



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Naujų produktų ir paslaugų atsiradimo po Švarios energijos paketo priėmimo analizė ir jų įtaka Lietuvos elektros rinkai**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Titas Ragelis**

Projekto autorius

**Lekt. Aistija Vaišnorienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Naujų produktų ir paslaugų atsiradimo po Švarios energijos paketo priėmimo analizė ir jų įtaka Lietuvos elektros rinkai**

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

---

**Titas Ragelis**

Projekto autorius

**Lekt. Aistija Vaišnorienė**

Vadovė

**Lekt. Loreta Valatkienė**

Recenzentė

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Titas Ragelis

## **Naujų produktų ir paslaugų atsiradimo po Švarios energijos paketo priėmimo analizė ir jų įtaka Lietuvos elektros rinkai**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Titas Ragelis

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Ragelis, Titas. Naujų produktų ir paslaugų atsiradimo po Švarios energijos paketo priėmimo analizė ir jų įtaka Lietuvos elektros rinkai. Magistro baigiamasis projektas / vadovė lekt. dr. Aistija Vaišnorienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Švarios energijos paketas; energijos kaupimas; dinaminė kaina; hibridinės elektrinės.

Kaunas, 2021. 50 p.

### **Santrauka**

Atsinaujinančių šaltinių generacija Lietuvoje nesustabdomai didėja, tačiau kartu auga ir jų sukeltos problemos. Atsinaujinančių šaltinių integracija, elektros energijos srautų balansavimas ar sistemos patikimumas yra tik kelios iš daugelio atsinaujinančių šaltinių sukeltos problemos. Europos Sąjungos priimtas Švarios energijos paketas leidžia iš naujo reglamentuoti energetikos sektoriaus įstatymus sukuriant naujas technologijų terpes. Šio darbo tikslas yra ištirti hibridinių elektrinių ir dinaminės elektros kainos įtaką Lietuvos elektros rinkai. Kaip tiriamasis objektas pasirinktas Kauno technologijos universiteto atsinaujinančių šaltinių sistema. Darbe, pirmiausia, siekiama išsiaiškinti naujų po Švarios energijos paketo priimtų priemonių pritaikymo galimybes Lietuvos elektros rinkai. Antra, išnagrinėti skirtingų energijos kaupiklių techninius parametrus ir panaudojimo galimybes. Trečia, pritaikyti energijos kaupiklį ir dinaminės elektros kainos tarifą Kauno technologijos universiteto atsinaujinančių šaltinių sistemai ir išanalizuoti jų įtaką sąskaitoms už elektros energiją. Taip pat paskaičiuoti naujų įdiegtų priemonių kaip vientiso projekto ekonominius rodiklius ir atlikti kaštų naudų analizę. Ir žinoma įvertinti po Švarios energijos paketo priimtų priemonių galimybes ateityje. Šiame darbe siekiant išspręsti išsikeltus uždavinius atliekama literatūros analizė ir statistinis matematinis modelis su palyginamąja analize. Tiriamajame darbe modeliuojama situacija, kai prie jau esančių tiriamojo objekto instaliuotų atsinaujinančių energijos šaltinių pridedamas energijos kaupiklis, o taip pat pritaikomas dinaminės kainos tarifas. Atlikta literatūros analizė parodė, kad tinkamiausias energijos kaupiklis tiriamajam objektui yra ličio jonų baterijos. Pritaikius energijos kaupiklį ir dinaminės elektros kainos tarifą Kauno technologijos universiteto atsinaujinančių šaltinių sistemai, galima daryti išvadą, kad šie pakeitimai leidžia sumažinti elektros energijos sąskaitas. Atlikus kaštų naudų analizę, nustatyta, kad abi priemonės kaip vientisas projektas turi patrauklius ekonominius rodiklius investicijoms. Vertinant šias priemones atskirai, galima pamatyti, kad energijos kaupikliai, priešingai nei dinaminės kainos priemonė, kol kas yra finansiškai neefektyvi. Įvertinus po Švarios energijos paketo priimtų priemonių galimybes ateityje, apibendrinta, kad dinaminės kainos ateityje galėtų svyruoti didesne amplitude, nei kainos, kurios pasirinktos modeliuojant situaciją. Elektros energijos kaupikliai (ličio jonų baterijos) sukuria didelę ekonominę naudą, kas ateityje leistų svarstyti valstybės paramos modelį ir taip paskatinti vartotojus įsodiegti energijos kaupiklius. Taip pat ličio jonų baterijų kaina prognozuojama, kad mažės iki 2050 metų, kas irgi paskatins jų integraciją į Lietuvos elektros energetikos rinką.

Ragelis, Titas. Analysis of the Emergence of New Products and Services After the Adoption of the Clean Energy Package and Their Impact on the Lithuanian Electricity Market. Master's Final Degree Project / supervisor lect. dr. Aistija Vaišnorienė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Clean Energy Package; Energy Storage; Dynamic Price; Hybrid Power Plant.

Kaunas, 2021. 50 pages.

### **Summary**

Generation of renewable resources in Lithuania is growing unstoppably, but at the same time this process causes its problems. Integration of renewable sources, balance of electricity flows and reliability of systems are only a few of many problems caused by renewable sources. The Clean Energy Package accepted by Europe Union lets to regulate the energy sector laws once again, while creating new technology areas. The purpose of this work is to analyze dynamic price and hybrid power plants impact to Lithuania's electricity market. Renewable energy system of Kaunas University of technology was chosen as a research object. Firstly, the aim of this work is to clarify new possible applications of measures to Lithuanian electricity market, that now are possible after accepted Clean Energy Package. Second aim is to examine the technical parameters and application possibilities of different energy storage devices. Third aim is to apply energy storage system and dynamic price to the system of renewable sources of Kaunas University of Technology and to analyze their impact on electricity bills. Also, to calculate the economic indicators as of the new measures that are implemented as a single project, and to perform a cost-benefit analysis. And, of course, to evaluate the future possibilities of measures, that were adopted after the Clean Energy Package. In this work, in order to solve the set tasks, a literature analysis and a statistical mathematical model with comparative analysis are performed. The research work models a situation when an energy storage system is added to the already existing renewable energy sources installed in the research object, and also a dynamic price tariff is applied. The literature analysis showed that the most suitable energy storage for the studied object is lithium-ion batteries. After applying the energy storage and the dynamic electricity price tariff to the system of renewable sources of Kaunas University of Technology, it can be concluded that both technologies allow to reduce electricity bills. A cost-benefit analysis has shown that both measures, as a single project, have suitable economic performance for investment. Evaluating these measures separately, energy storages, in contrast to the dynamic price measure, is so far financially inefficient. After having evaluated the future possibilities of the measures adopted under the Clean Energy Package, it is concluded that dynamic prices could fluctuate in a larger amplitude than the prices chosen to model the situation. Electricity storage devices (lithium-ion batteries) cause significant economic benefits, which would allow to consider the country's support model and thus encourage consumers to install energy storage devices in the future. Also, the price of lithium-ion batteries is forecast to decrease by 2050, which will also encourage their integration into the electricity market in Lithuania.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Literatūros analizė.....</b>	<b>11</b>
1.1. Elektros energijos šaltiniai .....	11
1.1.1. Atsinaujinantys šaltiniai .....	11
1.1.2. Išskastinį kurą naudojančios elektrinės.....	13
1.1.3. Energijos kaupikliai.....	14
1.2. Lietuvos elektros energetikos sistema .....	18
1.2.1. Lietuvos elektros energetikos sistemos pagrindai .....	18
1.2.2. Lietuvos energetikos sistemos uždaviniai .....	19
1.2.3. ES tikslai ir įsipareigojimai .....	22
1.3. Hibridinės elektrinės.....	24
1.3.1. Hibridinių elektrinių tipai .....	24
1.3.2. Mikro tinklai.....	25
1.3.3. Elektrinė elektrinėje.....	27
<b>2. Energijos kaupiklio pritaikomo KTU sistemai tyrimas.....</b>	<b>29</b>
2.1. Tyrimo metodika .....	29
2.2. Tiriamasis objektas .....	29
2.3. Tyrimo duomenys.....	30
2.3.1. Atskaitinis laikotarpis.....	30
2.3.2. Įvesties duomenys .....	30
2.3.3. Elektros energijos kaina .....	31
2.4. Tyrimo rezultatai .....	32
2.4.1. Elektros energijos sąskaitos, neįvertinant jokių papildomų efektyvinimo priemonių .....	32
2.4.2. Elektros energijos sąskaitos, įvertinant tik dinaminę elektros energijos kainą .....	33
2.4.3. Efektyviausias elektros energijos kaupiklio ir keitiklio derinys.....	35
2.4.4. Elektros energijos sąskaitos, įvertinant dinaminę kainą ir elektros energijos kaupiklį.....	38
2.4.5. Visų įdiegtų efektyvinimo priemonių kaštų naudos analizė.....	39
<b>3. Naujų produktų ir paslaugų atsiradimo po Švarios energijos paketo galimybės ateityje..</b>	<b>42</b>
3.1. Energijos kaupiklių galimybės .....	42
3.1.1. Energijos kaupiklio kaina .....	42
3.1.2. Alternatyvios energijos kaupiklio naudos .....	43
3.2. Dinaminės kainos perspektyvos .....	44
<b>Išvados .....</b>	<b>47</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>48</b>

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skirtingų baterijų tipų techninių ir ekonominių rodiklių palyginimas.....	18
2 lentelė. Esamos situacijos metinės sąskaitos už elektros energiją.....	33
3 lentelė. Elektros energijos sąskaitos, įvertinant pagal dinaminį elektros energijos tarifą.....	34
4 lentelė. Energijos kaupiklio ekonominio efektyvumo jautrumo analizė .....	37
5 lentelė. Elektros energijos sąskaitos įvertinant dinaminę kainą ir elektros energijos kaupiklį. ....	38

## Paveikslų sąrašas

1 pav. Atsinaujinančių šaltinių generacija pasaulyje TWh nuo 1999 iki 2019 metų [1].....	11
2 pav. Vėjo energetikos pagrindinių ekonominių rodiklių raida ir prognozė iki 2020 m. [4].....	12
3 pav. Atsinaujinančių šaltinių instaliuota galia Lietuvoje 2020 metais [7] .....	13
4 pav. Naftos rezervai pasaulyje 2008-2017 metais [11] .....	14
5 pav. Pasaulio energijos kaupiklių GWh paklausos prognozė iki 2030 metų [15].....	16
6 pav. Numatomas baterijų kiekis Europos Sąjungos rinkoje tonomis [16] .....	16
7 pav. Energijos kaupimų metodai priklausomai nuo sistemos galios [18] .....	17
8 pav. Vidutinis paklausos valdymo potencialas vienam žmogui [19] .....	20
9 pav. Valandinis kontraktas palygintas su vidutine mėnesio kaina 2 mėnesių laikotarpyje 2016 metais [22] .....	21
10 pav. Procentinė atsinaujinančių šaltinių dalis bendrame energijos suvartojime, 2018 m. [25]....	23
11 pav. ES BVP pokytis (realusis), ES išmetamų ŠESD kiekis ir ES ekonomikos ŠESD intensyvumas [26] .....	23
12 pav. Saulės ir vėjo elektrinių vienos dienos gamybos grafikas [27] .....	26
13 pav. Tiriamasis objektas. KTU pastatai Studentų gatvėje 48 ir 48A. KTU archyvo nuotr. ....	30
14 pav. Sudaryta dinaminė elektros energijos kaina 2020 metams (vidutinė metinė) palyginta su vienos laiko zonos tarifo kaina (2020 m. II pusr.).....	32
15 pav. Tiriamajam objektui pritaikytų efektyvinimo priemonių kaštų naudos analizė .....	40
16 pav. Jautrumo analizė NPV priklausomai nuo diskonto normos .....	41
17 pav. Jautrumo analizė NPV priklausomai nuo energijos kaupiklių sistemos investicinės ir eksploatacinės kainos .....	43
18 pav. Vidutinės elektros energijos kainos struktūra 2021 m., proc. [41].....	44



## **Ivadas**

2019 m. birželio 14 d. Europos Sąjungoje buvo priimtas ir paskelbtas Švarios energijos paketas (angl. Clean Energy Package), kuriuo keliami trys pagrindiniai tikslai iki 2030 metų:

1. užtikrinti energijos vartojimo efektyvumą;
2. Europos Sąjungos vaidmuo atsinaujinančių energijos išteklių srityje, kaip pasaulinis lyderis;
3. sudaryti vartotojams tinkamas sąlygas aktyviai dalyvauti energetikos rinkose.

Visų pirma, Švarios energijos paketas leidžia vartotojams tapti aktyviais energetikos rinkos dalyviais. Vartotojams sudaroma galimybė tapti energijos gamintojais (angl. prosumer). Taip pat, galės burtis į energijos bendrijas (angl. citizen energy communities), stebėti savo elektros energijos vartojimo įpročius ir dalyvauti energijos paklausos valdyme (angl. demand side response). Dėl atsiradusios galimybės rinktis dinamiškas kainų sutartis (angl. dynamic electricity price contract), Švarios energijos paketas leis vartotojams naudoti išmaniają apskaitos sistemą (angl. smart metering systems), greičiau pasirinkti nepriklausomą elektros energijos tiekėją.

Atsinaujinančių šaltinių plėtra energetikos sektoriuje sparčiai auga visame pasaulyje. Siekiant sumažinti išmetamų teršalų kiekį ir sumažinti globalinį atšilimą pasaulyje stengiamasi kuo sparčiau integruoti saulės ir vėjo elektrines, kurios turi didelius energijos potencialo resursus. Lietuva iki 2050 metų tikisi, kad iš atsinaujinančių šaltinių gamins 80 % visos elektros energijos. Besiplečiantis atsinaujinančios energetikos sektorius kelia naujų uždavinių, kuriuos privaloma spręsti jau dabar, siekiant išvengti krizių energetikoje.

Energijos srautų efektyvumo problema iškilis, siekiant suvaldyti neprognozuojamai generuojamą atsinaujinančią energiją. Elektros rinkai bus reikalingas labai jautrus lankstumas reaguojantis į pasikeitimus sistemoje, todėl eksporto ir importo valdymas, o taip pat ir vidinių srautų valdymas bus vienas iš probleminių uždavinių siekiant efektyvumo perduodant ir skirstant energiją. Kitas svarbus uždavinys sistemos patikimumo užtikrinimas. Atsinaujinantys šaltiniai gaminantys nepastovią elektros energiją yra neprognozuojami, todėl siekiant užtikrinti patikimą elektros energiją, privaloma užtikrinti reikiamą kiekį rezervo tam, kad minimaliai būtų sumažinti vartotojų atjungimų rodikliai. Netikėtų atsijungimų metu ar sumažėjus elektros gamybai sistemos rezervai privalo kompensuoti atsinaujinančius šaltinius.

Elektros energijos sistemos rezervas gali būti užtikrinamas elektros energijos kaupikliais. Energijos kaupiklių yra įvairių, todėl būtina žinoti kaupiklių technines ypatybes norint tinkamai juos pritaikyti kiekvienai generavimo sistemai. Prijungus energijos kaupiklį į generavimo sistemą kartu su atsinaujinančiu energijos generatoriumi gaunama hibridinė elektrinė arba kombinuota generacija, kuri turėtų padidinti elektros energijos tiekimo patikimumą ir efektyvų atsinaujinančių šaltinių išnaudojimą.

### **Darbo tikslas –**

ištirti hibridinių elektrinių ir dinaminės elektros kainos įtaką Lietuvos elektros rinkai.

### **Tiriamas objektas –**

Kauno technologijos universiteto atsinaujinančių šaltinių sistema.

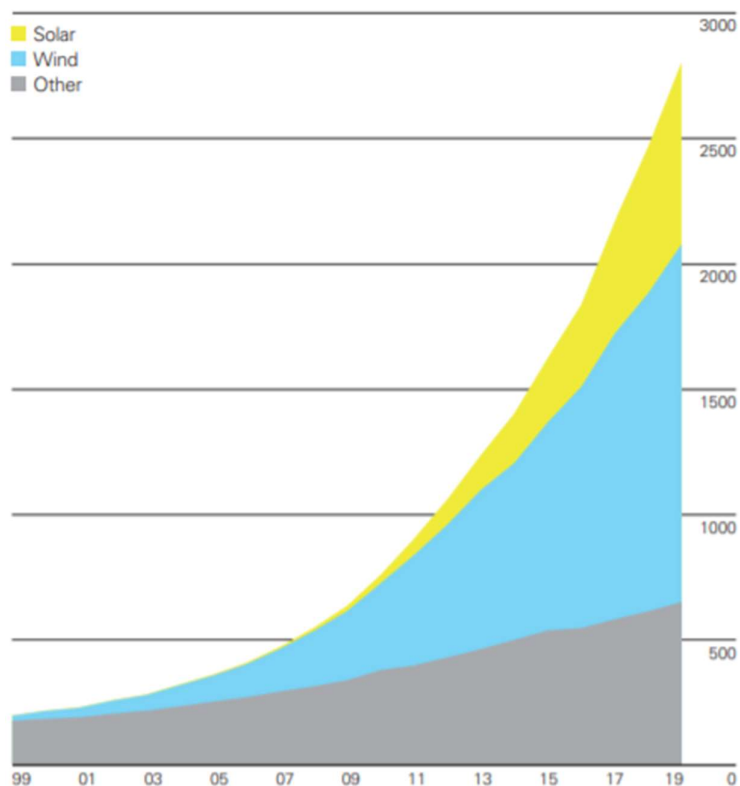
### **Darbo uždaviniai:**

1. išsiaiškinti naujų po Švarios energijos paketo priimtų priemonių pritaikymo galimybes Lietuvos elektros rinkai;
2. išnagrinėti skirtingų energijos kaupiklių techninius parametrus ir panaudojimo galimybes;
3. pritaikyti energijos kaupiklį ir dinaminės elektros kainos tarifą Kauno technologijos universiteto atsinaujinančių šaltinių sistemai ir išanalizuoti jų įtaką sąskaitoms už elektros energiją;
4. paskaičiuoti naujų įdiegiamų priemonių kaip vientiso projekto ekonominius rodiklius ir atlikti kaštų naudos analizę;
5. įvertinti po Švarios energijos paketo priimtų priemonių galimybes ateityje.

