175	168	158	29694	30624	28000	25000
09 - 10	220	233	229	215	48211	54518	52000	46000
10 - 11	245	266	263	256	59787	70662	69000	65000
11 - 12	250	279	278	267	62411	77633	77000	71000
12 - 13	246	283	279	268	60370	80001	78000	72000
13 - 14	236	271	264	260	55844	73632	70000	68000
14 - 15	221	262	243	246	48838	68666	59000	61000
15 - 16	196	236	210	218	38385	55710	44000	48000
16 - 17	155	180	158	179	23881	32344	25000	32000
17 - 18	103	112	93	119	10594	12526	8700	14000
18 - 19	50	46	36	55	2466	2085	1300	3000
19 - 20	18	18	11	20	325	342	130	380
20 - 21	4	5	2	6	17	23	3	35
21 - 22	0	0	0	0	0	0	0	0
22 - 23	0	0	0	0	0	0	0	0
23 - 00	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.14. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių paros valandų standartinis nuokrypis.



3.3.15. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių paros valandų dispersija



Apskaičiuojame visos duomenų imties, standartinį nuokrypį ir dispersiją. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 3.3.16 lentelėje

3.3.16. lentelė: VPP ir palyginamųjų elektrinių visos imties duomenų standartinis nuokrypis ir dispersija.

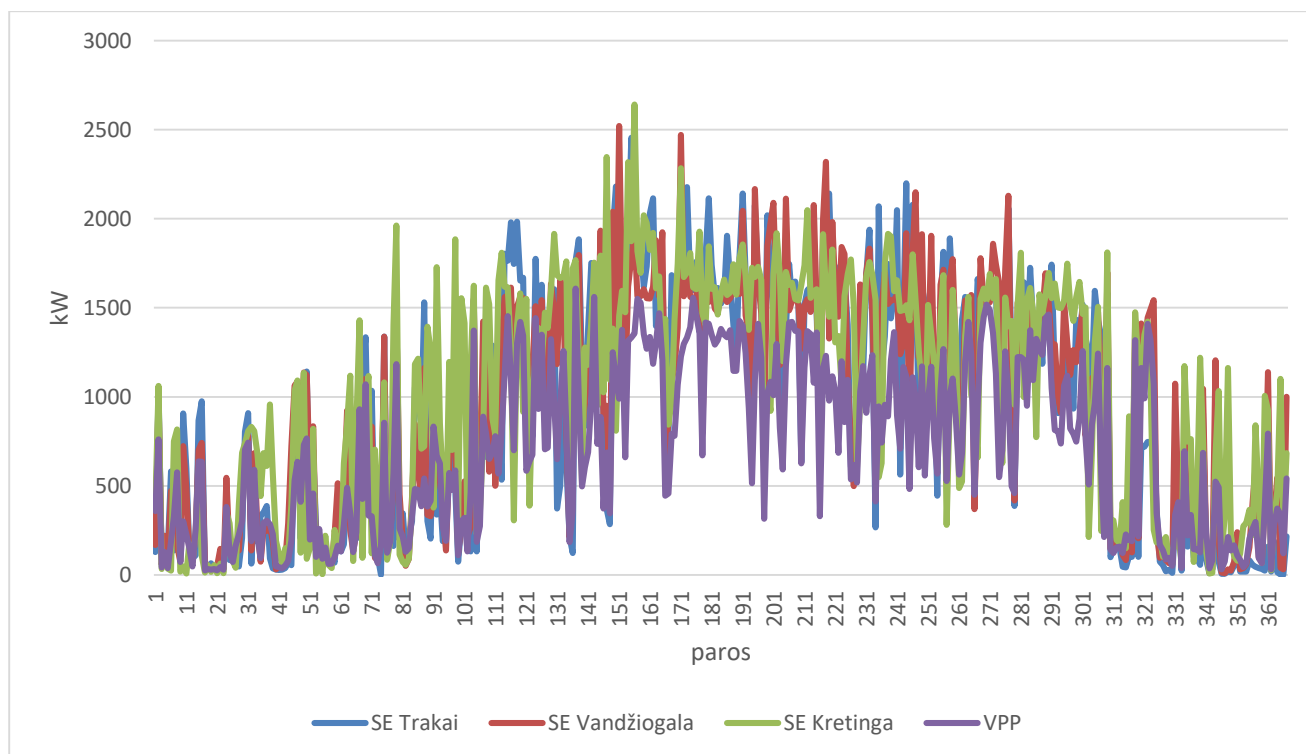
Elektrinė	VPP	SE Kretinga	SE Trakai	SE Vandžiogala
Standartinis nuokrypis	191	207	191	194
Dispersija	363899	42758	36637	37531

Atlikus duomenų imties analizę MATLAB, nepastebėtas esminis duomenų skirtumas. Siekiant įvertinti paros grafikų tolydumą apskaičiuojame metinių duomenų imties galios kitimo pokyčio reikšmes, t.y. koku dydžiu kito generuojamos galios dydis lyginant su prieš tai buvusią valandą. Tais atvejais, kai grafikas turi per parą daugiau kaip vieną piką suminė galia moduli bus didesnė lyginant su fiksuota maksimali galia paroje padaugintai iš dviejų.

$$\sum \Delta P = | (P_1 - P_2) | + | (P_2 - P_3) | + | (P_3 - P_n) | + \dots + | (P_n - P_{24}) |$$

Iš gautų duomenų sudarome grafiką.

3.3.17. grafikas: VPP ir palyginamųjų elektrinių paros  $\sum \Delta P$  grafikas.