## 1. Literatūros analizė

### 1.1. Elektros energijos šaltiniai

Šiais laikais yra daugybė galimybių išgauti elektros energiją. Nuo 1882 metų, kai elektrą gaminti pradėjo pirmosios garu varomos elektrinės, praėjo daugiau nei 140 metų. Per šį laikotarpį požiūris į elektros gamybą pasikeitė. Šiandien globalinio atšilimo, ekologijos ir globalizacijos kontekste mums svarbiausia ne be tai, kaip mes užtikrinsim elektros energiją vartotojui. Dabar yra svarbiau kaip užtikrinti švarią ir efektyvią elektros energiją. Tai paskatino elektros gamybą iš atsinaujinančių šaltinių. Vėjo, saulės, vandens, biomasės ir biodujų varomos elektrinės ypač paplito 21 amžiuje (žr. 1 pav.). Iš dabartinių tendencijų, numatomas ir tolimesnis jų plitimas ateityje.



1 pav. Atsinaujinančių šaltinių generacija pasaulyje TWh nuo 1999 iki 2019 metų [1]

#### 1.1.1. Atsinaujinantys šaltiniai

Atsinaujinantys šaltiniai generuoja elektros energiją iš atsinaujinančios energijos. Atsinaujinanti energija yra tokia energija, kurią galima naudoti neišsenkančiais resursais. Kaip, pavyzdžiui, saulės energija, vėjo energija, vandens energija, biomasės energija, geoterminė energija ir taip toliau. Atsinaujinančių energijos šaltinių generuoja elektros energiją, kuri beveik arba visiškai neprisideda prie oro užterštumo ir šiltnamio efekto. Atsinaujinančios energijos sistemų plėtra leis išspręsti svarbiausias užduotis, tokias kaip energijos tiekimo patikimumo ir organinio kuro ekonomijos gerinimas, vietos energijos ir vandens tiekimo problemų sprendimas, vietos gyventojų gyvenimo lygio ir užimtumo lygio gerinimas, tvarios atokių regionų dykumos ir kalnų zonose plėtos užtikrinimas, šalių įsipareigojimų įgyvendinant tarptautinius susitarimus dėl aplinkos apsaugos [2].

Požiūris į saulės energetiką kiekvienais metais gerėja, o gyventojai vis daugiau domisi saulės elektrinių sistemomis bei jų teikiama nauda. Tačiau reikia paminėti, kad spartesnę plėtrą stabdo santykinai didelė šių sistemų kaina [3] ir ilgas atsipirkimo laikas. Nevertinant valstybės paramos, vidutinis saulės sistemų atsipirkimo laikas daugiabutyje yra apie 10 metų ir priklauso nuo daugelio veiksnių – įrengtos sistemos tipo, centralizuotai tiekiamos elektros kainos, tinkamos sistemos eksploatacijos [4].

Vėjo energetikos projektų ekonominį efektyvumą nusako pagamintos elektros energijos gamybos ribiniai kaštai, kurie yra kintantis dydis. Juos veikia keletas svarbiausių parametru: vėjo parametrai elektrinės įrengimo vietoje, pradinio kapitalo dydis reikalingas vėjo elektrinei įrengti, skolinto kapitalo palūkanos, vėjo elektrinės efektyvumas, elektrinės eksploatacijos kaštai. Investicijos vėjo elektrinei įsigyti sudaro apie 80 % visos projekto investicijos. Vėjo energijos lyginamųjų kaštų sumažėjimui esminės įtakos turi spartus kapitalinių išlaidų elektrinių gamybai mažėjimas per pastaruosius dešimtmečius. Per 10 metų šie kaštai sumažėjo 50 % [4].

Metai	Investicijos, €/kW	Energijos kaštai, EURct/kWh
2003	823	3,88
2005	746	3,61
2010	623	2,93
2020	497	2,34

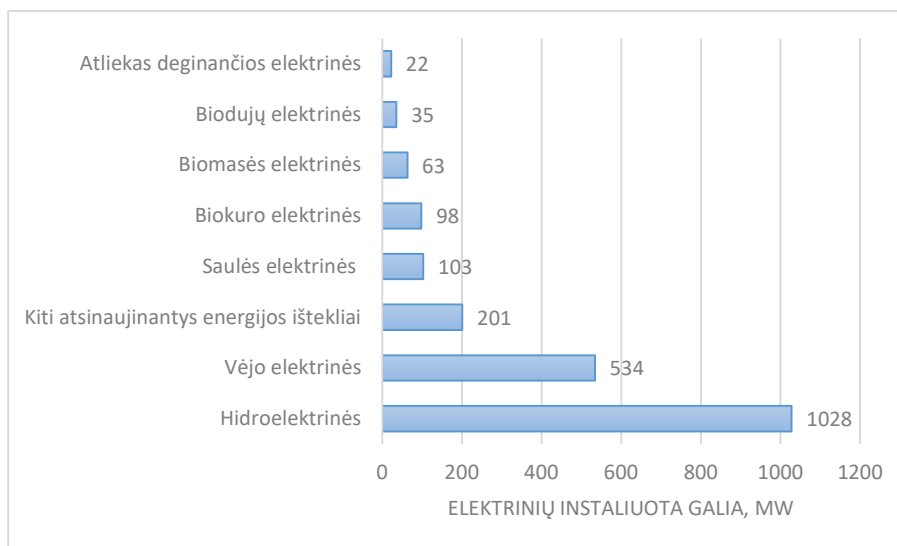
2 pav. Vėjo energetikos pagrindinių ekonominių rodiklių raida ir prognozė iki 2020 m. [4]

Esminė atsinaujinančių šaltinių problema yra jų nenuspėjami generavimo srautai [5]. Nešviečianti saulė netikėtai gali sumažinti fotovoltinių modulių generuojamą elektros energiją. Minimalus vėjas arba per stiprus uraganinis vėjas sustabdo vėjo elektrinių generaciją. Didžiuliai lietūs ar ilgos sausros keičia hidro elektrinių planuojamus generavimo srautus. Iškastiniu kuro deginimu paremtos elektrinės gali dirbti visą parą ir generuoti tarkim 100 MW galią, taip aprūpindamos saugiai daugybę vartotojų. Paėmus 100 MW galios bet kurią atsinaujinantį šaltinį to padaryti nebūtų įmanoma. Nes atsinaujinantys šaltiniai gamina elektros energija nevaldomai. Jeigu vieną minutę vartotojai būtų aprūpinti elektros energija, kitą minutę užėjus debesiai ar nustojus pūsti vėjui, elektros vartotojai ar dalis jų liktų be elektros.

Taip pat kaip viena iš problemų yra staigūs vėjo elektrinių atsijunginėjimai. Kiekviena vėjo elektrinė yra suprojektuota taip, kad prie tam tikros vėjo greičio ribos ji atsijungtų iš tinklo. Ši problema yra labai skaudi elektros tinklo balansavimui. Vėjo elektrinė prieš papučiant per stipriam vėjui dažniausiai generuoja maksimalią galią. Pasiekus maksimalų vėjo greitį labai greitai iš maksimalios generavimo galios pasikeičia į minimalią generavimo galią. Tokie atsijungimai labai stipriai sutrikdo elektros sistemos balansą, kuomet bandoma išlaikyti balansą tarp generuojamos elektros energijos ir apkrovos [6].

Lietuvoje šiuo metu instaliuoti 2084 MW galios atsinaujinančios energijos šaltiniai (žr. 3 pav.), kurie gamina ir tiekia elektros energiją Lietuvos elektros sistemai. Tiesa, 900 MW iš jų priklauso Kruonio hidro akumuliacinei elektrinei, kuri negali užtikrinti nuolatinės elektros gamybos, tačiau atlieka elektros energijos kaupimo funkciją. Svarbiausia, kad atsinaujinančių šaltinių plėtra Lietuvoje su šiais skaičiais nestoja. Kiekvienai metais yra skiriama dotacijos saulės elektrinių įrengimui. Iš viso Energetikos ministerija 2019-2022 metų laikotarpiui planuoja skirti 16 mln. eurų. Vėjo elektrinių

įrengtąją galią žadama didinti 500 MW skiriant aukciono būdu skatinamuosius tarifus. Dėl mažo kalnuotumo ir mažo sraunumo upių vandens elektrinių skaičius ir instaliuota galia neturėtų keistis. Vandens energijos galimi resursai yra išnaudoti ir ateityje neplanuojami nauji projektai.



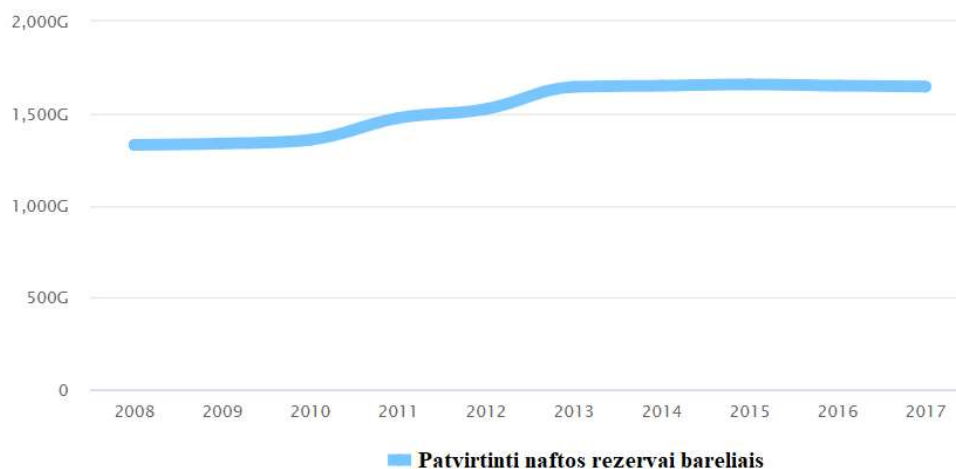
3 pav. Atsinaujinančių šaltinių instaliuota galia Lietuvoje 2020 metais [7]

### 1.1.2. Iškastinį kurą naudojančios elektrinės

Iškastinį kurą naudojančios elektrinės yra populiariausios pasaulyje. 2017 metų duomenimis iškastiniu kuru generuojančių elektrinių pasaulyje buvo daugiau nei 65 % [8]. Šios elektrinės gamina elektros energiją garo turbinomis. Garui pakelti iki reikalingos temperatūros reikalingas didelis kiekis šilumos. Ši šiluma gaunama deginant neatsinaujinančius arba labai ilgai atsinaujinančius žemės resursus, tokius kaip anglis, naftos produktai ar gamtinės dujos. Iškastinį kurą naudojančios elektrinės sukelia problemas, kurios skatina visą pasaulį judėti švarios energetikos kryptimi.

Atominės elektrinės taip pat gali būti priskirtos prie iškastiniu kuru varomų elektrinių. Nors Europoje ir siekiama atsisakyti šitų elektros energijos generavimo sistemų, greitu metu to padaryti nepavyks. Nuo 2006 metų iki 2018 metų atominių elektrinių generuojama galia Europoje sumažėjo 16,7 %, tačiau atominės elektrinės vis dar yra populiarios Europoje. 2018 metais net 28 % visos pagamintos elektros energijos buvo iš atominių kuru varomų elektrinių [9]. Europoje pagal pagamintos energijos kiekį iš atominių elektrinių pirmauja Prancūzijos valstybė.

Iškastinis kuras turi dvi dideles problemas. Pirmoji jų, tai limituotas kuro rezervas žemėje. Galima teigti, kad tiek nafta, anglis ar dujos yra atsinaujinantys resursai, tačiau jiems atsinaujinti reikia tūkstančių ar dešimčių tūkstančių metų. Dėl augančių pasaulio poreikių naftos gavyba sparčiai išaugo. Jeigu 2000 metais pasaulio poreikiams patenkinti reikėjo apie 3600 mln. tonų, tai šiandieninis pasaulis reikalauja daugiau nei 4500 mln. tonų naftos kasmet [10]. Žiūrint į naftos resursus (žr. 4 pav.), galima teigti, kad naftos resursai auga, nes kiekvienais metais atrandami vis nauji naftos telkiniai. Tačiau reikia paminėti, kad naujų telkinių atrandama per mažai, o netolimoje ateityje kreivė pradės kristi žemyn, nes esami telkiniai išseks. Pasaulio metinis naftos poreikis yra didesnis ir stipriai lenkia atrastus naujus telkinius. Paskaičiuota, kad naftos rezervo mūsų planeta turi apie 47 metams [11].



4 pav. Naftos rezervai pasaulyje 2008-2017 metais [11]

Nors ir yra teigiama, kad anglies resursus mes turime labai didelius, anglis turi kitą problemą – oro užterštumą. Vienas sudegintas anglies kilogramas į aplinką paskleidžia 2,86 kilogramo anglies dioksido [12]. Anglies dioksidas yra pagrindinis elementas sukeliantis šiltnamio efektą, dėl kurio išsivysto pasaulyje šiuo metu labai aktuali tapęs globalinis atšilimas. Be anglies dioksido į aplinką išskiriami azoto ir sieros oksidai. Taip pat su dūmais iš kamino išeina daugybė nesudegusių cheminių produktų, kurie kenkia žmonių sveikatai ir ekosistemai. Kinijoje anglimi kūrenamos elektrinės yra vienas iš pagrindinių azoto oksidų šaltinis. Šioje šalyje esančios anglį deginančios elektrinės sudegindamos vieną kilogramą anglies į aplinką išskiria nuo 1,81 iki 6,14 gramo azoto oksidų. Išlėkę azoto ir sieros oksidai iš elektrinės kamino gali sukelti vadinamąjį rūgštųjų liūtų, kuris lietaus ar sniego pavidalu iškrenta net ir toli nuo elektrinės, priklausomai nuo vėjo ir kitų oro sąlygų. Rūgštusis lietus užteršia dirvožemį ir paskatina medžiagų eroziją.

Nors ir iškastiniu kuru varomos elektrinės ateityje gali nebeturėti kuro, o savo užterštumu kenkia visai ekosistemai, elektros energetikos sistema šiuo metu be jų apsieiti negali. Šios elektrinės yra svarbi elektros energetikos sistemos dalis, kuri užtikrina elektros gamybos bazę. Iškastiniu kuru varomų elektrinių veikimo principą galima suprasti paprastai. Deginant kurą yra kaitinamas vanduo, kurio garas suka garo turbiną, o turbina suka elektros generatorių. Tam kad veiktų ši elektrinė, svarbiausia turėti kuro, kurį būtų galima deginti ir nesvarbu ar tai bus anglis, gamtinės dujos ar mazutas. Remiantis tuo, galima teigti, kad tokios elektrinės gali dirbti net ir visą parą nesustodamos. Atlikus kuro dozavimo nustatymus elektrinės išeinančią galią galima stabilizuoti ir nepertraukiamai užtikrinti vienodą. Būtent tuo yra patrauklios šios elektrinės energetikos sistemoje ir turi pranašumų prieš atsinaujinančius šaltinius, kurių galia dienos eigoje yra neprognazuojama.

### 1.1.3. Energijos kaupikliai

Energijos kaupiklių pagrindinė funkcija yra kaupti savyje perteklinę energiją. Energijai sukaupti yra daugybė galimybių. Kad pasirinktume energijos kaupiklį būtina atsižvelgti į įrengimo kaštus, galią ir lankstumą. Šiuo metu pagrindinėmis elektros energijos kaupimo technologijomis yra laikomos šios [13]:

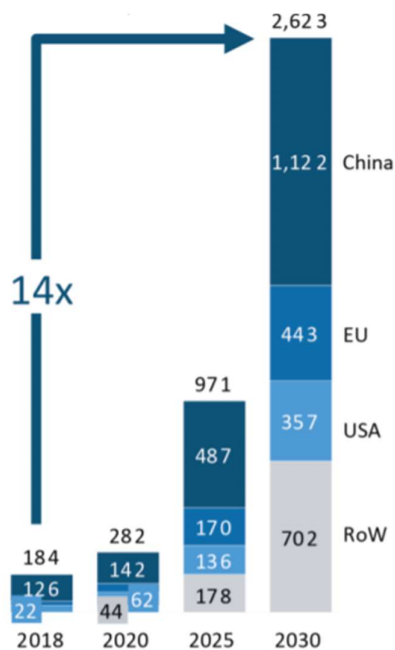
- hidroakumuliacinės,
- suspausto oro,

- įvairių tipų baterijų (akumuliatorių),
- vandenilio,
- superkondensatorių,
- magnetinės energijos superlaidininkuose,
- regeneracinės elektrocheminės,
- smagatinės.

Elektros energetikos sistemose hidroakumuliacinės elektrinės naudojamos galiai rezervuoti ir balansuoti, dažniui stabilizuoti ir taip palaikyti visos sistemos stabilumą. Ištikus avarijai kurioje nors svarbioje energetikos sistemos elektrinėje, jeigu viršutinis baseinas užpildytas, HAE kurį laiką gali patenkinti sistemoje esančių energijos vartotojų poreikius. Tokią didelės galios ir didelės energijos talpos kaupyklą turi ir Lietuva. Ji įrengta prie Kauno marių Kruonyje [14]. Šios elektrinės maksimali galia yra 900 MW.

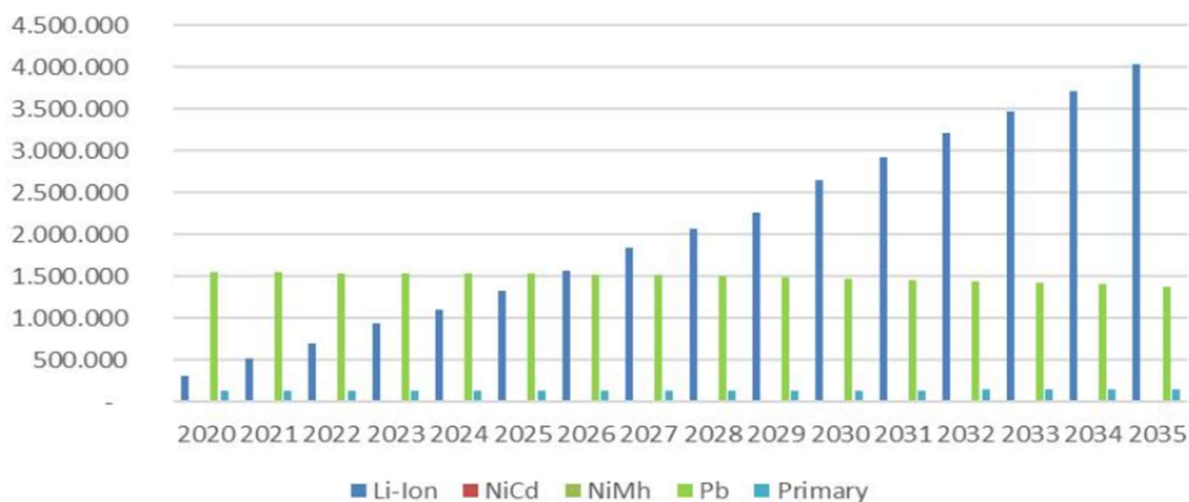
Pagrindinis anksčiau statytų HAE trūkumas yra tas, kad jos į elektros tinklą atiduodamą galią negali reguliuoti tolygiai, net ir su aukštu hidroagregatų naudingo veikimo koeficientu elektros generavimo režime. Todėl jos negali efektyviai dalyvauti jautriuose galių balansavimo ir rezervavimo energetikos sistemos procesuose. Pasaulyje kuriami ir jau naudojami plačiose ribose švelniai reguliuojami hidroagregatai, dirbantys su geresniu naudingo veikimo koeficientu visame jų darbo intervale [13].

Elektros energijos kaupiklių įrengimas energetikos sistemoje pasidaro aktualus tuomet, kai atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių elektrinių (vėjo ir saulės) skverbtis pagal suvartojamąją energiją viršija 15-20 %. Jau netolimoje ateityje įvairių tipų elektros energijos kaupikliai bus neatskiriama išmaniųjų elektros tinklų (angl. smart grid) dalis (žr. 5 pav.). Galių balansavimui, be energijos kaupiklių, bus naudojamas visas kompleksas priemonių – daugiafunkciniai elektros skaitikliai (angl. smart meters), informacinės ir ryšių technologijos bei naujausios šios įrangos valdymo programos. Jos tarnaus tam, kad elektros energijos tiekimas būtų patikimas, energiją bei aplinką tausojantis ir ekonomiškai efektyvus. Šiomis priemonėmis bus pasiektas didesnis elektros tinklo lankstumas energijos vartotojų poreikių atžvilgiu ir bus jautriau reaguojama į galimus elektros gamintojų tiekiamos energijos galios svyravimus. Elektros tinklas bus lengvai prieinamas visiems energijos vartotojams bei energijos gamintojams, o ypač daugybei mažųjų elektrinių [13].



5 pav. Pasaulio energijos kaupiklių GWh paklausos prognozė iki 2030 metų [15]

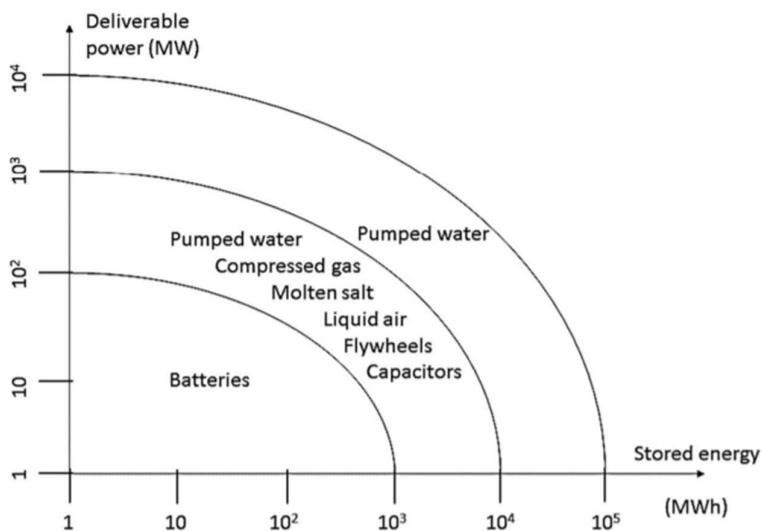
Vienos iš brangiausių energijos kaupimo technologijų šiuo metu yra energijos kaupimas baterijose (angliškuose informacijos šaltiniuose akumulatoriai vadinami įkraunamomis baterijomis – rechargeable batteries). Be senai žinomų švino rūgštinių baterijų energetikoje jau pradėtos naudoti ličio-jonų (Li-jonų), natrio sieros (NaS), nikelio-kadmio (NiCd), nikelio-metalų hidridų (NiMH) ir kitos baterijos. Laikoma, kad baterinių energijos kaupiklių technologijos jau yra sukurtos, jos yra pakankamai brandžios ir jų galima išigyti rinkoje (žr. 6 pav.). Iš baterijų sudaryti didelės įkrovos ir galios kaupikliai energetikoje naudojami galios kokybei gerinti, atsinaujinančiosios energijos elektrinėms rezervuoti, apkrovai išlyginti, energijos perdavimo stabilumui palaikyti, pikinei energijai generuoti. Jie gali būti naudojami įvairiuose elektros energijos tiekimo tinklo lygmenyse [13].



6 pav. Numatomas baterijų kiekis Europos Sąjungos rinkoje tonomis [16]



Akumulatoriniai kaupikliai šiuo metu efektyviai išnaudojami mažose elektros energijos gavybos sistemose. Tačiau problema yra tame, kad šie kaupikliai negali taip efektyviai veikti didelės galios sistemose (žr. 7 pav.). Didžiausia veikianti sistema su akumulatoriniais kaupikliais veikia Ferbankse, Aliaskoje. Ši kaupiklių sistema sveria net 1300 tonų ir gali užtikrinti nepertraukiamą 46 MW elektros tiekimą 5 minutėms, kas atitinka apie 4 MWh elektros energijos. Sistema buvo įrengta už 1600 \$/kWh kainą. Ateityje planuojama gaminti kaupiklių sistemas, kurių galios sieks nuo 40 iki 100 MWh. Norint sukaupti didelės tipinės elektrinės pagamintą elektros energiją per 24 valandas reikėtų įrengti kaupiklių sistemą, kuri galėtų sukaupti 24000 MWh elektros energijos. Atsižvelgiant į Ferbankse įrengtos kaupiklių sistemos kainas, ši sistema kainuotų apie 38 milijardus JAV dolerių, kas atitinka maždaug 20 atskirų anglimi varomų elektrinių kainai[17].



7 pav. Energijos kaupimų metodai priklausomai nuo sistemos galios [18]

Manoma, kad elektros energiją pagamintą iš atsinaujinančių šaltinių tinkamiausia kaupti bus dvejais būdais, tai yra baterijos ir hidroakumuliacinės elektrinės [18]. Atlikti tyrimai rodo, kad ličio jonų baterijos dominuos energijos kaupimo rinkoje. Šios baterijos labiausiai tiks nedideliems prietaisams (mobilūs telefonai, kompiuteriai, elektromobiliai) ir energijos iš atsinaujinančių šaltinių kaupimui buitiniams vartotojams. Švininių akumuliatorių, sieros rūgšties ir nikelio-metalų baterijos bus ir toliau naudojamos, dėl ilgametės patirties jas gaminant, tačiau ateities plėtros šioje srityje nebesimato. Vandens akumuliacija panaudojant rezervuarus su aukščio skirtumais išliks pagrindine energijos kaupimo forma dideliame energijos kiekiui sukaupti. Didelis energijos kaupimo potencialas ir nebrangūs elektrinės kaštai leidžia hidroakumuliacinei elektrinei išlikti konkurencingai.

Nepaisant to pasaulyje yra hibridinės elektrinės su įvairiomis baterijomis, pagrindinės jų: rūgštinės švino, ličio jonų ir vanadžio oksidacijos-redukcijos srauto baterijos (VRF). Baterijos iš esmės turi skirtingus parametrus. Pavyzdžiui, ilgiausią tarnavimo laiką galėtų užtikrinti VRF baterijos, deja, jų kaina yra didžiausia. Ličio jonų baterijos turi vidutinę kainą, bet jų ciklo efektyvumas yra didžiausias. Mažiausią kainą turi rūgštinės švino baterijos, tačiau jų efektyvumas yra mažas, vietos užima daug, o tarnavimo laikas pats mažiausias.

1 lentelė. Skirtingų baterijų tipų techninių ir ekonominių rodiklių palyginimas

Tipas	Rūgštinė švino	Ličio jonų	VRF
Eksplotavimo trukmė	5–15 (15)	7–20 (15)	20 (elementų), 30 (talpyklų)
Eksplotavimo ciklų skaičius	2 000 ciklų	> 5 000 ciklų	> 10 000 ciklų
Didžiausias iškrovimo gylis	30	100	90–100
Konkreči energijos vieneto kaina [€/kWh]	100–500 (200)	200–750 (350)	150–500 (350)
Konkreči galios vieneto kaina [€/kW]	100–500 (150)	250–390 (300)	400 (400)
Įkrovimo / iškrovimo efektyvumas	50–90 (80)	80–98 (90)	75–85 (80)
Savaiminis išsikrovimas per mėnesį esant 20 °C temperatūrai [%]	4	2	0
Įkrovimo koeficientas [MW/MWh]	1	1	kintantis
Elektrinės sąnaudų balansas [€/kWh]	50	50	50
Keitiklio sąnaudos [€/kW]	100	100	100

## 1.2. Lietuvos elektros energetikos sistema

### 1.2.1. Lietuvos elektros energetikos sistemos pagrindai

Lietuvos elektros energetikos sistema susideda iš gamintojų, perdavimo tinklo, skirstymo tinklo ir vartotojų.

Lietuvos elektros energijos gamyba apima šiluminės elektrinės, atliekas deginančios elektrinės, hidroelektrinės, vėjo elektrinės, biokuro elektrinės ir saulės elektrinės. 2020 m. sausio 1 d. Lietuvos elektros sistemoje elektrinių bendra įrengtoji galia sudarė 3699 MW [7]. Nepaisant to Lietuvoje pagaminta elektros energija patenkina tik 32,6 % bendro elektros energijos poreikio. Likusi elektros energija yra importuojama iš kaimyninių šalių.

Perdavimo tinklą aptarnauja perdavimo operatorius AB „Litgrid“. Perdavimo tinkle elektros energija Lietuvoje perduodama 110 kV, 330 kV ir 400 kV įtampa. 2018 metų duomenimis Lietuvos teritorijoje bendras aukštos įtampos kabelių ilgis siekė 7200 km, o transformatorių pastočių skaičius siekė 236 vienetus. Lietuvos perdavimo tinklas importuoja ar eksportuoja elektros energiją jungtimis su Baltarusija, Kaliningradu, Latvija, Lenkija (LitPol link) ir Švedija (NordBalt).

Elektros energijos skirstymo tinklu rūpinasi elektros skirstymo operatorius AB „ESO“. Bendrovė eksploatuoja daugiau nei 125 tūkst. km ilgio elektros oro ir kabelių linijomis. Skirstomajame tinkle elektros įtampa siekia nuo buitinės 0,23/0,4 kV iki 35 kV įtampos. Pagrindinė skirstomojo tinklo užduotis aprūpinti elektros vartotojus efektyvia, saugia ir patikima elektros energija.

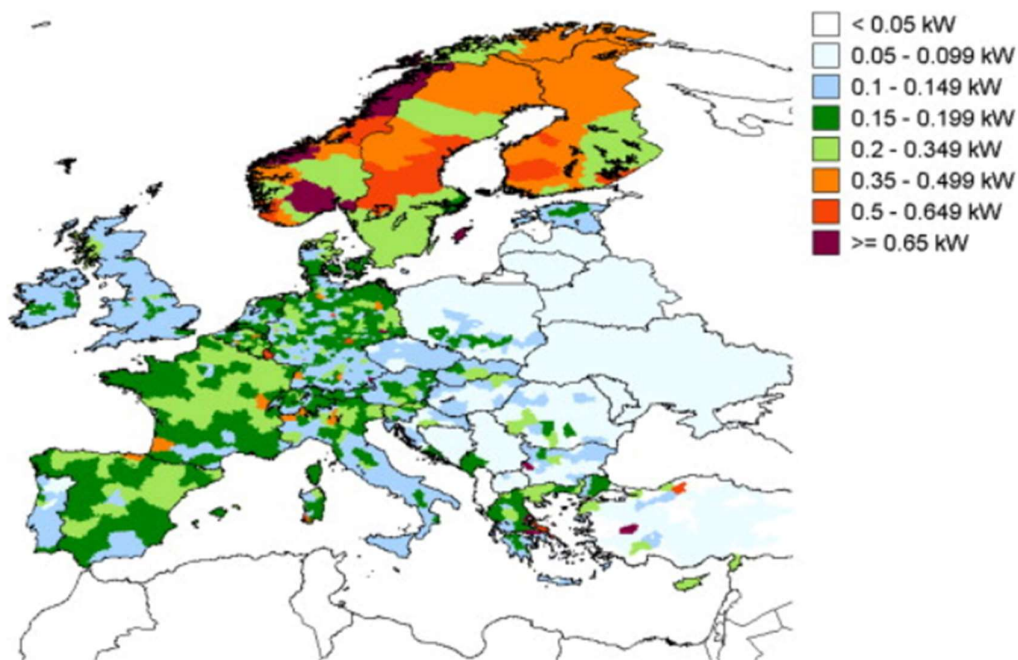
Lietuvos vartotojai 2019 metais suvartojo 11,145 TWh elektros energijos. Didžiausią dalį elektros energijos suvartoja pramonės sektorius (39 %). Išpopuliarėjus atsinaujinantiems šaltiniams vartotojus vadinti tiesiog vartotojais tampa atgyvena. Dabar vartotojai ne tik naudoja elektros energiją, bet ir patys ją gamina ir atiduoda į tinklą. Šie vartotojai vadinami gaminančiais vartotojais. Tam kad juo tapti, tereikia įsirengti elektrinę savo valdose, pasikeisti elektros energijos apskaitos įrenginį iš vienpusio į abipusį ir pasirašyti sutartis su skirstymo operatoriumi.

### 1.2.2. Lietuvos energetikos sistemos uždaviniai

Europa žengia lyderiaujančiais žingsniais siekdami sumažinti taršą ir globalinį atšilimą. Vienas iš tokių būdų yra atsisakymas taršių elektrinių, pakeičiant jas atsinaujinančiais šaltiniais. Lietuva laikosi Europos plano ir neatsilieka nuo jo. Skiriamos subsidijos saulės elektrinių įrengimui namų ūkyje, skiriami skatinamieji tarifai elektros supirkimui iš atsinaujinančių šaltinių. Atsinaujinančių šaltinių plėtra ir apskritai naujų generavimo šaltinių atsiradimas kelia naujus rūpesčius Lietuvos energetikos sistemai. Vis daugiau vartotojų tampa gaminančiais vartotojais, kurie įsirengę elektrinę savo valdose prisideda prie Lietuvos energetikos sistemos gamindami elektros energiją.

Viena iš Lietuvos elektros energetikos sistemos uždavinių yra paklausos valdymas (demand side response arba demand side management). Šis terminas atsirado vystant atsinaujinančių šaltinių plėtrą. Saulės ar vėjo elektrinės yra neprognozuojamai gaminantys elektros generatoriai. Tam, kad suvaldyti jų gaminamą galią, elektros kaupiklių gali neužtekti. Tai reiškia, jeigu negalima reguliuoti gamybos, reikia galvoti kaip reguliuoti suvartojimą. Taip ir atsiranda terminas paklausos valdymas. Energetikos sistemoje privalo atsirasti nauji elementai, kurie reaguotų į valdymo punkto siunčiamus signalus. Įsijungti, kai gamyba lenkia apkrovą ir išsijungti kai apkrova lenkia gamybą. Jeigu tai būtų vienas elementas, problemų kaip ir nebūtų, tačiau nuokrypiai nuo balanso kiekvieną kartą bus skirtingi, o tam suvaldyti reikės skirtingo skaičiaus įrenginių ar vartotojų, kurie privalės atsijungti ar įsijungti. Kaip tai suvaldyti, kokia tvarka siųsti signalus, kas turi pirmenybę ir panašios problemos vis dar lieka neišspręstos.

Paklausos valdymui reikalingi lankstūs vartotojai (flexible consumers). Lankstūs vartotojai pasiskirsto netolygiai ir atsižvelgiant į metinius vidurkius, didžiausios apkrovos sumažėja medienos ir popieriaus (7 %), plieno (9 %) ir cemento (6 %) pramonėje, taip pat komercinės ventiliacijos (15 %) ir šaldytuvų ar šaldiklių mažmeninėje prekyboje (8 %) ir privačių namų ūkių (17 %). Hans Christian Gils atliktas tyrimas parodė, kokioje situacijoje yra Europos valstybės. Analizė parodė, kad perkrovos atveju Europoje apkrovą galima sumažinti nuo 61 GW iki 172 GW. Esant didesnei generacijai už apkrovą, elektros energijos poreikį būtų galima padidinti nuo 68 GW iki 499 GW. Didžiausius paklausos valdymo rezervus turi Norvegija, Suomija, Švedija ir Liuksemburgas. Mažiausius rezervus turi silpniau ekonomiškai išsivysčiusios šalys rytų ir pietryčių Europos šalys, įskaitant ir Baltijos šalis [19].