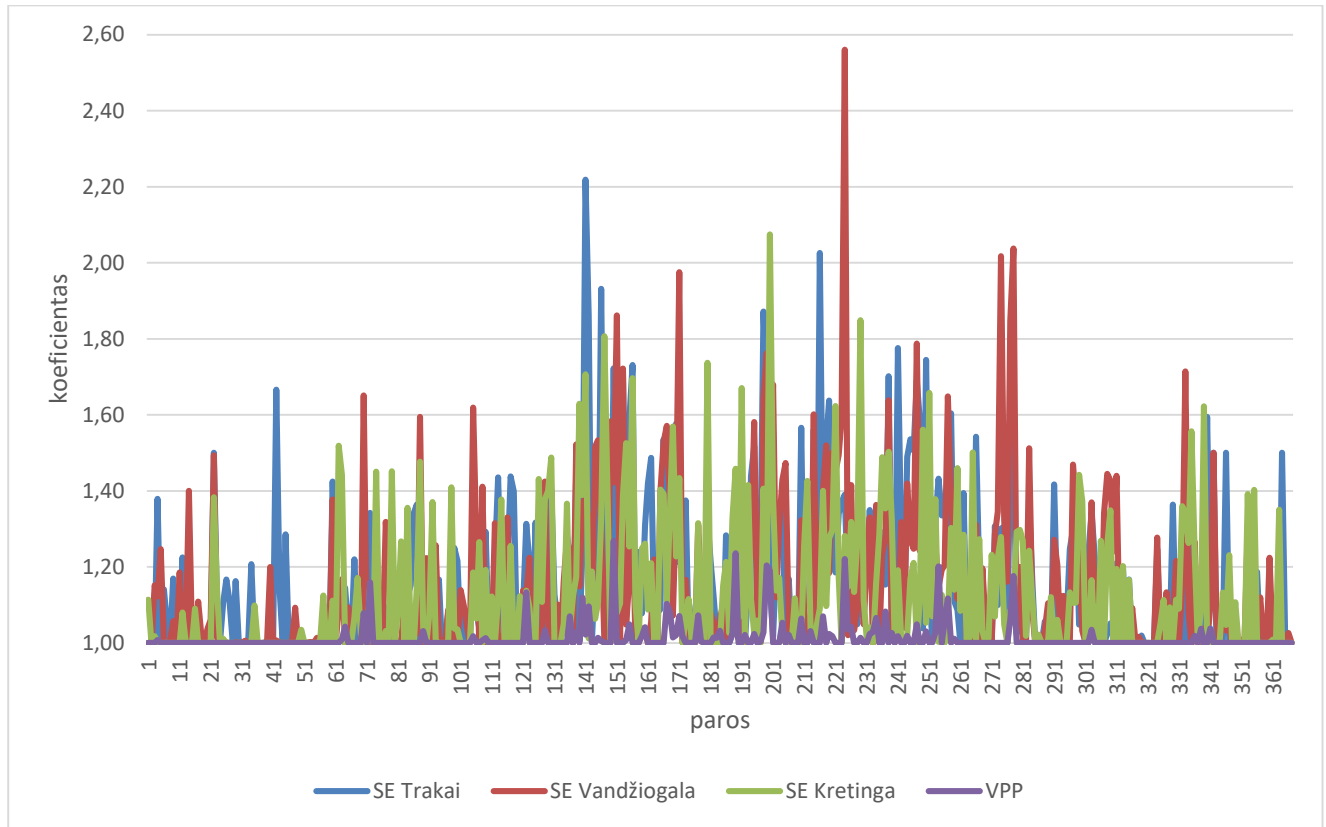


Iš sudaryto grafiko matome, kad VPP  $\sum \Delta P$  kreivė yra žemiau kitų elektrinių t.y. kad paros grafikai yra su vienu pikū arba pasiekia mažesnę maksimalią galią.

Grafikų tolydumo įvertinimui atsižvelgiant į fiksuotas maksimalias galias paroje ir paskaičiuotomis  $\sum\Delta P$  reikšmėmis, apskaičiuojame koeficientus kiekvienai parai pagal formulę:

$$k = \sum\Delta P / P_{\max} / 2$$

3.3.18. grafikas: Maksimalios galios santykio su  $\sum\Delta P$  koeficientai.



Paaiškinimas:

kai koeficientas lygus 1, tokiu atveju elektrinės paros grafikas tolygiai didėja iki piko ir tolygiai mažėja iki minimumo;

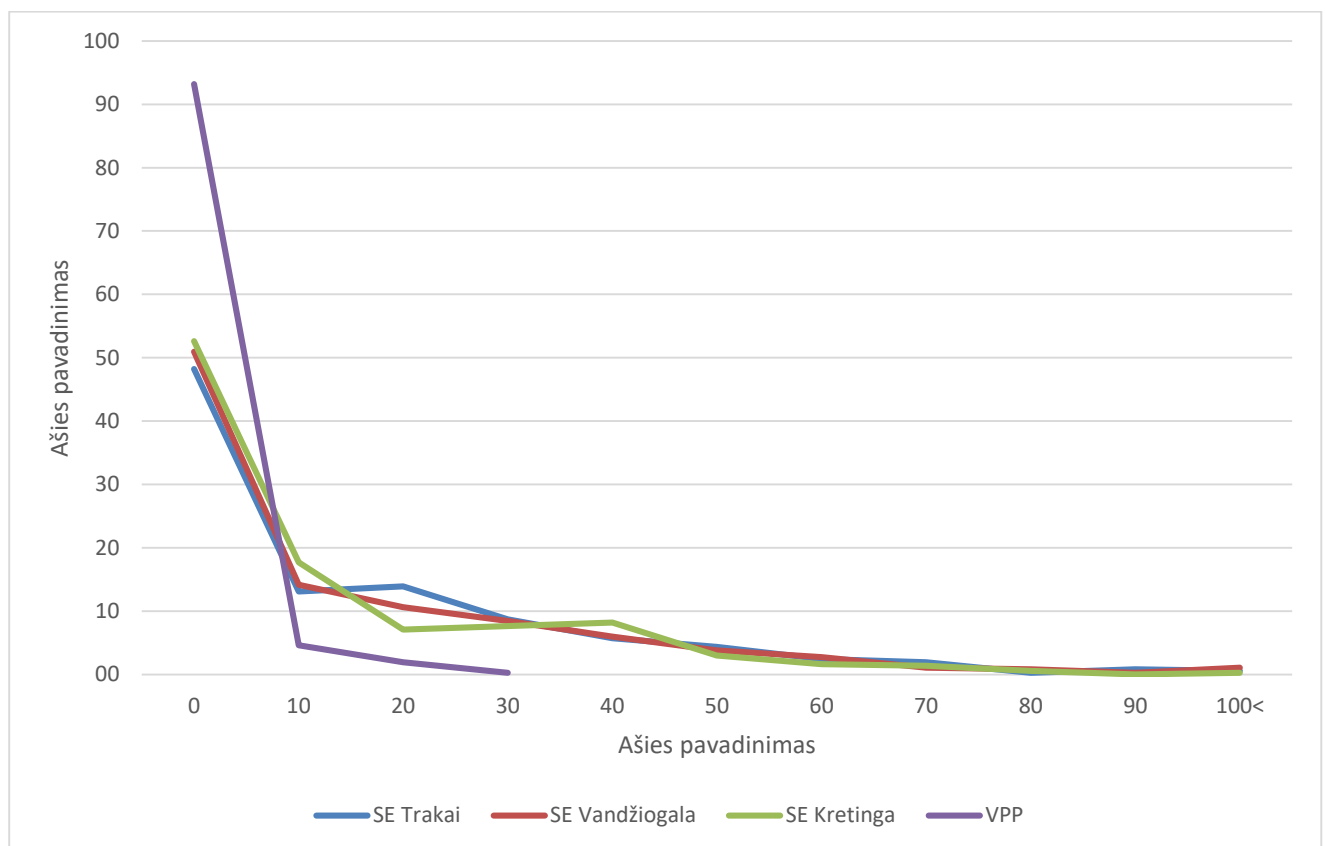
kai koeficientas daugiau kaip 1 tokiu atveju elektrinės paros grafikas turi netolygų didėjimą ir mažėjimą t.y. galimi keli ryškūs pikai ar esant didėjimui arba mažėjimui pasikeičia trumpam laikotarpiui į mažėjimą arba didėjimą.

Iš grafiko aiškiai matome, kad VPP kreivė yra gerokai arčiau (1) lyginant su kitomis elektrinėmis. Sudarome statistinę lentelę .3.3.19 ir nubraižome grafiką 3.3.20.

3.3.19. lentelė: VPP ir palyginamųjų elektrinių paros grafikų tolydumo koeficiento statistinė lentelė.

Koeficientas	SE Trakai	SE Vandžiogala	SE Kretinga	VPP
	%	%	%	%
1	48,2	51,0	52,6	93,2
1,1	13,1	14,2	17,7	4,6
1,2	13,9	10,6	7,1	1,9
1,3	8,7	8,4	7,6	0,3
1,4	5,7	6,0	8,2	0
1,5	4,4	3,8	3,0	0
1,6	2,5	2,7	1,6	0
1,7	1,9	1,1	1,4	0
1,8	0,3	0,8	0,5	0
1,9	0,8	0,3	0	0
2<	0,5	1,1	0,3	0

3.3.20. grafikas: Maksimalios galios santykio su  $\sum \Delta P$  koeficientai.



Iš apibendrintų duomenų darytina išvada, kad VPP 93,2 % parų t.y. 342 per metus turėjo lengvai prognozuojamus grafikus. Grafikai turėjo po vieną piką, buvo tolygiai didėjantys iki piko bei tolygiai mažėjantys nuo piko grafikai. Įprastinių elektrinių atveju tik apie 50 % parų per metus turėjo lengvai prognozuojamus grafikus.

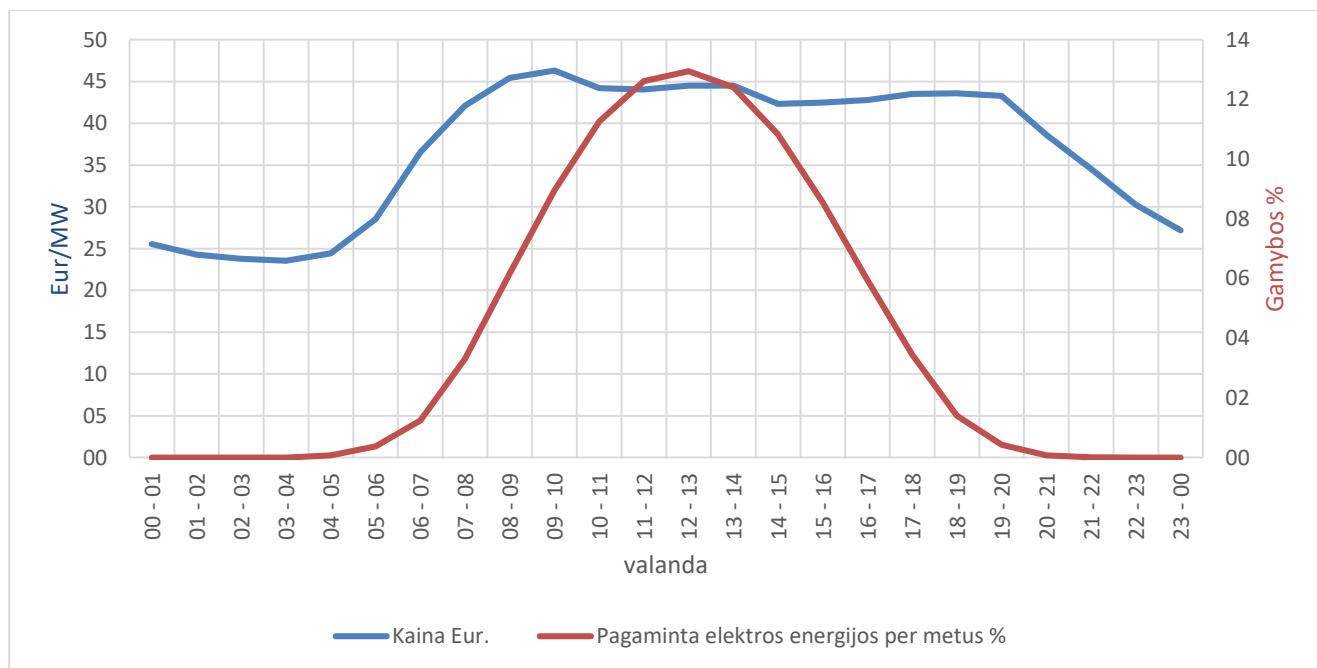
Išanalizavus modeliuojamos VPP ir palyginamųjų elektrinių paros duomenis darytina išvada, kad VPP elektros energijos gamybos paros grafikas yra nuoseklesnis t.y. nėra didelių skirtumų tarp atskirų paros valandų lyginant su kitomis elektrinėmis įrengtomis vienoje teritorijoje. Paprastesnis elektros energijos gamybos prognozavimas bei patrauklesnis elektros energijos pirkėjams grafikas.

### 3.4. Elektros energijos pardavimas.

Iš aukščiau pateikiamų tyrimo rezultatų matome, kad saulės elektrinių bendram pagaminamam kiekiui įtakos turi vietovė kur ji įrengta ir aplinkos sąlygos toje vietovėje t. y. kiek buvo saulėtų / debesuotų dienų. 3.2.8 lentelėje pateikta informacija kiek kiekviena iš VPP sudarančių elektrinių pagamino elektros energijos iš instaliuoto 1 kW. Skirtumai pakankamai didelis. Daugiausiai pagamino elektrinė Nr.3 įrengta Zarasų sav. Iš 1 kW per metus pagamino 1269 kWh. Mažiausiai elektrinė Nr. 36 įrengta Pasvalio sav. Iš 1 kW per metus pagamino 754 kWh. Modeliuojama VPP per metus iš 1 kW pagamintų 934 kWh. Gamybos ribos sudaro +26% -24% procentų ribose nuo vidutinės vertės. Atitinkamai tai turi įtakos ir pajamoms.

Sulyginame VPP elektros energijos gamybos metinių duomenų vidutinį paros grafiką su elektros energijos kainos metinių duomenų vidutiniu paros grafiku.