8 pav. Vidutinis paklausos valdymo potencialas vienam žmogui [19]

Lietuvos Respublikos Seimo 2018 m. birželio 21 d. nutarimu Nr. XIII-1288 patvirtinta nauja redakcija išdėstyta Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija (NENS), kurioje numatyti pagrindiniai valstybės energetikos sektoriaus politikos tikslai, kryptys ir jų įgyvendinimo uždaviniai iki 2020 ir 2030 metų, pateikiant viziją iki 2050 metų. Kaip vieną iš pagrindinių uždavinių iki 2030 metų strategijoje numatoma atsinaujinančių energijos išteklių plėtra – daugiausia dėmesio skirti energiją gaminančių vartotojų ir vėjo energetikos plėtrai ir tolesniam atsinaujinančių energijos išteklių naudojimui centralizuotai tiekiamos šilumos gamybai diegiant efektyvią biokuro kogeneraciją ir šilumos gamybai namų ūkiuose [20]. Lietuva atsinaujinančių šaltinių plėtrai vietas tikrai dar turi. Vėjo energetikoje iki 2030 metų turėtų įvykti didžiulis proveržis, kuomet pagaliau pradės statyti vėjo elektrines Baltijos jūroje. Pagal Energetikos ministerijos užsakymu atlikta mokslininkų studiją Baltijos jūros vėjo energetikos potencialas siekia iki 3,35 GW galios. Tai palyginus yra beveik 7 kartus daugiau, nei šiuo metu instaliuota Lietuvos sausumos teritorijoje.

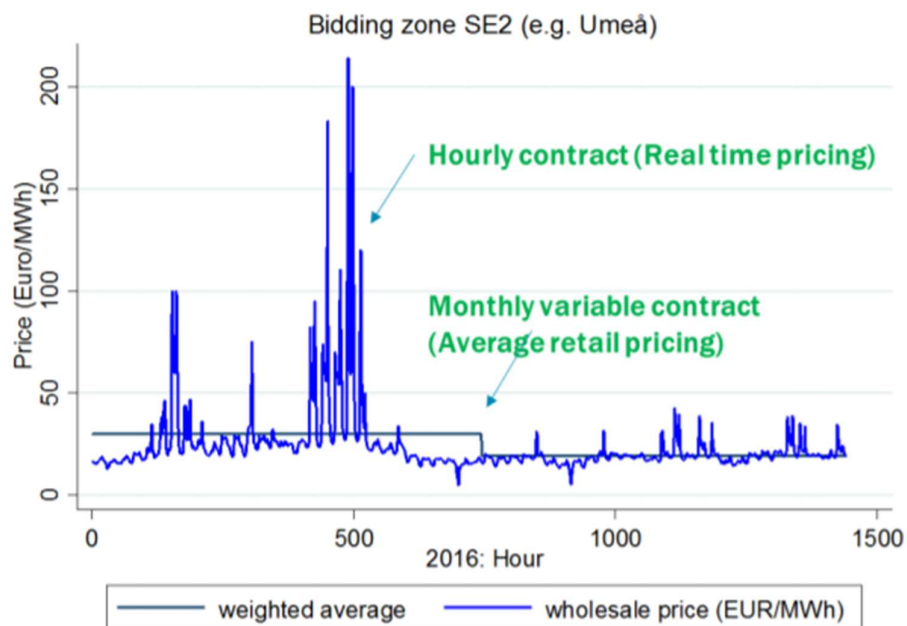
Atsinaujinančių išteklių skatinimas Lietuvoje aprašomas Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatyme. Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas skatinamas taikant nustatytą paramos schemą, kurią sudaro viena ar kelios skatinimo priemonės. Skatinimo priemonėmis yra laikoma [21]:

1. fiksuotas tarifas arba priedas prie elektros energijos kainos biržoje;
2. energijos iš atsinaujinančių energijos išteklių supirkimas;
3. atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių įrenginių prijungimo prie energetikos tinklų ar sistemų išlaidų kompensavimas;
4. energetikos tinklų ar sistemų galios ir pralaidumo ar kitų atitinkamų techninių parametru rezervavimas atsinaujinančius energijos išteklius naudojantiems įrenginiams prijungti;
5. energijos iš atsinaujinančių energijos išteklių persiuntimas pirmumo teise;

6. elektros energijos gamintojų atleidimas nuo atsakomybės už pagamintos elektros energijos balansavimą ir (ar) elektrinės gamybos pajėgumų rezervavimą skatinimo laikotarpiu;
7. parama žemės ūkio produkcijos – biokuro, biodegalų, biotepalų ir bioalyvų gamybos žaliavos – gamybai ir perdirbimui;
8. privalomo atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo energijai gaminti ir (ar) privalomo energijos iš atsinaujinančių energijos išteklių vartojimo, taip pat biodegalų naudojimo reikalavimai;
9. parama investicijoms į atsinaujinančius energijos išteklius naudojančias technologijas;
10. kitos įstatymų nustatytos lengvatos.

Paminėtina, kad pastaruju metu Europos Sąjungos politika teikia pirmenybę fiksuoto priedo (feed-in premium) prie biržos kainos atsinaujinančios energijos rėmimo būdai nei taikant fiksuotą tarifą (feed-in tariff).

Dar viena iš idėjų siekiant pagerinti paklausos valdymą yra dinaminės kainos įvedimas (dynamic price). Švedijoje jau nuo 2009 metų pradėti įrenginėti išmanūs elektros skaitikliai. Jų pagalba elektros suvartojimo duomenis galima nuskaityti kas valandą arba 15 minučių priklausomai, kaip pasirinks vartotojas. Dėl šios paslaugos, vartotojams galima pasiūlyti dinaminės kainos kontraktą, kuriame pateikiamos elektros energijos kainos kiekvienai valandai. Kitos paros kainos paskelbiamos tos paros išvakarėse. Pagal kainas vartotojas gali pasirinkti, kuomet jam geriau atlikti kai kuriuos nesvarbius darbus siekiant šiek tiek sutaupyti. Automatizacijos pagalba įmanoma sureguliuoti, kad tokie įrenginiai kaip skalbimo mašina, indaplovė ar siurblys robotas įsijungtų tik tomis valandomis, kai sistemoje yra generacijos perteklius ir elektros kaina yra maža. Lyginant valandinį planą su įprastais planais (žr. 9 pav.), dauguma vartotojų ilgesniu periodu sutaupo pinigų pasirinkę valandinį planą.



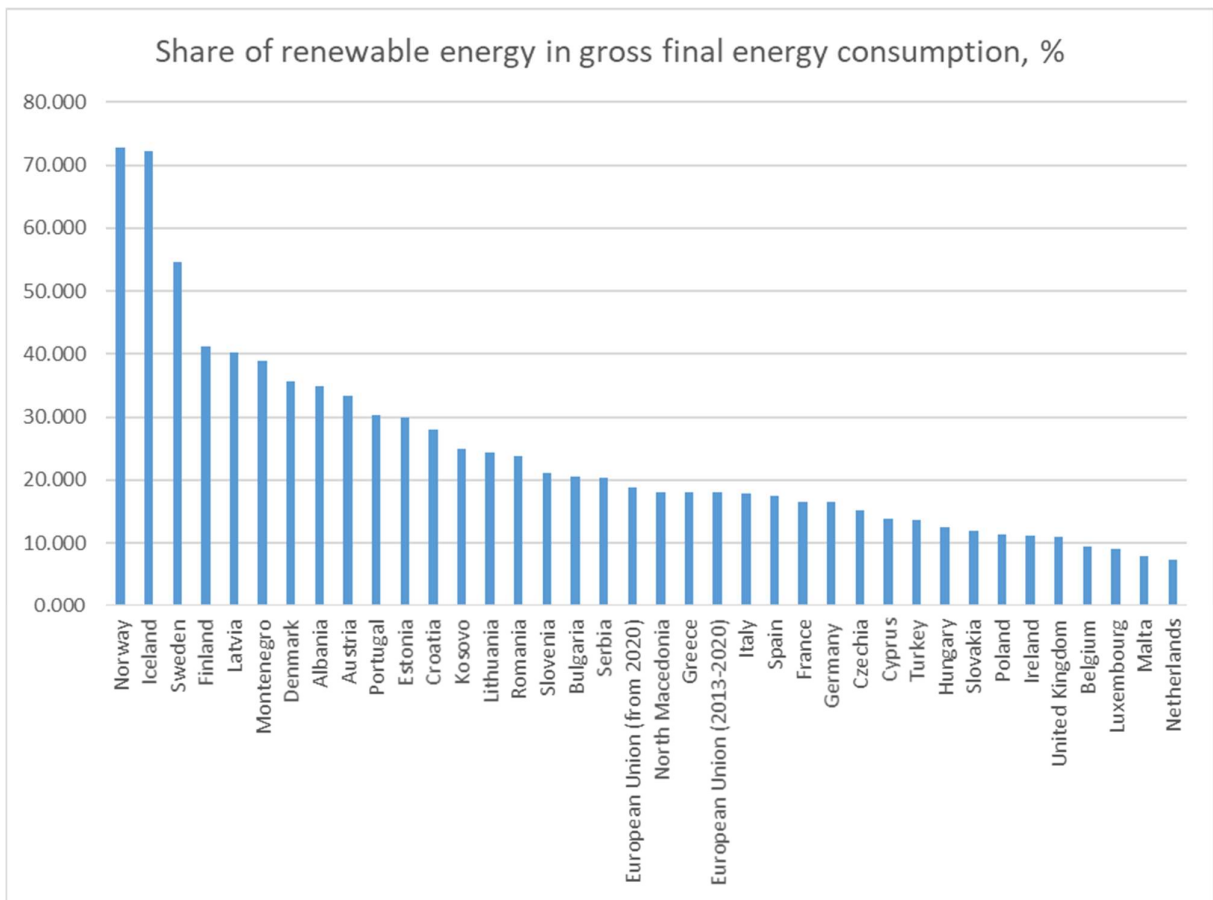
9 pav. Valandinis kontraktas palygintas su vidutine mėnesio kaina 2 mėnesių laikotarpyje 2016 metais [22]

### 1.2.3. ES tikslai ir įsipareigojimai

Europos Sąjunga deda dideles pastangas siekiant sumažinti išmetamųjų dujų kiekį ir sustabdyti globalinį atšilimą. Energetikos Sąjungos strategija, paskelbta 2015 m. vasario 25 d., kaip pagrindinis Junckerio komisijos prioritetas (2014–2019 m.), yra skirtas sukurti energetikos sąjungą, kuri ES vartotojams - namų ūkiams ir verslui - suteikia saugią, tvarią, konkurencingą ir prieinamą energiją. Europos Komisija nuo savo veiklos pradžios 2015 m. paskelbė kelis priemonių paketus ir reguliarias pažangos ataskaitas, kurios stebi šio pagrindinio prioriteto įgyvendinimą, siekdamos užtikrinti, kad būtų įgyvendinta energetikos sąjungos strategija. Energetikos sąjungos strategija numato penkias kryptis energetikoje, kaip siekiamus tikslus [23]:

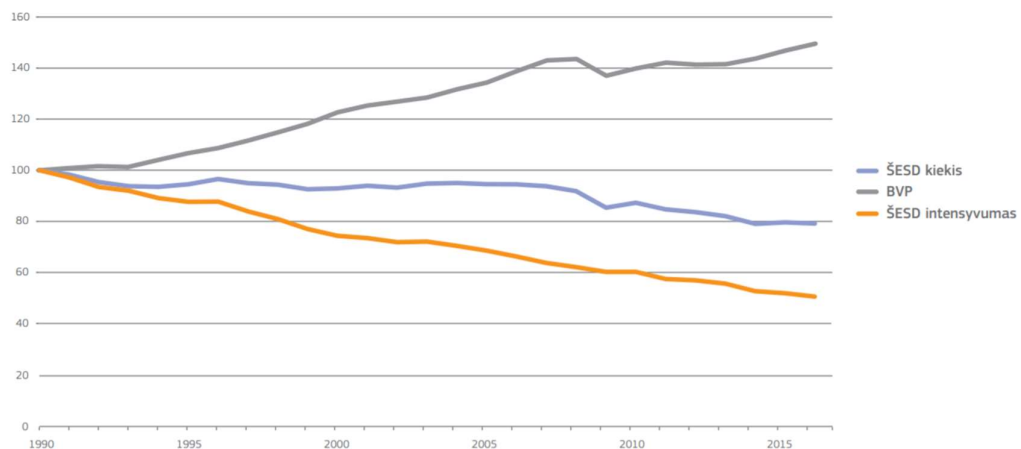
1. Energetinis saugumas. 2015 metais naudojant daugiau atsinaujinančių šaltinių ir atsisakant iškastinio kuro importo buvo sutaupyta 16 milijardų eurų. 2030 metais planuojama, kad sutaupymai sieks iki 58 milijardų eurų;
2. Rinkos integracija. Naujos technologijos ir pasiūlymai ateinantys kartu su Švarios energijos paketu leis atsinaujinančiai energetikai įsiliesti į elektros rinką tokiomis pat sąlygomis kaip ir kiti generavimo šaltiniai;
3. Energetinis efektyvumas. Atsinaujinanti energetika leis sumažinti elektros energijos suvartojimą ir padidins elektros naudojimo efektyvumą vartotojams;
4. Švari energija. Panaudojant atsinaujinančius šaltinius laikytis Paryžiaus konvencijos, kurioje numatoma iki 2030 metų sumažinti išmetamų oro teršalų, sukeliančių šiltnamio efektą, kiekį sumažinti daugiau nei 40 % palyginus su 1990 metais;
5. Inovacijos. Europai priklauso 30 % patentų, susijusių su atsinaujinančiais šaltiniais, tai skatina toliau remti mokslininkus ir kurti ateities technologijas.

Europos Sąjunga siekia energetikos plėtros išlaikant saugumą, efektyvumą, patikimumą. Todėl didžiulės viltys yra dedamos į atsinaujinančius šaltinius. Šie šaltiniai pakeistų iškastiniu kuru varomas taršias elektrines. Europos Sąjungos tikslas iki 2020 metų buvo 20 % pagamintos elektros energijos būtų iš atsinaujinančių šaltinių. Šis tikslas pagal 2018 metų duomenis dar lieka neįgyvendintas (žr. 10 pav.), tačiau tikėtina, kad jis bus įgyvendintas ir bus galima siekti tolimesnių planų. Iki 2030 metų Europos Sąjungos tikslas yra pasiekti daugiau nei 32 % iš atsinaujinančių šaltinių generuojamos energijos pagal bendrą suvartojimą. Taip pat numatoma ne tik didinti atsinaujinančius šaltinius, bet ir skatinti energijos vartojimo efektyvumą. Skatinant vartotojus taupyti Europos Sąjunga numatė energijos vartojimo efektyvumą sumažinti daugiau nei 32,5 % [24].



10 pav. Procentinė atsinaujinančių šaltinių dalis bendrame energijos suvartojime, 2018 m. [25]

ES Paryžiuje įsipareigojo iki 2030 m. išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį sumažinti bent 40 %. Europos Sąjunga siekdama sumažinti ŠESD kiekį jokia būdu nesiekia pažaboti ekonomikos. Ketvirtoji energetikos sąjungos padėties ataskaita parodė, kad ekonomikos augimas vis mažiau priklauso nuo išmetamų ŠESD kiekio ir energijos vartojimo. 1990–2017 m. ES ekonomika išaugo 58 %, o ES išmetamų ŠESD kiekis sumažėjo 22 % (žr. 11 pav.) [26].



11 pav. ES BVP pokytis (realusis), ES išmetamų ŠESD kiekis ir ES ekonomikos ŠESD intensyvumas [26]

### 1.3. Hibridinės elektrinės

Elektros gamybos įrenginius būtų galima suskirstyti į dvi grupes: valdomi ir nevaldomi. Valdamos elektrinės, tai elektros šaltiniai kurių generuojamą galią galima tiesiogiai valdyti. Pavyzdžiui, anglimi varoma elektrinė, kurią galima bet kada paleisti ar sustabdyti. Nevaldomai elektrinei būtų galima priskirti kai kuriuos atsinaujinančius šaltinius. Pavyzdžiui, vėjo ar saulės elektrinės, kurios yra nenuspėjamos ir elektros energiją generuos tik tuomet, kada pūs vėjas ar saulės spindulių neužstos debesys. Remiantis tuo, kad energetikoje visuomet privalo būti balansas tarp pagaminamos ir sunaudojamos elektros energijos, galima teigti, kad nevaldomos elektrinės sudaro rimtų kliūčių elektros balanso valdymui. Tam, kad būtų išvengta šių kliūčių, energetikos sistemoje reikalinga atrasti priemonės, kurios leistų kompensuoti elektros poreikius nevaldomų šaltinių netikėtų atsijungimų atveju. Yra bent dvi galimybės tai padaryti. Viena iš jų, naudoti elektros energijos kaupiklius. Kaupikliai, kurie tarkim yra akumuliatorinės baterijos, kaupytų perteklinę energiją, kurią pagamina saulės ar vėjo elektrinė, o netikėto atsijungimo atveju, energiją perduotų į tinklą ir taip kompensuotų sustojusią elektrinę ir užtikrintų elektros energijos balansą. Kitas atvejis yra naudoti bent du atskirus generavimo šaltinius, iš kurių bent vienas yra valdomas. Šiuos šaltinius valdo papildoma valdymo įranga ir užtikrina elektros energijos balansą. Bet kuriuo iš šių dviejų aptartų atvejų, tokia sistema yra vadinama hibridinė elektrinė[27].

#### 1.3.1. Hibridinių elektrinių tipai

Pasaulyje kiekvienas žemės plotas turi skirtingas charakteristikas, todėl kiekvienu atveju elektros tiekimas turi būti apsprendžiamas atskirai. Projektuojant hibridinę elektrinę privaloma atkreipti dėmesį į apkrovos grafikus, esamus generacijos šaltinius, kuro prieinamumą ir kainas, perdavimo ir skirstymo galimybes ir energijos rinką, kurioje atsiskaitys elektros energija. Atsižvelgiant į tai, skirtingi atvejai turi remtis skirtingais sprendimais. Pagrindiniai hibridinių elektrinių tipai yra šie [28]:

- Jeigu siekiama tinklų autonomijos arba mikro tinklų, rekomenduojama hibridinė elektrinė, kuri būtų sudaryta iš lengvai reguliuojamos elektrinės (pavyzdžiui, dujomis varoma kogeneracinė elektrinė), saulės ir/arba vėjo elektrinės ir energijos kaupiklio. Šio tipo elektrinių kompleksas gali užtikrinti elektros energiją bet kurioje vietoje, užtikrinti elektros tiekimą neprijungtiems vartotojams ir padidinti elektros tiekimo patikimumą ar efektyvumą vartotojams nutolusiems nuo elektros energetikos sistemos. O taip pat tai leistų sumažinti iškastinio kuro naudojimą, nes didžiąją dalį energijos gamintų atsinaujinantys šaltiniai;
- Jeigu siekiama užtikrinti patikimą ir stabilų elektros energijos tiekimą, rekomenduojama rinktis iškastiniu kuru varomą elektrinę, vėjo ir/ar saulės elektrinę ir energijos kaupiklį. Šia kombinacija elektros energija bus lengvai reguliuojama ir užtikrinama patikima elektros energija vartotojams. Sistema kiekvienu konkrečiu atveju gali būti optimizuota, padidinta elektros energijos gavyba ar sumažinta sisteminių paslaugų kaina;
- Siekiant pagerinti jau esamo elektros generavimo šaltinio gamybą, kuris tarkim yra atsinaujinantis šaltinis, galima įrengti iškastiniu kuru varomą elektrinę ir elektros kaupiklį, arba tik kaupiklį. Šis modifikavimas leistų lengviau valdyti elektrinės gamybą ir užtikrinčiau dalyvauti elektros rinkoje. Įrengimo kaštus optimizuoti panaudojant esamą infrastruktūrą ir aptarnavimo kaštus.



### 1.3.2. Mikro tinklai

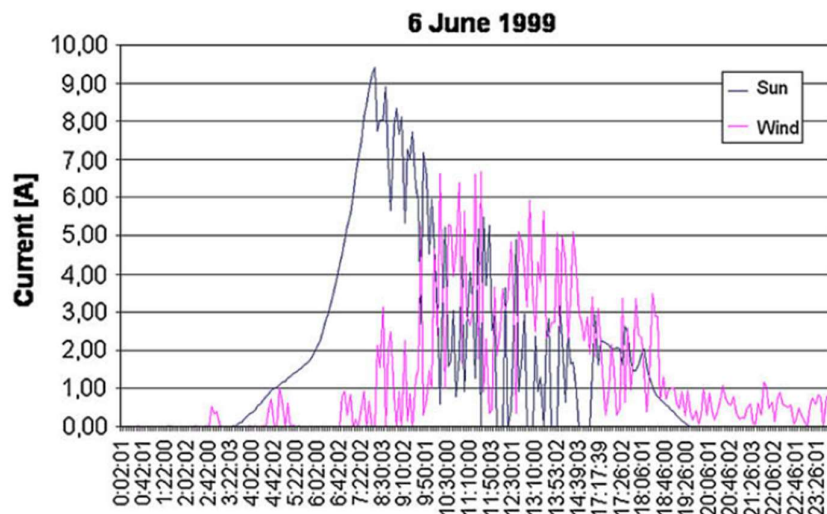
Elektros energetikoje mikro tinklas siejamas su paskirstyta generacija ir decentralizuotu valdymu, apimantis mažus vartotojų skaičius, tačiau prijungtas prie bendro elektros tinklo. Mikro tinklai susideda iš generatorių, kurie dažniausiai būna atsinaujinančių šaltinių, ir apkrovos. Kaip neatsiejama mikro tinklo dalis yra elektros energijos kaupikliai. Jų paskirtis išlaikyti ir užtikrinti balansą tarp mikro tinkle esančios generuojamos galios ir apkrovos, o taip pat tarp mikro tinklo ir bendros elektros energetikos sistemos. Kuomet mikro tinkle yra naudojamos vėjo ar saulės elektrinės, mažas pasikeitimas vėjo greityje ar atplaukęs debesis gali sukelti pasikeitimų elektros generacijoje. Elektros energijos svyravimai atsiradę tarp galios generavimo ir apkrovos turi būti valdomi elektros energijos kaupikliais, nepriklausomai nuo to, ar tai visiškai atskira sistema, ar dalis mikro tinklo sistemos, nes svarbiausia užtikrinti momentinius energijos mainus duotuoju momentu. Elektros energijos tiekimo disbalansą, atsirandantį dėl pasiūlos ir paklausos, turi valdyti kaupimo sistema, nepriklausomai nuo to, ar tai atskira sistema, ar prie tinklo pridėta mikrotinklo sistema, kad pastaruoju atveju būtų užtikrinta, kad energijos mainai su tinklu yra praktiškai pastovūs. Energijos kaupiklių talpa turi būti pakankamai didelė, kad galėtų užtikrinti elektros energijos tiekimą ilgesniam laikui, kuomet pagrindinis generavimo šaltinis to negalės užtikrinti. Tokiu būdu galima rasti elektros energijos generavimo ištekliui būdingą dienos ir sezoniškumo prisitaikymo kintamumą. Mikro tinkluose galima atrasti skirtingų kaupiklių sistemų, pavyzdžiui, hidroakumuliacinės elektrinės, baterijos, superkondensatoriai ir daugybė kitų [29].

Vienas iš tyrimų siekiant išspręsti mažos galios atsinaujinančių šaltinių galios ir apkrovos balanso problemą buvo atliktas Graikijos saloje Karpatos. Sala pasižymi pastoviais vėjais, todėl ten labai populiarios tapo vėjo elektrinės. Tam, kad būtų suvaldytos vėjo generavimo ir apkrovos balanso problemos, siekiama ištirti hibridinės elektrinės, kurią sudaro vėjo elektrinė ir vandenilio kaupiklių sistema, galimybes. Tyrimui atlikti pasirinktos trijų skirtingų galių vėjo elektrinės: 250 kW, 600 kW ir 1250 kW. Tyrimo rezultatai parodė [30]:

1. Vėjo potencialas tyrime numatytoje vietoje, kartu su vandenilio kaupikliais gali užtikrinti nuolatinį elektros tiekimą, kuris lygus iki trečdaliao vėjo elektrinės nominalios galios, kai vėjo elektrinė yra 1250 kW. Su mažesne vėjo elektrine, kurios nominali galia 600 kW, galima pasiekti nuolatinį elektros tiekimą, kurio galia būtų ketvirtadalis nominalios vėjo elektrinės galios;
2. Skirtingas galių santykis gaunamas pasirenkant tinkamus vandenilio kaupiklių sistemos elementų dydžius (elektrolizatorius, kuro elementus, vandenilio talpyklas). Atsižvelgiant į įprastą atsinaujinančių energijos išteklių indėlį į esamą energijos balansą, hibridizacijos lygį galima pasirinkti pagal poreikius, pradedant nuo pastovios energijos sistemos;
3. Energijos nuokrypiai tenkinantys apkrovą esant pastoviai galiai kinta, kai keičiasi elektrolizatorius arba vandenilio talpos. Atsižvelgiant į šių dienų sistemos komponentų sąnaudas ir esant tam tikram hibridizacijos lygiui, ekonomiškiausias sprendimas pasiekiamas maksimaliai padidinant elektrolizatoriaus dydį ir kuo mažesnę vandenilio laikymo rezervuarų kiekį;
4. Didėjant sistemos galiai, mažėja sistemos atsipirkimo laikas. Tyrimo metu sistemų atsipirkimo laikas prie mažiausios galios vėjo elektrinės siekė 3,8 metų, o galingiausios elektrinės šiek tiek daugiau nei vieneri metai.

Varšuvos technikos universitete atliktas tyrimas, kuriame tyrė hibridinę elektrinę, kurią sudaro saulės elektrinė, vėjo elektrinė ir vandenilio kaupiklis. Pirminė idėja buvo hibridinė elektrinė, kurią sudarė tik saulės ir vėjo elektrinės. Tačiau atlikus elektrinių gamybos kreivių (žr. 12 pav.) stebėjimus buvo

atlikta išvada, kad tokia elektrinė nėra efektyvi aprūpinti šimtu procentu energijos poreikių dėl per didelių saulės mirgėjimų ir vėjo pasikeitimų. Pridėjus vandenilio kaupiklį į sistemą buvo pasiekti kur kas geresni rezultatai. Gamybos ir apkrovos santykį su tokia sistema galima išlaikyti lygiam visus metus. Tai reiškia, kad toks tinklas yra nepriklausomas nuo visos energetikos sistemos [27].



12 pav. Saulės ir vėjo elektrinių vienos dienos gamybos grafikas [27]

Mikro tinklo hibridinės sistemos problemas autoriai įvardino vandenilio kaupiklio talpą, aktyvios ir reaktyvios galios balansus, sistemos automatiką, o taip pat ir dažnio reguliavimą. Kad būtų galima išspręsti šias problemas autoriai pasiūlė naudoti nuolatinės srovės tinklą, kuris jungtų skirtingus generavimo šaltinius. Pakeitus elektros grandines iš kintamos srovės į nuolatinę, būtų [27]:

- Išspręstos problemos, kurios kyla valdant pagrindinius elektros energijos parametrus;
- Sumažinti perdavimo kaštai;
- Sumažinta sistemos kaina;
- Lengvesnė energijos apskaita.

V. Adomavičius savo straipsnyje taip pat aptaria mikro tinklo ypatumus. Šis mikro tinklas susideda iš atsinaujinančių šaltinių, kaip saulė ir vėjas, ir energijos kaupiklių. Kaip pagrindinius privalumus autorius įvardina [31]:

- mikrotinklas yra ekonomiškai patrauklus, kadangi naudojamas tik vienas bendras mikrotinklas energijai tiekti į elektromobilius bei elektros ir šilumos vartotojams (nereikia degalinių ir šilumos tinklų);
- energija elektros mikrotinkle paskirstoma kur kas lengviau, paprasčiau ir pigiau, negu, pavyzdžiui, centralizuoto šilumos energijos tiekimo tinkle;
- autonominiame mikrotinkle visa pagaminta stabilios ir nestabilios galios energija suvartojama vietoje, todėl susidaro galimybės išvengti visų nuostolių, kurie atsiranda naudojantis perdavimo ir paskirstymo tinklo paslaugomis;
- kai su elektros energetikos sistemos tinklu sujungtame mikrotinkle nestabilios galios vėjo ir saulės elektrinėse pagaminta energija didžiąja dalimi sunaudojama vietoje, netiekiant jos per paskirstymo bei perdavimo tinklus kitiems vartotojams, tai didysis elektros tinklas nepapildomas blogesnės kokybės labai nepastovios galios elektros energija. Todėl

neapsunkinamas tinklo operatoriaus darbas ir didžiaja dalimi išvengiama nuostolių, susijusių su energijos perdavimu;

- naudojant elektros mikrotinklus, susidaro galimybės žymiai padidinti atsinaujinančios energetikos skverbties mastus į transporto, elektros ir šilumos energijos sektorius.

Dar vienas tyrimas atliktas naudojant mikro tinklo technologijas parodė, kad [32]:

- Racionaliai derinant alternatyvios energijos rūšių šaltinių galimybes įmanoma sukurti efektyvų vietinio apsirūpinimo energija mikrotinklą, kuris ne tik sprendžia ekologijos problemas, bet ir atpigina energijos sąnaudas vartotojams;
- Mikrotinkle tikslinga derinti įvairių atsinaujinančios energijos šaltinių pajėgumą, racionaliai išnaudojant jų energijos gamybos efektyvumo periodinius svyravimus;
- Siekiant išvengti trumpalaikių energijos tiekimo sutrikimų valdymo sistemos komutacijų metu mikrotinkle tikslinga naudoti akumuliatorių baterijas;
- Geoterminio šildymo sistema – efektyvus energijos akumuliatorius mikrotinkle, padedantis sukaupti alternatyvių šaltinių generuojamą energiją, kai vartojimas yra nepakankamas.

### 1.3.3. Elektrinė elektrinėje

Kaip viena iš hibridinių elektrinių krypčių galima įvardinti ir elektrinių įrengimą didesnių elektrinių savoms reikmėms kompensuoti ir nereikalingam plotui išnaudoti. Didelėms elektrinėms kaip ir daugumai kitų įrenginių reikia elektros energijos. Ar tai būtų relinės apsaugos terminalų veikimas, ar kompiuteriai elektrinės dispečerių punkte, ar kiti elektros imtuvai. Kaip dar viena priežastis įrengti elektrinę elektrinėje yra neišnaudoti plotai. Kaip žinoma galingi elektros generavimo šaltiniai dažniausiai būna dideli ir užima didelį plotą. Vėjo parko teritorijoje draudžiama statyti namą, leidžiama vykdyti tik ūkinę veiklą, todėl jeigu sklypo savininkai nusprendžia ūkinės veiklos nevykdyti, žemę galima įdarbinti ir, kaip, pavyzdžiui, įrengti saulės elektrinę.

Kaip vienas iš pavyzdžių galėtų būti Benaičių vėjo parkas, kuriame įrengta 1 MW galios saulės elektrinė. Čia įrengtos 17 vėjo elektrinių kurių bendra galia siekia 34 MW. Toje pačioje teritorijoje yra įrengta transformatorinė pastotė ir dispečerių punktas, kuris prižiūri parko veiklą. Šių įrenginių savųjų reikmių kompensavimui įrengė 1 MW saulės elektrinę. Dispečerių pastate sumontavo akumuliatorių baterijas. Šios hibridinės elektrinės užtenka patenkinti parko elektros energijos poreikius. Perteklinė energija atiduodama į elektros tinklus dvipusės apskaitos pagalba.

Kauno technologijos universiteto mokslininkai R. Vizgirda ir M. Vitkauskas atliko tyrimą, kuriuo siekė išanalizuoti saulės elektrinių galimybes įrengti ant Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės (KHAE). Saulės elektrinės tikslas buvo padengti KHAE savųjų reikmių poreikius, o perteklinę energiją atiduoti į elektros tinklą. Autoriai taip pat išanalizavo, kodėl būtent viršutinis baseinas yra geresnė vieta įrengti saulės elektrinę, nei įprastas laukas ir pateikė išvadas [14]:

- vandens paviršiaus temperatūra dažniausiai yra keliais Celsijaus laipsniais žemesnė nei aplinkos oro temperatūra, todėl ant tokio vandens išdėstyti moduliai yra geriau aušinami. Šis aušinimas sumažina saulės modulio temperatūrą 2-3 °C, todėl modulio darbo efektyvumas padidėja apie 0,79 %. Efektyvumo padidėjimas lemia elektros energijos gamybos padidėjimą 2,24 %;
- pastačius plūduriuojančią saulės elektrinę, vandens nugaravimas iš aukšutinio baseino žymiai sumažėtų. Apytiksliai vertinant, KHAE aukštutinis baseinas, nugaravus iš jo vieno metro

vandens sluoksniui, per metus gali prarasti apie 3 mln. kubinių metrų vandens. Tokiam kiekiui vandens užkelti, visi keturi KHAE hidroagregatai dirbantys siurblių režimu sunaudotų 957 MWh elektros energijos. Maždaug tiek pat elektros energijos 30 kW galios mažoji Svobiškio hidro elektrinė sunkiai pagamina per 10 metų;

- apskaičiuotas KHAE aukštutinio baseino saulės elektrinės su plūduriuojančiais moduliais potencialas siekia 300 MW. Tokia elektrinė per metus pagamintų apie 275,4 GWh energijos.

## **2. Energijos kaupiklio pritaikomo KTU sistemai tyrimas**

Tyrimui atlikti modeliuojama situacija, kuri ateityje gali būti reali. Skaičiavimais siekiama įvertinti sprendimo galimas naudas siekiant efektyvesnio elektros energijos panaudojimo ir sumažėjusias sąskaitas už elektros energijos suvartojimą. Tyrimo atlikimui reikalingos sąlygos:

1. objektui įrengiamas išmanus apskaitos įrenginys;
2. objekte įrengiamas energijos kaupiklis (ličio jonų baterija su keitikliu), kurio parametrai bus parinkti pagal didžiausią ekonominį efektyvumą;
3. objektui priskiriamas dinaminės elektros energijos kainos tarifas (žr. 2.3.3 skyrelį);
4. palyginamajai analizei su dinamine kaina skaičiuojamas vienos laiko zonos tarifas;
5. nepanaudota atsinaujinančių šaltinių sugeneruota elektros energija yra atiduodama į tinklą ir vėliau susigražinama už pasaugojimo mokestį;
6. numatoma, kad naujo energijos kaupiklio įrengimui reikalingos papildomos patalpos, elektros instaliacijos medžiagos, krovimo valdikliai, išmani apskaita ir kitos įrengimo išlaidos numatytos kartu su įrengimo kaštais numatytais 2.3.2 skyrelyje.

### **2.1. Tyrimo metodika**

Tyrimo metodikai pasirinktas statistinis matematinis modelis su palyginamąja analize. Tyrimui atlikti surinkta reali valandinių duomenų statistika, kuriai pritaikomi matematiniai skaičiavimai. Skaičiavimai ir duomenų apdorojimas atliekamas naudojantis MS Excel skaičiuoklės programa. Gauti rezultatai palyginami tarpusavyje. Tyrime siekiama suskaičiuoti:

1. elektros energijos sąskaitas tiriamajam laikotarpiui, neįvertinant jokių papildomų efektyvinimo priemonių (esama situacija);
2. elektros energijos sąskaitas tiriamajam laikotarpiui, įvertinant tik dinaminę kainą be elektros energijos kaupiklio;
3. efektyviausią elektros energijos kaupiklio ir keitiklio derinį pagal galią ir talpą, ieškant didžiausio ekonominio efektyvumo;
4. elektros energijos sąskaitas tiriamajam laikotarpiui, įvertinant dinaminę kainą ir elektros energijos kaupiklį;
5. visų įdiegtų efektyvinimo priemonių kaštų-naudos analizę.