3.4.1. grafikas: Elektros biržos kainos ir VPP gamybos vidutinis paros grafikas





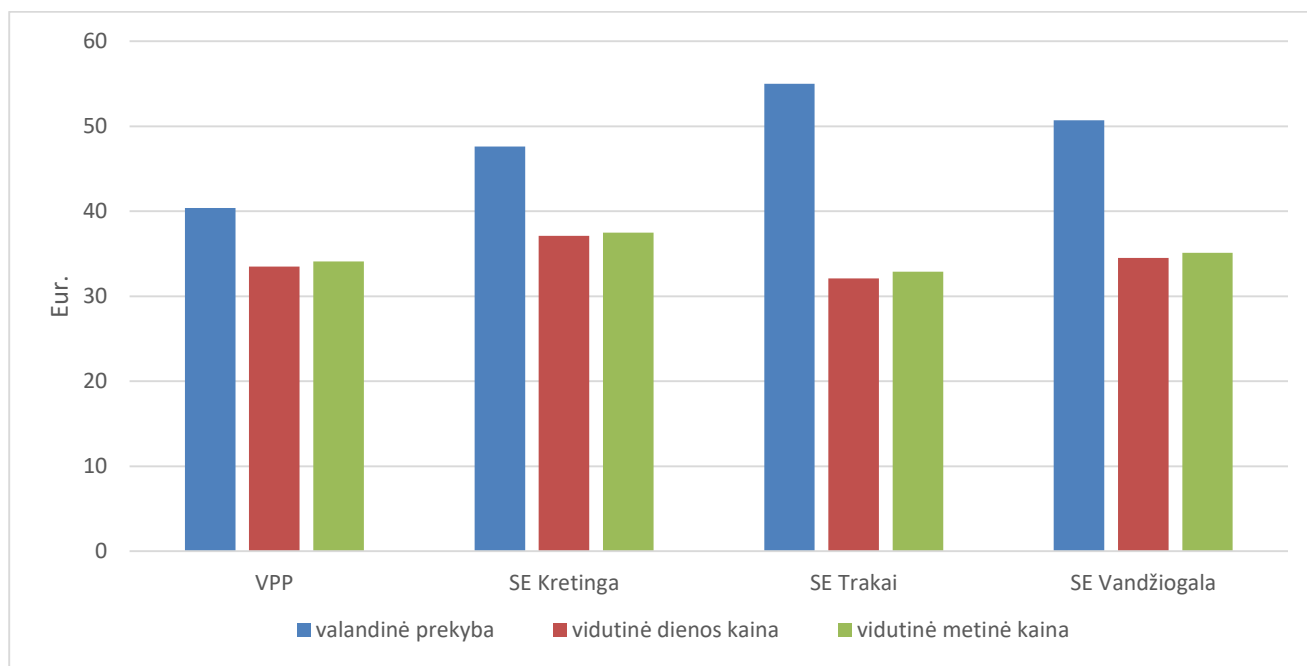
Kaip matome iš grafiko, saulės elektrinėse elektros energijos gamyba nevyksta, kai elektros biržoje kaina yra žemiausia ir atvirkščiai, kai saulės elektrinė gamina elektros energiją biržos kaina yra didžiausia. Tačiau pikai skiriasi, didžiausia vidutinė kaina fiksuojama biržoje nuo 9 iki 10 val., o saulės elektrinės vidutinė didžiausia generacija fiksuojama nuo 12 iki 13 val.

Sulyginus gamybos ir biržos kainos grafikus darytina išvada, kad daugiau pajamų būtų gaunama jei elektros energija būtų parduodama valandiniu tarifu. Palyginimui apskaičiuosime gaunamas pajamas iš instaliuoto 1 kW per metus jei elektros energija būtų parduodama valandiniu tarifu. Atsižvelgiant į tai, kad prekyba biržoje asmenims turintiems mažos galios įrenginius yra neįmanoma (žiūrėti 2.4 skyrių) palyginimui paskaičiuojame jei elektros energija būtų superkama ne valandiniu tarifu, bet vidutiniu paros ir vidutiniu metiniu tarifais. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.2.4 lentelėje. Sudarytas grafikas 3.4.3.

3.4.2. lentelė: Pajamos Eur. iš 1 kW per metus.

Elektrinė	VPP	SE Kretinga	SE Trakai	SE Vandžiogala
Gauta pajamų Eur. iš 1 kW valandinė prekyba	40,4	47,6	55	50,7
Gauta pajamų Eur. iš 1 kW vidutinė dienos kaina	33,5	37,1	32,1	34,5
Gauta pajamų Eur. iš 1 kW vidutinė metinė kaina	34,1	37,5	32,9	35,1

3.4.3. grafikas: Pajamos Eur. iš 1 kW per metus.

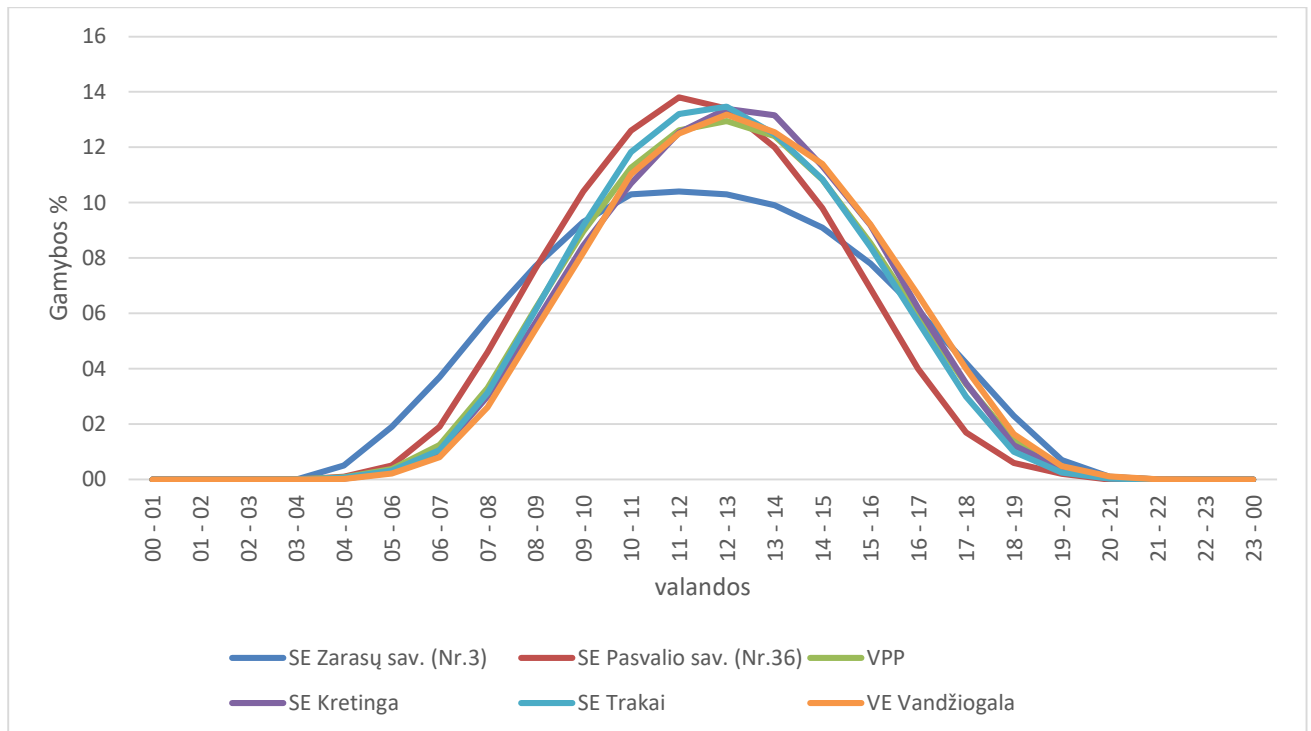


Atlikus palyginamuosius skaičiavimus matome, kad skirtingos elektrinės pagamindamos palyginti panašius kiekius iš instaliuoto 1 kW galėtų gauti skirtingas pajamas jei būtų perkama elektros energija pagal biržoje nustatytus atskirų valandų įkainius. VPP atveju būtų gauta 20% daugiau pajamų. Palyginamųjų elektrinių pajamos vidutiniškai didėtų iki 50%.

Esminių skirtumų pajamoms nepastebėta jei elektros energija būtų prekiaujama pritaikant 1 metų arba 1 dienos vidutinę kainą.

Palyginkime elektrinių metinį gamybos pasiskirstymą pagal paros valandas.