### **2.2. Tiriamasis objektas**

Tiriamaisiais objektais pasirinkti KTU pastatai esantys Kaune, Studentų gatvėje 48 ir 48A (žr. 13 pav.). Du pastatai pasirinkti todėl, kad juos abu jungia bendra atsinaujinančių šaltinių sistema. Objektas pasirinktas pagal šiuos aspektus:

1. atsinaujinančių šaltinių sistema. Šiuos abu pastatus jungia bendra atsinaujinančių šaltinių sistema:
  - saulės elektrinė, kurios galia yra 380 kW;
  - geotermis energijos šaltinis, kurio galia 150 kW;
  - šilumos energijos vandenyje kaupiklis.
2. duomenų prieinamumas. Tyrimui reikalinga žinoti pastato elektros energijos valandinį suvartojimą ir atsinaujinančių šaltinių sistemos generuojamos energijos valandinius duomenis;

3. energijos suvartojimo efektyvumo didinimo galimybės. Stambus elektros energijos vartotojas sutaupo didesnius kiekius elektros energijos pritaikius efektyvinimo priemones.



13 pav. Tiriamasis objektas. KTU pastatai Studentų gatvėje 48 ir 48A. KTU archyvo nuotr.

## 2.3. Tyrimo duomenys

### 2.3.1. Atskaitinis laikotarpis

Statistiniai duomenys skaičiavimams surinkti kuo tikslesni, norint gauti tyrimo rezultatus su mažiausiomis paklaidomis. Duomenys atrinkti laikotarpio nuo 2019 metų kovo mėn. 19 d. 00:00:00 iki 2020 metų kovo mėn. 18 d. 24:00:00. Metų atskaitinis laikas pasirinktas atsižvelgiant į duomenų tikslumą, kuriam galėjo daryti įtaką:

- Covid-19 situacija. Prasidėjus pandemijai 2020 metų kovo mėnesį studentai buvo išleisti į nuotolinį darbą, dėl ko pastatų elektros energijos suvartojimas sumažėjo;
- atsinaujinančių šaltinių sistemos paleidimo data. Pagal gautus duomenis sistema pradėjo veikti tik nuo 2019 metų kovo 18 dienos.

Į skaičiuojamąjį laikotarpį patenka keliamoji metų diena vasario 29 d. Atsižvelgiant, kad ši diena metuose yra tik kas ketverius metus, skaičiavimuose šios dienos duomenys yra nevertinami (anuliuojami) ir kiekvienų kitų metų dieną skaičius laikomas 365 dienomis.

### 2.3.2. Įvesties duomenys

Atsižvelgiant į atliktos literatūros analizės rezultatus (žr. skyrius 1.1.3) pritaikomas energijos kaupiklis šiam projektui yra ličio jonų baterija. Palyginamoji analizė (žr. 1.1.3 skyrelį) parodė, kad ličio jonų baterijos yra tinkamiausias variantas, vertinant kainos ir techninių rodiklių santykį. Energijos kaupiklio įvesties pagrindiniai parametrai yra:

- eksploataavimo trukmė – 15 metų;
- įkrovimo / iškrovimo efektyvumas – 98 %;
- energijos vieneto kaina – 200 €/kWh;
- energijos vieneto sąnaudos metams – 10 €/kWh;
- keitiklio kaina – 250 €/kW;
- keitiklio sąnaudos metams – 10 €/kW;
- nusidėvėjimas per eksploataavimo trukmę – 100 %.

Nors palyginamojoje analizėje (žr. 1 lentelę) ličio jonų parametrai nurodyti intervaluose nuo iki, skaičiavimuose parametrai parenkami intervalų efektyviausios reikšmės. Tarkim, jeigu konkreti energijos kaupiklio vieneto kaina yra nuo 200 iki 750 Eur už kWh, tai skaičiavimuose imama efektyviausia t.y. 200 Eur už kWh reikšmė. Taip nuspręsta daryti atsižvelgiant į nuolat tobulėjančias ličio jonų baterijų savybes, kurios kiekvienais metais parodo vis geresnius rezultatus už mažesnę kainą.

Energijos kaupiklio galios ir talpos parametrai bus parinkti, pagal didžiausią ekonominį efektyvumą atliekant tolimesnius skaičiavimus.

Priimame, kad projekto įgyvendinimas užims vienerius metus. Projekto atsipirkimo laikas numatomas pagal energijos kaupiklio tarnavimo laiką, t. y. 15 metų.

### **2.3.3. Elektros energijos kaina**

Atliekant palyginamąją analizę naudojama elektros kaina, kuri projekto pradžioje yra lygi 2020 metų antrojo pusmečio elektros energijos kainai, kuri patvirtinta Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos (VERT). Atsižvelgiant, kad Lietuvoje yra siūlomi įvairūs elektros energijos tarifai su pastoviomis dedamosiomis ir skirtingomis laiko zonomis, esamos situacijos skaičiavimuose priimama, kad už elektros energiją įsigytą iš tinklo atsiskaitoma vienos laiko zonos tarifu, kuris nurodo mokėti 0,137 Eur/kWh [33]. Dėl tikslesnių palyginimo galimybių daroma prielaida, kad elektros energijos kaina nesikeis per visą projekto trukmę.

Elektros energijos kaina Lietuvoje susidaro iš 7 dedamųjų:

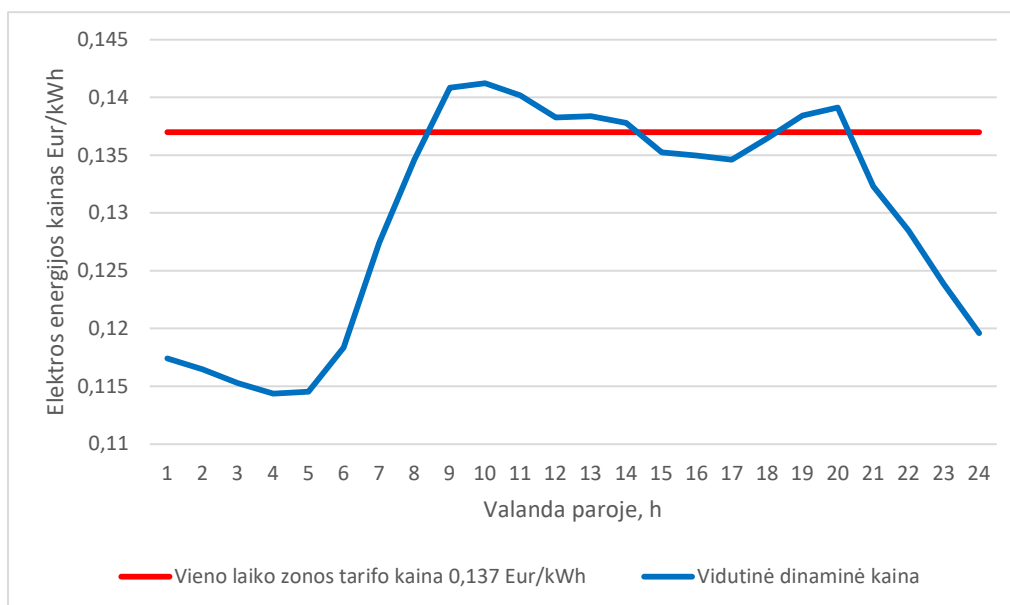
- sisteminių paslaugų kaina;
- skirstymo paslaugos žemos įtampos tinklais;
- VIAP kaina;
- visuomeninio tiekimo paslaugos;
- perdavimo paslaugos;
- skirstymo paslaugos vidutinės įtampos tinklais;
- įsigijimo kaina.

Šiuo metu literatūroje aptariami du dinaminės kainos modeliai: valandinė dinaminė kaina ir dieną prieš numatoma elektros kaina. Šie du modeliai skiriasi tuo, kad valandinė dinaminė elektros kaina yra pateikiama kiekvienai dienos valandai, o dienos prieš kaina yra pateikiama prieš kiekvieną dieną ir dienos eigoje ji nesikeičia. Tiek valandinė, tiek dienos prieš dinaminė elektros kaina yra finansiškai efektyvesnis būdas atsiskaityti už energijos tiekimą, nei su pastovios kainos atsiskaitymo tarifu [34] [35]. Tačiau mokslininkų atlikti tyrimai parodė, kad valandinė dinaminė kaina gali pasiūlyti žemesnę elektros energijos kainą, nei dienos prieš dinaminė kaina [36]. Valandinei dinaminei kainai sudaryti

iš bendros elektros energijos kainos išimama pastovi įsigijimo kaina ir vietoj jos naudojama dinaminė įsigijimo kaina pagal elektros energijos biržos Nordpool duomenis [37]. Dinaminė kaina sudaroma kiekvienai metų valandai atitinkamai pagal paros valandinius duomenis. Pagal 2020 m. antrojo pusmečio duomenis, suskaičiuota, kad įsigijimo kaina sudaro 35,54 % bendros elektros energijos kainos. Tai reiškia, kad elektros kaina be įsigijimo kainos yra lygi:

$$0,137 - 0,137 \cdot 0,3554 = 0,088313 \text{ Eur}/kWh$$

Prie šios bazinės kainos pridedama Nordpool pateiktos valandinės įsigyjamos elektros energijos kainos ir taip sukuriama dinaminės kainos duomenų lentelė, kuri parodo kiekvienos valandos elektros energijos kainą. Grafikas žemiau parodo dinaminės elektros kainos metinius konkrečios valandos kainos vidurkius, kai visų metų, pavyzdžiui, antros valandos kainoms yra išvedamas aritmetinis vidurkis.



14 pav. Sudaryta dinaminė elektros energijos kaina 2020 metams (vidutinė metinė) palyginta su vienos laiko zonos tarifo kaina (2020 m. II pusm.)

Perteklinė elektros energija pagaminta iš atsinaujinančių energijos šaltinių yra atiduodama į tinklą. Už šią paslaugą atsiskaitoma mokant pasaugojimo mokesį. Šiuo metu Lietuvoje yra siūlomi keli atsiskaitymo būdai už energijos pasaugojimą. Galima atsiskaityti už kilovatvalandę, mokėti už elektrinės galią, mišrus variantas ir taip pat galima atsiskaityti atiduodant dalį elektros energijos patiems operatoriams. Atsižvelgiant, kad visi mokėjimo tarifai skaičiavimuose būtų kuo paprastesni, šiuose skaičiavimuose priimame, kad už perteklinę elektros energiją mokama bus fiksuota suma už kilovatvalandę. Ši fiksuota suma yra 0,043 Eur/kWh [38].

## 2.4. Tyrimo rezultatai

### 2.4.1. Elektros energijos sąskaitos, neįvertinant jokių papildomų efektyvinimo priemonių

Tam, kad būtų galima atlikti palyginamąją analizę su diegiamomis priemonėmis reikalinga turėti atskaitą, kurios pagalba būtų galima įvertinti ekonominį naudingumą vėliau įdiegtų naujų priemonių. Šiam tikslui įgyvendinti skaičiuojama esama situacija, nevertinant jokių papildomų efektyvinimo



priemonių. Esamos situacijos skaičiavimus kaip ir visus kitus skaičiavimus atliekame MS Excel programine įranga.

Skaičiavimams atlikti naudojama jau turima tiriamo objekto elektros energijos suvartojimo ir atsinaujinančių energijos šaltinių sistemos gamybos statistika. Esamoje situacijoje pagal priimtas prielaidas elektros energijos sąskaitas sudaro dvi dedamosios. Pirmoji yra mokestis už elektros energiją įsigytą iš elektros tinklų, o antroji dedamoji yra mokestinė sumos sutaupymas už pasaugotą elektros energiją. Bendra sąskaita už elektros energijos suvartojimą gaunama iš pirmosios dedamosios atėmus antrąją dedamąją.

Pirmoji dedamoji skaičiuojama sudauginant visą elektros energijos suvartojimą su elektros energijos tarifu už kilovatvalandę. Antroji dedamoji skaičiuojama pagal formulę:

$$2 \text{ dedamoji} = (El. \text{ energijos kaina} - \text{Pasaugojimo kaina}) \cdot AEI \text{ generacija} \quad (1)$$

Skaičiavimo rezultatai skaičiuojamajam laikotarpiui pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Esamos situacijos metinės sąskaitos už elektros energiją

Metai	1 dedamoji, Eur	2 dedamoji, Eur	Metinė sąskaita už elektros energiją, Eur	Viso per eksploataavimo trukmę, Eur
1	177570,7	15100,7	162470	2437050,2
2	177570,7	15100,7	162470	
3	177570,7	15100,7	162470	
4	177570,7	15100,7	162470	
5	177570,7	15100,7	162470	
6	177570,7	15100,7	162470	
7	177570,7	15100,7	162470	
8	177570,7	15100,7	162470	
9	177570,7	15100,7	162470	
10	177570,7	15100,7	162470	
11	177570,7	15100,7	162470	
12	177570,7	15100,7	162470	
13	177570,7	15100,7	162470	
14	177570,7	15100,7	162470	
15	177570,7	15100,7	162470	

#### 2.4.2. Elektros energijos sąskaitos, įvertinant tik dinaminę elektros energijos kainą

Viena iš diegiamų elektros energijos sąskaitų efektyvinimo priemonė yra dinaminis elektros energijos tarifas. Tam reikalinga tiriamajam objektui atnaujinti elektros energijos apskaitos įrenginį, kuris galėtų pritaikyti valandinį elektros energijos tarifą. Papildomų investicijų į sistemą nereikia, todėl šis sprendimas paprastais skaičiavimais gali parodyti, ar pavyks sutaupyti ir sumažinti elektros energijos sąskaitas.

Dinaminė elektros energijos kaina yra taikoma tik perkamai elektros energijai iš nepriklausomo elektros energijos tiekėjo. Perteklinės elektros energijos pasaugojimo mokestis išlieka stabilus 0,043 Eur/kWh.

Kaip ir esamoje situacijoje, taip ir su dinamine kaina, skaičiavimai atliekami taip pat. Pagal priimtas prielaidas elektros energijos sąskaitas sudaro dvi dedamosios. Pirmoji yra mokestinė suma už elektros energiją įsigytą iš elektros tinklų, o antroji dedamoji yra mokestinė sumos sutaupymas už pasaugotą elektros energiją. Bendra sąskaita už elektros energijos suvartojimą gaunama iš pirmosios dedamosios atėmus antrąją dedamąją. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Įvertinant antrąją dedamąją, kuri nurodo sutaupymus už pasaugotą elektros energiją, sunku nuspėti, kada tiriamas objektas ims elektros energiją ir už kokią kainą (elektros kaina kiekvieną valandą skiriasi). Nors įprasta atrodytų imti iš tinklo padėtą saugoti energiją artimiausiu metu kada tik jos reikia, tačiau tai daryti nėra tikslinga. Elektros kainai svyruojant kiekvieną valandą, galima ieškoti būdų atsiimti elektros energiją iš tinklo. Protingiausia tai daryti, kai elektros energijos kaina yra didžiausia, tačiau nuspėti kada kaina bus pati didžiausia yra sudėtinga, nors atsižvelgiant į 14 paveikslą, galima matyti vidutiniškai metuose kuriomis valandomis elektros kaina yra didžiausia. Nespėliojant kada pirsks, o kada atsiims iš tinklo savo padėtą saugoti elektros energiją, bei palyginamumo tikslais nuspręsta skaičiavimuose 2 dedamąją skaičiuoti taip pat, kaip ir esamoje situacijoje. Tai reiškia, kad 1 formulėje nurodyta elektros energijos kaina išlieka ta pati vieno laiko zonos tarifo kaina 0,137 Eur/kWh ir sutaupymai už pasaugotą elektros energiją išliks tokie pat kaip ir esamoje situacijoje.

3 lentelė. Elektros energijos sąskaitos, įvertinant pagal dinaminį elektros energijos tarifą

Metai	1 dedamoji, Eur	2 dedamoji, Eur	Metinė sąskaita už elektros energiją, Eur	Viso per eksploataavimo trukmę, Eur
1	165173,5	15100,7	150072,8	2251092,8
2	165173,5	15100,7	150072,8	
3	165173,5	15100,7	150072,8	
4	165173,5	15100,7	150072,8	
5	165173,5	15100,7	150072,8	
6	165173,5	15100,7	150072,8	
7	165173,5	15100,7	150072,8	
8	165173,5	15100,7	150072,8	
9	165173,5	15100,7	150072,8	
10	165173,5	15100,7	150072,8	
11	165173,5	15100,7	150072,8	
12	165173,5	15100,7	150072,8	
13	165173,5	15100,7	150072,8	
14	165173,5	15100,7	150072,8	
15	165173,5	15100,7	150072,8	

### 2.4.3. Efektyviausias elektros energijos kaupiklio ir keitiklio derinys

Siekiant išsiaiškinti efektyviausią elektros energijos kaupiklio ir keitiklio derinį, atliekama jautrumo analizė, kurioje pagal skirtingą keitiklio galią ir baterijos talpą skaičiuojamas ekonominis efektyvumas. Ekonominiam efektyvumui surasti reikalingas skaičiuojamasis modelis, kuriame keičiant įvesties duomenis (keitiklio galia ir baterijos talpa) skaičiuotų elektros energijos sąskaitas įvertinant dinaminę kainą ir energijos kaupiklį.

Šio varianto elektros energijos sąskaitų skaičiavimai yra sudėtingiausi ir labiausiai neprognozuojami, tačiau priėmus kelias prielaidas galima įvertinti papildomus sutaupymus. Bendrą elektros energijos sąskaitą sudarys trys dedamosios.

Pirmoji dedamoji, kaip ir ankstesniuose skaičiavimuose bus pinigų suma už įsigytą elektros energiją iš energijos tiekėjo. Tiesa, nors ankstesniuose variantuose pirmoji dedamoji nesiskyrė, šiame modelyje nupirkto elektros energijos kiekis mažėja, nes energijos pasaugojimui naudojamas nebe elektros tinklas, o į atsinaujinančių energijos išteklių sistemą integruojamas energijos kaupiklis. Šis sprendimas sumažina perkamos elektros energijos iš elektros tinklo kiekį.