### 3.4.3. Grafikas: Elektrinių gamybos vidutinis paros grafikas



Iš sudarytų grafikų darytina išvada, kad nepriklausomai nuo to ar tai VPP ar pavienė elektrinė vidutiniai gamybos paros grafikai yra vienodi. Tačiau esminę įtaką pajamų dydžiui turi susiformavusi elektros energijos kaina biržoje. Kokia galia veikė elektrinė ir kokia kaina buvo elektros biržoje.

Apjungiant paskirstytuosius generatorius į VPP ir integruojant į elektros energijos prekybos biržą taip būtų padidinamos pajamos. Atitinkamai būtų galima mažinti skatinimo priemonių intensyvumą arba visai jų atsisakyti.

### 3.5. Gaminančių vartotojų modelis

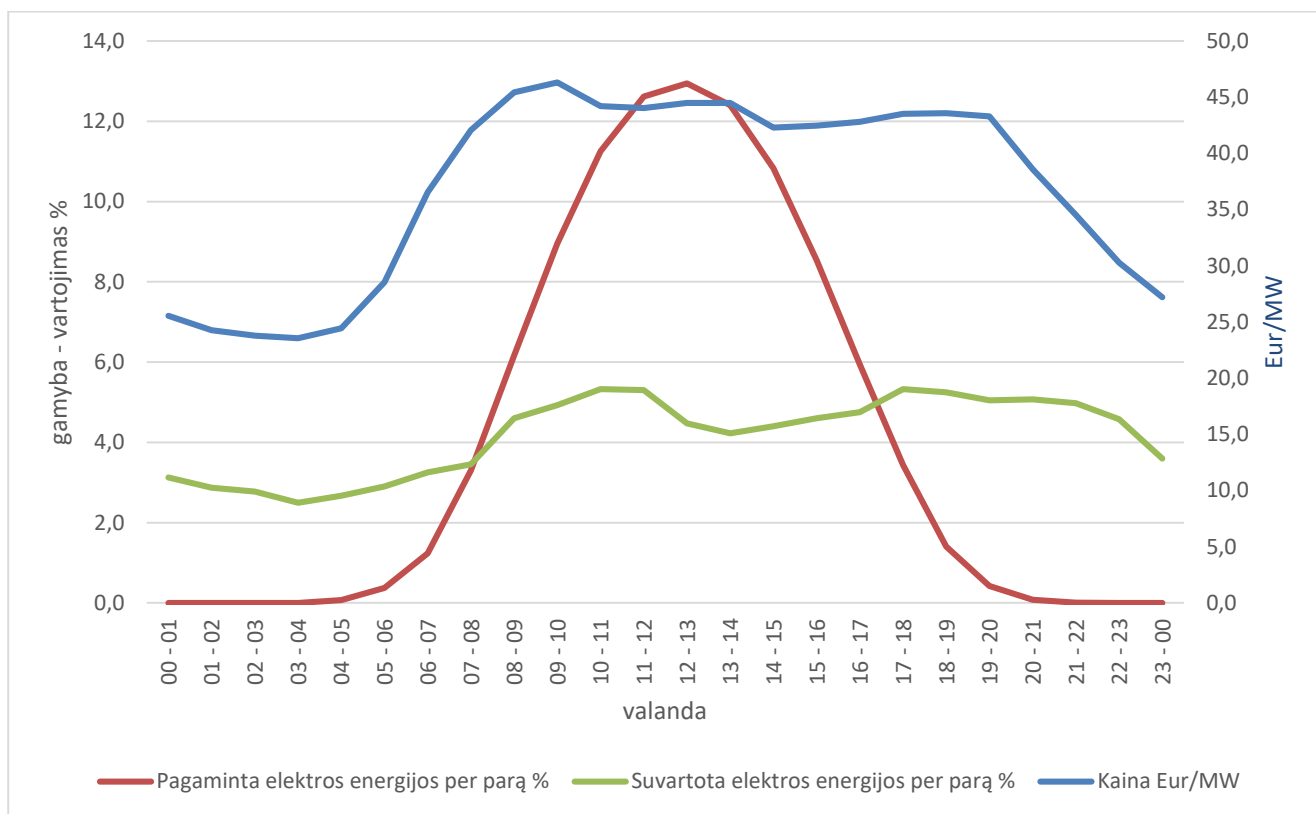
Nuo 2015 metų ketvirtojo ketvirčio Lietuvos respublikoje, išimtinai saulės elektrinių - paskirstytųjų generatorių, plėtros skatinimui patvirtintas gaminančių vartotojų modelis. Šio modelio esminė idėja yra „self-consumption“, idėjos įgyvendinimas t.y., kad vartotojai pasigamintų reikiamą elektros energijos kiekį patys. Kadangi šiai dienai energijos kaupiklių technologijos yra brangios, Lietuvoje Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatyme yra nustatyta skatinamoji priemonė – elektros energijos pasaugojimo paslauga. Energijos pasaugojimo paslaugą teikia STO. Gaminantis vartotojas iš savo vidaus elektros tinkle įrengtos elektrinės vartoja elektros energiją savo reikmėms, o perteklinę energiją pateikia STO. Gaminantis vartotojas už tą energijos kiekį kurį buvo pateikęs STO negauna pajamų. Atitinkamai jei gamybos pajėgumai yra per maži trūkstamą elektros energijos kiekį gaminantis vartotojas atsiima iš STO, bet ne daugiau nei buvo pateikęs. Ši energija yra apmokestinama naudojimosi elektros tinklais paslaugos tarifu. Papildomą elektros energijos kiekį gaminantis vartotojas perka kaip ir kiti vartotojai.

3.5.1. lentelė: Elektros energiją gaminančių vartotojų naudojimosi elektros tinklais paslaugų kainos [8]

	<b>Galioja nuo 2015-10-01 iki 2015-12-31</b>	<b>Galioja nuo 2016-01-01 iki 2016-12-31</b>	<b>Galioja nuo 2017-01-01 iki 2017-12-31</b>	<b>Galioja nuo 2017-01-01 iki 2017-12-31</b>
gaminantiems vartotojams, kurių elektros įrenginiai prijungti prie skirstomojo tinklo vidutinės įtampos	AB „Energijos skirstymo operatorius“	1,586 ct/kWh	1,447	1,469
	AB „Achema“	-		-
	AB „Akmenės cementas“			2,33
	UAB „E Tinklas“			-
	UAB „Dirbtinis pluoštas“			1,705
	AB „Lifosa“			3,765
gaminantiems vartotojams, kurių elektros įrenginiai prijungti prie skirstomojo tinklo žemosios įtampos	AB „Energijos skirstymo operatorius“	3,043 ct/kWh	3,213 ct/kWh	3,118
	AB „Achema“	-		1,685
	AB „Akmenės cementas“			4,74
	UAB „E Tinklas“			6,0
	UAB „Dirbtinis pluoštas“			2,655
	AB „Lifosa“			9,895

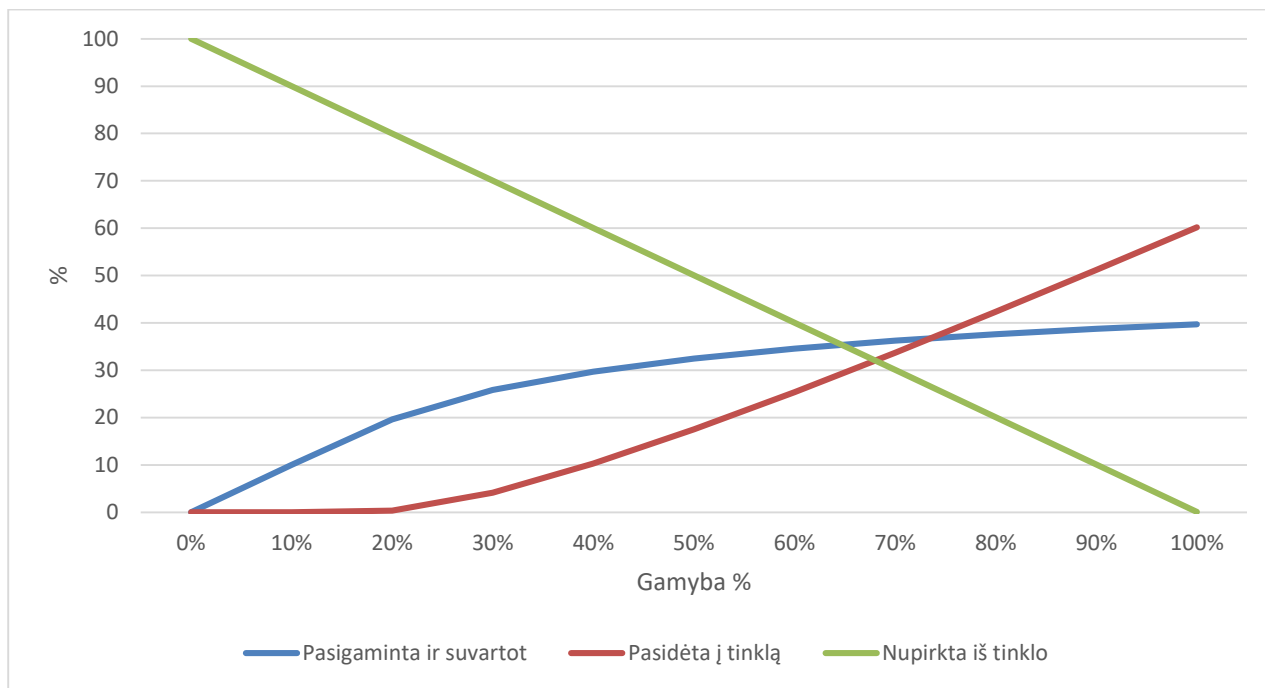
Tiriamąjį darbo 3.4. skyriuje nagrinėjome VPP ir elektros biržos kainos kitimą paros bėgyje, grafikas 3.4.1. Palyginame elektros energijos gamybos, biržos kainos ir buitinių vartotojų elektros energijos vartojimo grafikus.

3.5.2. grafikas: Buitinių elektros energijos vartotojų elektros energijos suvartojimo, saulės elektrinių gamybos ir biržos kainos paros grafikas.



Sulyginę grafikus matome, kad buitinių vartotojų elektros energijos vartojimo paros grafikas turi du pikus, pirmą nuo 10 iki 11 val. antrą nuo 17 iki 18 valandos. Kaip ir buvo nagrinėta 3.4 skyriuje elektros gamybos pikas saulės elektrinėse yra nuo 12 iki 13 val, o didžiausia biržos kaina fiksuojama nuo 9 iki 10 val. Grafikų pikai nesutampa. Atsižvelgiant į tai modeliuojame įvertindami skirtingus gamybos lygius. Siekiu pasigaminti 10, 20, ...100 % savo suvartojamos elektros energijos kiekio. Sudarome grafiką.

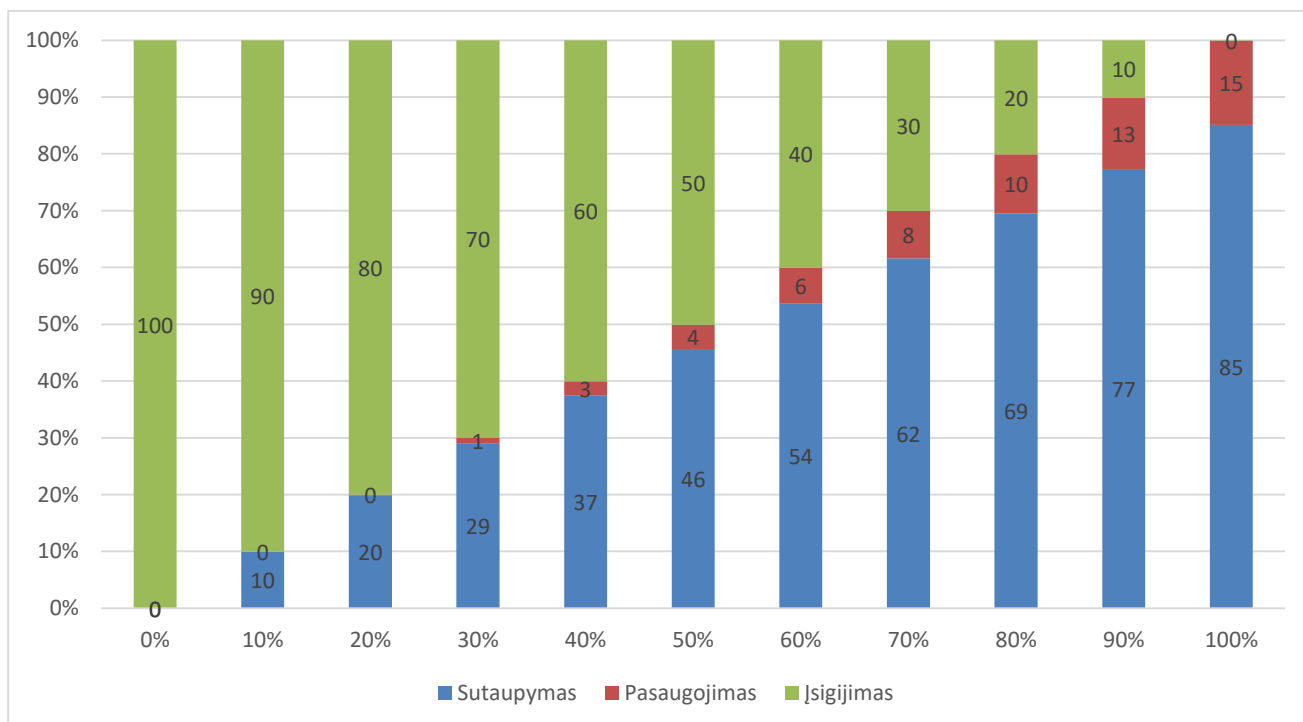
3.5.3. grafikas: Gaminančio vartotojo elektros energijos vartojimo / gamybos / pasaugojimo grafikas.