Antroji dedamoji kaip ir ankstesniuose skaičiavimuose bus sutaupymai už pasaugotą elektros energiją. Antroji dedamoji skirsis nuo ankstesnių skaičiavimų, nes šiame etape energijos kaupiklis perims pasaugojimo funkciją taip sutaupant papildomus pinigus. Pagal savo parametrus energijos kaupiklis maksimaliai stengsis savyje pasaugoti elektros energijos ir taip sutaupyti atsiskaitant už elektros energiją.

Trečioji dedamoji atsiranda kaip alternatyvus būdas sutaupyti, mažinant elektros energijos sąskaitas. Įvedant dinaminę elektros energijos kainą dienos laiko intervale atsiranda elektros energijos kainų skirtumai. Atsižvelgiant į vidutinę valandos kainą metuose (žr. 14 pav.), matoma, kad dažniausiu atveju naktį nupirkta elektros energija yra pigesnė už dienos metu pirktą energiją. Tiesa, elektros skirtumai nėra didesni nei pasaugojimo mokestis už elektros energiją 0,043 Eur/kWh, todėl prioritetas yra taikomas sukaupti elektros energiją pagamintą iš atsinaujinančių šaltinių. Ne kiekvieną dieną atsinaujinantys šaltiniai generuoja tiek energijos, kad būtų galima pilnai užkrauti energijos kaupiklius. Taip pat elektros energijos kainos dienos eigoje padidėja anksčiau, nei atsinaujinantys šaltiniai pradeda generuoti elektros energiją. Šios dvi prielaidos leidžia atrasti alternatyvų šaltinį, kuris padeda sutaupyti sąskaitas už elektros energiją. Kiek daug pavyksta sutaupyti priklauso nuo energijos kaupiklio talpos, keitiklio galios ir atsinaujinančių šaltinių generacijos. Galima teigti, kad energijos kaupiklis šiuo atveju taip pat veikia ir kaip saugiklis, nuo prastos atsinaujinančių šaltinių generacijos, kai iš dalies yra kompensuojama prasta generacija sutaupant pigesne naktine elektros energija, kuri panaudojama dienos metu. Tiesa, įprastai nuspėti, kiek bus pagaminta elektros energijos iš atsinaujinančių šaltinių yra sunku, dėl to praktiškai tampa neįmanoma nuspėti, kiek reikalinga elektros energijos nupirkti naktį ir užkrauti energijos kaupiklius, kad dieną būtų išlaikytas balansas tarp sunaudojamos elektros energijos ir atsinaujinančių šaltinių generuojamos elektros energijos. Kadangi elektros energijos pasaugojimo mokestis yra didesnis nei tyrime naudojamų dinaminės kainos didžiausios ir mažiausios reikšmių skirtumas, prioritetas yra išlaikomas pasaugoti iš atsinaujinančių energijos šaltinių sugeneruotą energiją. Tačiau šiame modelyje darome prielaidą, kad ateityje tobulėjant dirbtinio intelekto technologijoms, bus galima išanalizuoti vartotojo ir atsinaujinančių šaltinių duomenis ir priimti ekonomiškai efektyvius sprendimus. Todėl skaičiavimuose trečioji dedamoji yra optimaliai įvertinta prie dalinai įkraunamo energijos kaupiklio

naktimis, siekiant maksimalaus elektros energijos sąskaitų sutaupymo ir paliekant vietos sistemos tobulėjimui.

Taigi sukūrus skaičiavimo modelį MS Excel programinės įrangos pagalba, keičiant įvesties duomenis (šiuo atveju keitiklio galią ir energijos kaupiklio talpą) galima suskaičiuoti sąskaitas už elektros energiją į tiriamąjį objektą įdiegus dinaminės kainos ir energijos kaupiklio priemones.

Ieškant ekonomiškai efektyviausio elektros kaupiklio ir keitiklio derinio skaičiuojamas ekonominis efektyvumas ir atliekama jautrumo analizė keičiant energijos kaupiklio talpą ir keitiklio galią (žr. 4 lentelė). Šis skaičiavimas yra supaprastintas ir nėra atsižvelgiama nei į elektros kainų svyravimus, nei pinigų nuvertėjimą. Ekonominis efektyvumas parodys procentinį santykį tarp naujos priemonės sutaupytų pinigų ir tos priemonės kaštų. Ekonominis efektyvumas skaičiuojamas pagal formulę:

$$\eta_E = \frac{S_2 - S_1}{K_B} \cdot n \cdot 100\% \quad (2)$$

čia  $\eta_E$  – ekonominis efektyvumas, %;

$S_2$  – elektros energijos sąskaitos, įvertinant tik dinaminę kainą, Eur;

$S_1$  – elektros energijos sąskaitos, įvertinant dinaminę kainą ir elektros energijos kaupiklį, Eur;

$n$  – projekto skaičiuojamasis laikotarpis, metais;

$K_B$  – bendrieji kaupiklio ir keitiklio įrengimo bei eksploatacijos kaštai projekto skaičiuojamajam laikotarpiui, Eur.

4 lentelė. Energijos kaupiklio ekonominio efektyvumo jautrumo analizė

<b>Keitiklio galia →</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>50</b>
Baterijos talpa = Galia x 1	26,88%	26,74%	26,66%	26,59%	26,50%	26,42%	26,36%	26,33%	26,31%	26,29%
Baterijos talpa = Galia x 2	29,57%	29,45%	29,34%	29,28%	29,23%	29,18%	29,12%	29,05%	28,98%	28,91%
Baterijos talpa = Galia x 3	31,00%	30,91%	30,82%	30,72%	30,60%	30,49%	30,38%	30,27%	30,17%	30,07%
Baterijos talpa = Galia x 4	31,16%	31,04%	30,91%	30,79%	30,65%	30,51%	30,37%	30,20%	30,05%	29,90%
Baterijos talpa = Galia x 5	30,27%	30,11%	29,96%	29,82%	29,66%	29,51%	29,35%	29,17%	29,01%	28,85%
<b>Keitiklio galia →</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>
Baterijos talpa = Galia x 1	26,25%	26,23%	26,20%	26,18%	26,17%	26,16%	26,14%	26,13%	26,11%	26,10%
Baterijos talpa = Galia x 2	28,84%	28,78%	28,73%	28,70%	28,68%	28,65%	28,62%	28,60%	28,58%	28,56%
Baterijos talpa = Galia x 3	29,97%	29,86%	29,76%	29,66%	29,57%	29,48%	29,40%	29,32%	29,24%	29,16%
Baterijos talpa = Galia x 4	29,75%	29,61%	29,48%	29,34%	29,22%	29,10%	28,98%	28,87%	28,75%	28,64%
Baterijos talpa = Galia x 5	28,69%	28,54%	28,40%	28,26%	28,13%	28,00%	27,86%	27,72%	27,57%	27,43%
<b>Keitiklio galia →</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>	<b>125</b>	<b>130</b>	<b>135</b>	<b>140</b>	<b>145</b>	<b>150</b>
Baterijos talpa = Galia x 1	26,09%	26,07%	26,06%	26,05%	26,04%	26,03%	26,03%	26,02%	26,01%	26,01%
Baterijos talpa = Galia x 2	28,54%	28,51%	28,49%	28,46%	28,44%	28,41%	28,39%	28,37%	28,34%	28,32%
Baterijos talpa = Galia x 3	29,08%	29,01%	28,93%	28,85%	28,77%	28,69%	28,62%	28,55%	28,47%	28,40%
Baterijos talpa = Galia x 4	28,53%	28,42%	28,30%	28,18%	28,06%	27,95%	27,84%	27,73%	27,62%	27,51%
Baterijos talpa = Galia x 5	27,29%	27,15%	27,02%	26,89%	26,76%	26,63%	26,51%	26,40%	26,29%	26,17%
<b>Keitiklio galia →</b>	<b>155</b>	<b>160</b>	<b>165</b>	<b>170</b>	<b>175</b>	<b>180</b>	<b>185</b>	<b>190</b>	<b>195</b>	<b>200</b>
Baterijos talpa = Galia x 1	26,01%	26,00%	26,00%	26,00%	26,00%	26,00%	25,99%	25,99%	25,99%	25,99%
Baterijos talpa = Galia x 2	28,30%	28,28%	28,26%	28,24%	28,22%	28,20%	28,18%	28,15%	28,12%	28,08%
Baterijos talpa = Galia x 3	28,33%	28,25%	28,17%	28,09%	28,01%	27,79%	27,85%	27,77%	27,67%	27,57%
Baterijos talpa = Galia x 4	27,40%	27,29%	27,17%	27,04%	26,91%	26,46%	26,63%	26,49%	26,35%	26,19%
Baterijos talpa = Galia x 5	26,02%	25,85%	25,67%	25,48%	25,29%	25,10%	24,89%	24,68%	24,45%	24,23%
<b>Keitiklio galia →</b>	<b>205</b>	<b>210</b>	<b>215</b>	<b>220</b>	<b>225</b>	<b>230</b>	<b>235</b>	<b>240</b>	<b>245</b>	<b>250</b>
Baterijos talpa = Galia x 1	25,98%	25,98%	25,98%	25,99%	25,99%	26,00%	26,00%	26,01%	26,01%	26,02%
Baterijos talpa = Galia x 2	28,05%	28,01%	27,97%	27,93%	27,89%	27,84%	27,80%	27,75%	27,70%	27,66%
Baterijos talpa = Galia x 3	27,47%	27,37%	27,28%	27,17%	27,07%	26,96%	26,86%	26,76%	26,66%	26,57%
Baterijos talpa = Galia x 4	26,03%	25,86%	25,70%	25,54%	25,38%	25,23%	25,07%	24,92%	24,75%	24,60%
Baterijos talpa = Galia x 5	24,02%	23,81%	23,60%	23,39%	23,18%	22,98%	22,79%	22,61%	22,43%	22,25%
<b>Keitiklio galia →</b>	<b>255</b>	<b>260</b>	<b>265</b>	<b>270</b>	<b>275</b>	<b>280</b>	<b>285</b>	<b>290</b>	<b>295</b>	<b>300</b>
Baterijos talpa = Galia x 1	26,20%	26,03%	26,03%	26,04%	26,04%	26,05%	26,05%	26,05%	26,06%	26,06%
Baterijos talpa = Galia x 2	27,67%	27,57%	27,53%	27,48%	27,44%	27,40%	27,36%	27,31%	27,26%	27,21%
Baterijos talpa = Galia x 3	26,47%	26,37%	26,27%	26,18%	26,09%	25,99%	25,91%	25,82%	25,73%	25,64%
Baterijos talpa = Galia x 4	24,38%	24,29%	24,15%	24,00%	23,86%	23,72%	23,58%	23,44%	23,30%	23,17%
Baterijos talpa = Galia x 5	21,97%	21,90%	21,73%	21,57%	21,40%	21,24%	21,08%	20,92%	20,77%	20,63%

Lentelėje pateiktos spalvos nurodo santykinę reikšmių vertę, kai žalia yra didžiausia, o raudona mažiausia vertė. Pagal lentelėje pateiktus duomenis galima daryti keletą išvadų:

1. Energetinis efektyvumas, esant baterijos talpai 5 kartus didesnei nei keitiklio galiai yra mažiausias, todėl tirti dar didesnes kaupiklio talpų vertes nėra tikslo, nes tai neparodys efektyvesnių rezultatų;
2. Didžiausias ekonominis efektyvumas yra prie mažiausių techninių parametrų verčių, tai parodo, kad energijos kaupiklis nėra ekonomiškai atsiperkantis įrenginys, pagal tyrime priimtas prielaidas;

3. Didėjant keitiklio galiai ekonominis efektyvumas išlieka didžiausias prie santykinai mažesnės kaupiklio talpos. Jeigu prie 5 kW energijos keitiklio didžiausias efektyvumas buvo ties 20 kWh energijos kaupiklio talpa (keitiklio galia x4), tai prie 300 kW energijos keitiklio didžiausias efektyvumas buvo ties 600 kWh energijos kaupiklio talpa (keitiklio galia x2).

#### 2.4.4. Elektros energijos sąskaitos, įvertinant dinaminę kainą ir elektros energijos kaupiklį

Atsižvelgiant į gautus jautrumo analizės rezultatus matoma, kad energijos kaupiklio technologijos pagalba sutaupytos sąskaitos už elektros energiją padengia 20-31 % naujai diegiamos technologijos kaštų. Didžiausias ekonominis efektyvumas ties mažiausia energijos keitiklio galia parodo, kad vienas kW energijos kaupimo vieneto neatperka savo įrengimo ir eksploatacinių kaštų. Dėl to didėjant galiai ir talpai efektyvumas tik mažėja. Parinkus bet kurią keitiklio ir kaupiklio kombinaciją ši priemonė neturės ekonominio atsipirkimo. Tačiau tolimesniems skaičiavimams įvertinant bendrai po Švarios energijos paketo atsiradusias priemones reikalinga pasirinkti vieną iš šių kombinacijų. Siekiant, kad skaičiavimuose atsispindėtų ir energijos kaupiklis, nuspręsta tolimesnius skaičiavimus atlikti pasirinkus šiuos energijos kaupiklio parametrus:

- energijos kaupiklio talpa – 150 kWh;
- energijos keitiklio galia – 50 kW.

Šį pasirinkimą lėmė tai, kad pasirinkta energijos kaupiklio kombinacija yra didžiausia galima kombinacija, kuri padengtų bent 30 % diegiamos technologijos kaštų. Skaičiuojant elektros energijos sąskaitas su dinaminės kainos tarifu ir energijos kaupikliu remiamasi 2.4.3 skyrelyje aprašyta metodika. Metinę sąskaitą už elektros energiją sudaro trys dedamosios. Bendra sąskaita (žr. 5 lentelė) randama pagal formulę žemiau:

$$\text{Metinė sąskaita} = 1 \text{ dedamoji} - (2 \text{ dedamoji} + 3 \text{ dedamoji}) \quad (3)$$

5 lentelė. Elektros energijos sąskaitos įvertinant dinaminę kainą ir elektros energijos kaupiklį.

Metai	1 dedamoji, Eur	2 dedamoji, Eur	3 dedamoji, Eur	Metinė sąskaita už elektros energiją, Eur	Viso per eksploataavimo trukmę, Eur
1	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	2229289,123
2	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
3	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
4	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
5	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
6	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
7	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
8	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
9	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
10	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
11	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
12	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
13	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	

14	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	
15	161437,071	12518,658	299,138	148619,274	

#### 2.4.5. Visų įdiegtų efektyvinimo priemonių kaštų naudos analizė

Siekiant įvertinti diegiamų efektyvinimo priemonių, dinaminės kainos ir elektros energijos kaupiklio, kaip bendro projekto, finansinį efektyvumą ilgalaikėje perspektyvoje, atliekama kaštų naudos analizė (žr. 15 pav.).

Prognozuojant pinigų srautus reikalinga žinoti projektą apimančias išlaidas ir numatomas pajamas. Išlaidų skilčiai yra priskiriamos energijos kaupiklio su keitikliu investicijos į įrangą kartu su įrengimu ir numatomos eksploatacinės išlaidos visai projekto egzistavimo trukmei. Dinaminės kainos efektyvinimo priemonė nereikalauja papildomų investicijų, nes naudojama esama tiriamojo objekto elektros tinklo infrastruktūra. Atsižvelgiant, kad diegiamos efektyvinimo priemonės tiesioginių pajamų negeneruos, kaštų naudos analizės pajamų skiltį sudaro atskirų efektyvinimo priemonių sutaupyta pinigų suma atsiskaitant už elektros energijos suvartojimą. Pavyzdžiui, tiriamajam objektui pritaikius dinaminės kainos tarifą sumažės elektros energijos sąskaitos, būtent šis sąskaitų skirtumas ir bus efektyvinimo priemonės sukuriamos netiesioginės pajamos, kurios ir padės įvertinti projekto finansines galimybes.

Analizėje, įvertinant laiko veiksnio įtaką investicijų efektyvumui, naudojamas diskontavimas. Pagal Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos (VERT) duomenis [39] investicijų grąžos norma (WACC) pagal elektros sektoriaus įmones 2018 m. sudarė:

- AB „Litgrid“ - 4,90 %;
- AB „Energijos skirstymo operatorius“ - 4,88 %;
- AB „Lietuvos energijos gamyba“ - 4,95 %.

Atsižvelgiant į didžiausių elektros sektoriaus įmonių naudojamas WACC normas, daroma prielaida ir kaštų naudos analizės skaičiavimuose naudojamas investicijų grąžos norma lygi 5 %. Šis WACC rodiklis naudojamas kaštų naudos analizėje kaip diskonto norma diskontuojant pinigų srautus.