Iš grafiko matome, kad tik tuo atveju kai siekiama pasigaminti iki 20 % metinio elektros energijos poreikio savo vidaus tinkle įrengta saulės elektrinė į tinklą nepateikiama pagaminta elektros energija pasaugojimui. Kai siekiama pasigaminti 100% tokiu atveju 60% elektros energijos būtų padedama į tinklą pasaugojimui, o 40% pasigaminta ir suvartota iškart.

Suskaičiuojame taupymus elektros energijos įsigijimui. Pagal gautus duomenis sudarome grafiką 3.5.4.

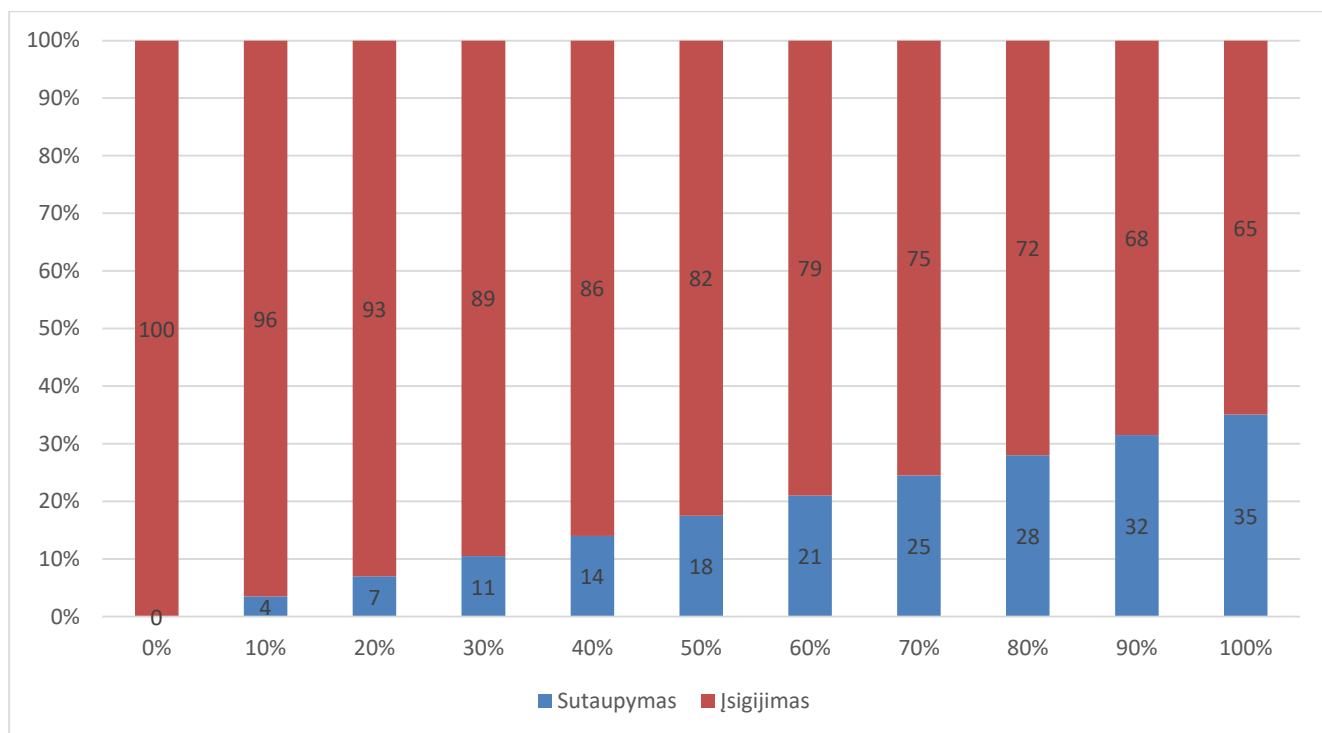
3.5.4. grafikas: Gaminančio vartotojo kaštų pasiskirstymas esant skirtingiems gamybos lygiams



Darytina išvada, kad tuo atveju, kai siekiama pasigaminti visą reikiamą kiekį savo gamybos įrenginiais įrengtai vidaus elektros tinkle ir taikant gaminančio vartotojo modelį būtų sutaupoma iki 85% išlaidų lyginant jei būtų visa elektros energija perkama. Už elektros energijos pasaugojimą išlaidos sudarytų 15 %.

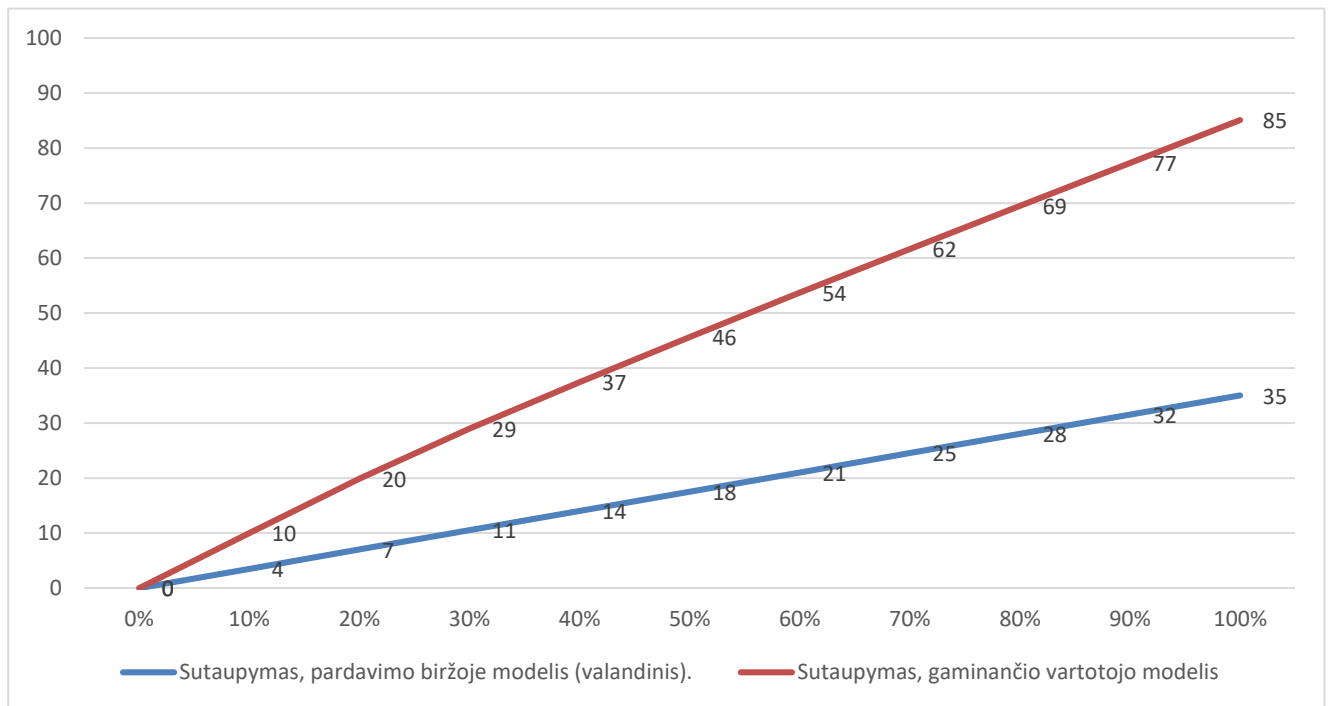
Palyginimui paskaičiuojame koks būtų sutaupymas jei visa pagaminta elektros energija būtų parduodama biržoje. Sudarome grafiką.

3.5.4. grafikas: Elektros energijos gamintojo ir vartotojo kaštų pasiskirstymas esant skirtingiems gamybos lygiams



Iš grafiko matome, kad jei asmuo pagamintų tokį pat kiekį kiek suvartoja per metus ir jį parduotų biržoje, tai leistų jam padengti 35% išlaidų patirtų elektros energijos įsigijimui. Palyginimui sudarome grafiką.

3.5.5. grafikas: Buitinių elektros energijos vartotojų elektros energijos suvartojimo, saulės elektrinių gamybos ir biržos kainos paros grafikas.



Atlikus palyginamuosius skaičiavimus, darytina išvada, kad Lietuvoje veikiantis gaminančio vartotojo modelis yra asmenims įsirengusiems elektrines vidaus tinkle su siekiu pasigaminti elektros energiją sau palankus lyginant jei būtų parduodama elektros energija biržos kainoms. Ekonominis naudingumas susidaro daugiau nei 2 kartus palankesnis gaminančio vartotojo modeliui nei pardavimo biržoje modeliui. Tačiau tokia forma neįgalina elektros energijos gamintojus būti aktyviais energetikos sistemos dalyviais. Nesprendžiamos energetikos sistemoje kylančios problemos dėl paskirstytųjų generatorių plėtros. Energetikos sistemos operatoriais turi investuoti savo lėšas kylančių problemų suvaldymui kas įtakoja galutinės elektros energijos kainos dydžiui.

#### 4. IŠVADOS

Tiriamąo darbo tikslas buvo įvertinti ar VPP modelio taikymas paskirstytųjų generatorių integracijai į energetikos sistemą galėtų atstoti valstybės taikomas skatinimo priemones. Pažymėtina, kad šio tiriamąo darbo apimtyje nevertintos kitos VPP naudos t.y. kad paskirstytieji generatoriai tampa „matomais“ energetikos sistemą valdančiai įmonei, galimybė paklusti bendram dispečeriniam valdymui ir pan.

Tiriamąo darbo 2.1. ir 2.2 skyriuose išanalizuota paskirstytųjų generatorių plėtros dinamika Lietuvos respublikoje ir veiksniai įtakoje jų plėtra. Nustatyta, kad esminiam jų kiekio didėjimui turėjo įtakos skatinamųjų priemonių taikymas – priimtas Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas (5).

Tiriamąo darbo apimtyje sumodeliuota VPP apjungianti 36 elektrines išsidėsčiusias po visą Lietuvos Respublikos teritoriją. Suminė modeliuojamos elektrinės galia 1076 kW.

VPP elektros energijos generacijos ypatumų įvertinimui atlikti palyginamieji skaičiavimai su įprastomis elektrinėmis. Ekonominiam vertinimui atlikti palyginamieji skaičiavimai modeliuojant skirtingus elektros energijos pardavimo scenarijus t.y. pardavimas pagal metinę vidutinę kainą, pagal dienos vidutinę kainą ir kiekvienos valandos kainą. Taip pat palyginta su šiai dienai galiojančia paskirstytųjų generatorių skatinimo schema reglamentuota Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatyme – gaminančio vartotojo modeliu.

Sumodeliavus ir sulyginus VPP su įprastinių elektrinių metiniais gamybos grafikai pastebėta, kad VPP per metus 18 % daugiau dirba valandų lyginant su kitomis elektrinėmis esant 20-50 % generacijos ribose. Tačiau 60-80 % generacijos ribose dirba 23% valandų mažiau.

Išanalizavus modeliuojamos VPP ir palyginamųjų elektrinių paros grafikus darytina išvada, kad VPP elektros energijos gamybos paros grafikai yra nuoseklesni t.y. nėra didelių šuolių tarp atskirų paros valandų. Pavienėse elektrinėse fiksuojami dideli pokyčiai skirtingomis valandomis. VPP atveju yra paprastesnis elektros energijos gamybos prognozavimas bei patrauklesnis elektros energijos pirkėjams grafikas. VPP 93,2 % parų t.y. 342 per metus turėjo lengvai prognozuojamus grafikus. Įprastinių elektrinių atveju tik apie 50 % parų per metus turėjo lengvai prognozuojamus grafikus.

Atlikus ekonominį vertinimą darytina išvada, kad VPP prekiaujant elektros energija biržos valandine kaina iš instaliuoto 1 kW galėtų gauti 20% daugiau pajamų lyginant jei būtų prekiaujama vidutine dienos ir vidutine metine elektros energijos kaina.

Įvertinus šiai dienai Lietuvoje galiojančią paskirstytųjų generatorių skatinimo priemonę, gaminančio vartotojo modelis, darytina išvada, kad elektros energijos vartotojams iki 2 kartų ekonomiškai naudingesnis šis modelis lyginant su šiame tiriamajame darbe modeliuota VPP prekiaujant elektros energija biržoje valandine kaina. Tačiau esamas gaminančio vartotojo modelis



nesprendžia iš esmės paskirstytųjų generatorių valdomumo ir paklusimo bendram dispečeriniam valdymui klausimo. Dėl ko energetikos sistemos operatoriai turi patirti papildomas investicijas sistemos stabilumo užtikrinimui. Apjungus paskirstytuosius generatorius į VPP būtų realizuota galimybė energetikos sistemos operatoriui operuoti ir paskirstytųjų generatorių pajėgumais.

Šiai dienai galiojančiose teisės aktuose, kurie reglamentuoja paskirstytųjų generatorių plėtra bei kituose teisės aktuose visiškai nėra teisinio reglamentavimo VPP egzistavimui. Tikslu VPP pagalba lengvinti energetikos sistemos operatoriams paskirstytųjų generatorių integravimo klausimus, reikėtų įstatyminiame lygmenyje nustatyti VPP veikimo principus, bei kompleksiskai taikyti papildomas skatinimo priemones.

## INFORMACIJOS ŠALTINIAI

1. Virtual Power Plants – general review: structure, application and optimization "Warsaw University of Technology, Institute of Heat Engineering";
2. Concept and controllability of virtual Power plant "University of Kassel"
3. Developing Virtual Power Plant for Optimized Distributed Energy Resources Operation and Integration "Technical University of Denmark";
4. Distributed Energy Resources, "Virtual Power Plants," and the Smart Grid "University of Richmond".
5. Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas Valstybės žinios, 2011-05-24, Nr. 62-2936
6. Perdavimo tinklų operatoriaus LITGRID AB interneto svetainė – [www.litgrid.eu](http://www.litgrid.eu).
7. Lietuvos respublikos energetikos ministerijos interneto svetainė „Atsinaujinantieji energijos ištekliai Lietuvoje“ – [www.avei.lt](http://www.avei.lt).
8. Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos interneto svetainė – [www.regula.lt](http://www.regula.lt).
9. Elektros prekybos biržos tinklalapis - [www.nordpoolspot.com](http://www.nordpoolspot.com).