Metai	Išlaidos						Pajamos			Pinigų srautas	Diskontuotas pinigų srautas	NPV
	Investicijos		Eksploatavimo kaštai		Viso išlaidų	Diskontuotos išlaidos	Efektyvinimo priemonė		Viso pajamų			
	Energijos kaupiklis	Energijos keitiklis	Energijos kaupiklis	Energijos keitiklis			Dinaminė kaina	Energijos kaupiklis				
0	30 000 €	12 500 €	0 €	0 €	42 500 €	42 500 €	0 €	0 €	0 €	-42 500 €	-42 500 €	-42 500 €
1	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 905 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	11 286 €	-31 214 €
2	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 814 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	10 749 €	-20 465 €
3	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 728 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	10 237 €	-10 227 €
4	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 645 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	9 750 €	-478 €
5	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 567 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	9 285 €	8 808 €
6	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 492 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	8 843 €	17 651 €
7	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 421 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	8 422 €	26 073 €
8	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 354 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	8 021 €	34 094 €
9	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 289 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	7 639 €	41 733 €
10	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 228 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	7 275 €	49 008 €
11	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 169 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	6 929 €	55 937 €
12	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 114 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	6 599 €	62 536 €
13	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 061 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	6 285 €	68 821 €
14	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	1 010 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	5 985 €	74 806 €
15	0 €	0 €	1 500 €	500 €	2 000 €	962 €	12 397 €	1 454 €	13 851 €	11 851 €	5 700 €	80 507 €

15 pav. Tiriamajam objektui pritaikytų efektyvinimo priemonių kaštų naudos analizė

Skaičiavimo rezultatuose pateikiama ir dabartinė grynoji vertė (NPV), tai bendro viršpelnio, gauto per visą projekto gyvavimo laiką, dabartinės vertės matas. Naudojant 5 % diskonto normą NPV projekto pabaigoje siekia 80507 eurus. Projektas yra laikomas priimtinas, kai  $NPV > 0$ . NPV skaičiuota remiantis formule:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

čia  $CF_t$  – pinigų srautas laiko momentu  $t$ , €;

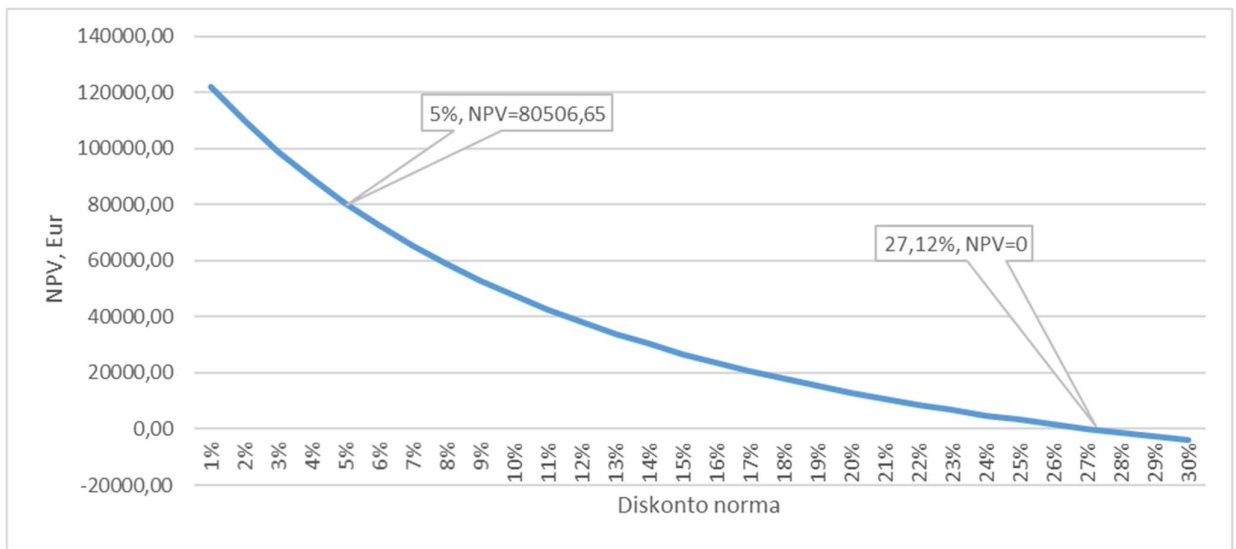
$i$  – diskonto norma;

$T$  – projekto trukmė, metais.

Taip pat skaičiuojamas ir vidinės pelno normos (IRR) rodiklis. IRR galima apibrėžti kaip diskonto normą, kuri sulygina išlaidų ir pajamų srautų dabartines vertes. Vidinė pelno norma laikoma diskonto normos reikšmė, prie kurios projekto pinigų srautas NPV yra lygus 0. Projekto IRR skaičiuota pagal MS Excel programinėje įrangoje siūlomą IRR() funkciją. Projekto skaičiavimuose gautas rezultatas parodė, kad NPV bus lygus 0, kai diskonto norma bus lygi 27,12 %, tai ir yra IRR rodiklis.

Kaip keičiasi dabartinė grynoji vertė priklausomai nuo diskonto normos projekto skaičiavimuose parodo atlikta jautrumo analizė (žr. 16 pav.). Jautrumo analizė atlikta keičiant diskonto normą nuo 1 % iki 30 %.





16 pav. Jautrumo analizė NPV priklausomai nuo diskonto normos

### **3. Naujų produktų ir paslaugų atsiradimo po Švarios energijos paketo galimybės ateityje**

#### **3.1. Energijos kaupiklių galimybės**

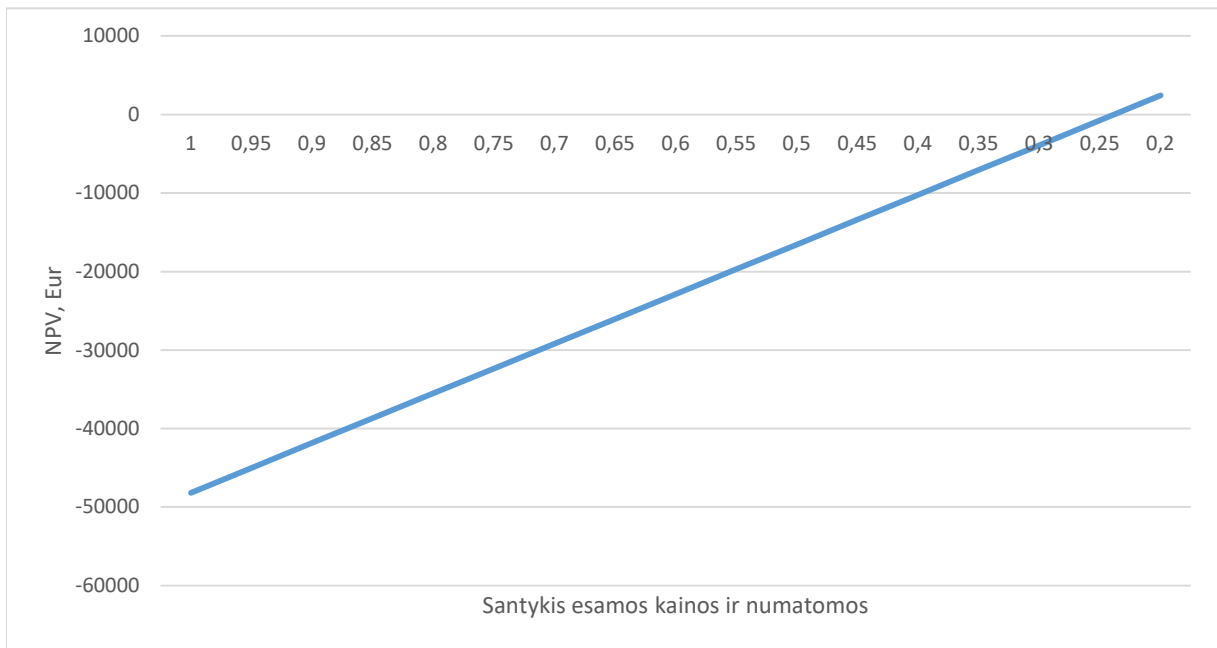
Atsižvelgiant į atliktą kaštų naudos analizę (žr. 15 pav.) galima matyti, kad energijos kaupikliai negeneruoja pajamų, kurios padengtų jų pačių eksploatacinių išlaidų, o tuo labiau pradinių investicijų. Siekiant įgyvendinti sėkmingą energijos kaupiklių projektą, būtina rasti sprendimų, kaip užtikrinti didesnes generuojamas pajamas, nei išlaidas. Šiam tikslui pasiekti galimi du keliai: mažinti energijos kaupiklių investicinius ir eksploatacinius kaštus arba didinti energijos kaupiklių sukuriama vertę. Kaip tai galima pasiekti aptariama šiame poskyryje.

##### **3.1.1. Energijos kaupiklio kaina**

Šiame darbe analizuojamų ličio jonų energijos kaupiklių kaina esamuoju laiku visuomet išlieka mažiausia, pagal konkurencingumo rinkoje dėsnius. Todėl tikėtis sumažinti pradinių investicijų kainą nekeičiant technologijos ar techninių parametrų yra beveik neįmanoma. Vienintelis būdas ličio jonų energijos kaupiklių įsigyti mažesne kaina yra tai daryti vėliau, laiko atžvilgiu. JAV nacionalinės atsinaujinančių šaltinių laboratorijos mokslininkų W. Cole ir A. Will Frazier atliktas tyrimas [40] parodė, kad ličio jonų energijos kaupiklių sistemos kaina iki 2030 metų sumažės 21-67 %, o iki 2050 metų 31-80 %. Kad šios technologijos kaštai mažės ateityje neprieštarauja ir kiti mokslo atstovai. Tačiau problema yra tame, kad nėra aišku, kada bus ta kaina, kuri užtikrintų sėkmingus investicinius projektus į energijos kaupiklių sistemas.

Pagal šiame darbe pateiktus duomenis atliekama jautrumo analizė, kuri parodo, kaip keičiasi projekto dabartinė vertė mažinant energijos kaupiklio pradines investicijas ir eksploatacinius kaštus (žr. 17 pav.). NPV skaičiuojamas pagal anksčiau atliktą kaštų naudos analizę (žr. skyrelį 2.4.5), bet anuliavus dinaminės kainos, kaip efektyvinimo priemonės, generuojamas pajamas. Pagal pateiktą paveikslą projekto dabartinė grynoji vertė yra didesnė už 0, kai energijos kaupiklio sistema bus pigesnė 76-77 %.

Tačiau reikia paminėti, kad laukti kol sumažės energijos kaupiklio kaštai gali tekti labai ilgai. Vienas iš būdų paskatinti vartotojus įsirengti energijos kaupiklius gali būti valstybės sukurtas paramos mechanizmas. Lietuvoje šiuo metu yra sukurta tik aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA), įgyvendinant 2014–2020 metų Europos Sąjungos fondų investicijų veiksmų programą, skiriama parama saulės elektrinių įsirengimui. Su šia parama vartotojas gali padengti iki 30 % saulės elektrinės kaštų. Tikėtina, kad ateityje galėtų atsirasti ir atitinkamas paramos modelis energijos kaupikliams. Tai paskatintų įsirengti energijos kaupiklių sistemą anksčiau, nei atpigs pati sistema iki finansiškai patrauklaus taško.



17 pav. Jautrumo analizė NPV priklausomai nuo energijos kaupiklių sistemos investicinės ir eksploatacinės kainos

### 3.1.2. Alternatyvios energijos kaupiklio naudos

Šiame darbe atliktoje kaštų naudos analizėje energijos kaupikliai vertinti tik iš finansinės pusės, tai reiškia, kokią naudą vartotojui atneš pinigų verte. Tačiau į energijos kaupiklių naudą galima žvelgti ne tik iš finansinės, bet ir iš ekonominės prizmės, kuri apimtų ir kitas atnešamas naudas, tokias kaip:

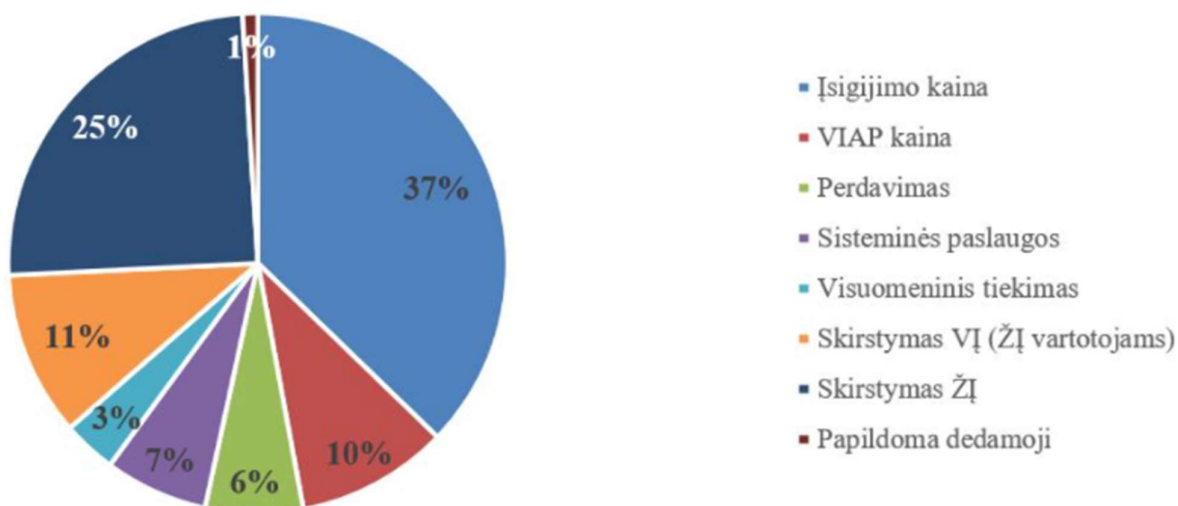
- bendruomeninė (telkimo) energetika, kuri padėtų vartotojams telktis į bendruomenės apjungiant keletą vartotojų ir taip padidinti vartotojams tiekiamos elektros energijos kokybę. Energijos kaupikliai taptų kaip priemonė balansuoti elektros energijos paklausą ir pasiūlą bendruomenės lygmenyje;
- elektromobilių integravimas į elektros energijos tinklą. Elektromobiliai, kaip žinia, reikalauja didelio energijos kiekio per santykinai trumpą laiko tarpą. Energijos kaupikliai užtikrintų lankstumą elektros energijos tinkle ir leistų integruoti elektromobilius;
- lankstumas ir lankstumo paslaugos, kas yra būtina siekiant integruoti atsinaujinančios energijos šaltinius ir valdyti gamybos ir apkrovų grafikus. Energijos kaupimas ir apkrovos valdymas yra keli lankstumo paslaugų pavyzdžiai;
- lokaliai nutolusių vartotojų elektros energijos patikimumas. Geografiškai nutolusios bendruomenės dažnai susiduria su elektros energijos trukdžiais, energijos kaupikliai leistų užtikrinti techninius reikalavimus tenkinančią elektros energiją.

Šias alternatyvias naudas finansinių požiūriu įvertinti būtų sudėtinga, bet akivaizdu, kad jos suteikia elektros energetikos sistemai patikimumo, efektyvumo ir saugumo. Būtent dėl to valstybė galėtų svarstyti paramos mechanizmą energijos kaupiklių įrengimui ir taip paskatinti vartotojus prisidėti prie efektyvaus elektros energijos užtikrinimo vartotojams.

### 3.2. Dinaminės kainos perspektyvos

Šiame darbe atliktame tyrime buvo naudojama vienos laiko zonos elektros energijos kaina perkamai elektros energijai iš tinklo, kuri lygi 0,137 Eur/kWh. Atitinkamai atlikta palyginamoji analizė su vidutine valandos dinamine elektros kaina, kuri svyruoja nuo 0,11438 Eur/kWh iki 0,14123 Eur/kWh. Šių dinaminių kainų santykiniai nuokrypiai nuo vienos laiko zonos kainos svyruoja nuo 3,09 % iki -16,02 %. Taigi kyla klausimas, ar tai yra didžiausia dinaminių kainų svyravimo amplitudė.

Atsižvelgiant į Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos (VERT) visuomeninius tarifus galiojusius iki 2020-12-31 [33], galima matyti, kad dieninė ir naktinė energijos tarifo kaina atitinkamai yra lygi 0,155 Eur/kWh ir 0,099 Eur/kWh. Šių kainų santykiniai nuokrypiai nuo vienos laiko zonos kainos (0,137 Eur/kWh) yra nuo 13,14 % iki -24,52 %. Remiantis šiais skaičiais, galima teigti, kad elektros energijos rinka yra pakankamai lanksti, kad dinaminė kaina dienos ir nakties atžvilgiu galėtų svyruoti didesne amplitude. Dienos metu dinaminė elektros energijos kaina galėtų būti brangesnė mažiausiai 10 % ir atitinkamai mažesnė mažiausiai 8,5 %, nei dinaminė elektros energijos kaina įvertinus tik energijos įsigijimo kainos lankstumą. Tai paskatintų didesnę energijos kaupiklių generuojamą finansinį pelną vartotojui, kuomet naktį energijos kaupikliai būtų užkrauti pigesne elektros energija, kurią vartotojas išnaudotų dienos metu, kada elektros energijos kaina būtų brangesnė.



18 pav. Vidutinės elektros energijos kainos struktūra 2021 m., proc. [41]

Siekiant išsiaiškinti, kas gali lemti didesnius elektros energijos kainos svyravimus, reikia peržvelgti elektros energijos kainodarą (žr. 18 pav.) ir įvertinti kiekvienos kainos dedamosios lankstumo galimybes. Darbe iš pastovios į dinaminę kainą buvo paversta tik viena iš dedamųjų, įsigijimo kaina. Elektros energijos kaina 2021 m. Lietuvoje be įsigijimo kainos susidaro dar iš 7 dedamųjų:

- sisteminių paslaugų kaina;
- skirstymo paslaugos žemos įtampos tinklais;
- VIAP kaina;
- visuomeninio tiekimo paslaugos;
- perdavimo paslaugos;

- skirstymo paslaugos vidutinė įtampos tinklais;
- papildoma dedamoji.

Siekiant įvertinti elektros energijos kainodaros dedamųjų svyravimų lankstumą reikėtų žvelgti per paklausos prizmę, kaip atskira dedamoji gali keistis reaguojant į suvartojamos energijos padidėjimą arba pamažėjimą.

Perdavimo paslaugas šiuo metu teikia perdavimo operatorius Lietuvoje AB „Litgrid“. Perdavimo paslaugas apima elektros energijos perdavimas aukštos įtampos elektros linijomis. Perdavimo paslaugos yra reguliuojamos ir jas reguliuoja Valstybinės energetikos reguliavimo taryba. 2021 metams VERT nustatė perdavimo operatoriui 0,721 ct/kWh viršutinę perdavimo paslaugos ribą ir beveik 72,2 milijono Eur siekiančias pajamas. Esant viršutinei perdavimo paslaugos kainos ribai sudaryti lankstumo sąlygas priklausomai nuo energijos paklausos yra sudėtinga.

Panašiais ribojimais, kaip ir perdavimo paslaugas, yra VERT apribojusi skirstymo paslaugos vidutinė įtampos tinklais ir skirstymo paslaugos žemos įtampos tinklais paslaugas. Už šias paslaugas Lietuvoje yra atsakingas skirstymo operatorius AB „Energijos skirstymo operatorius“. Šios paslaugos suteikia galimybę elektros energiją perduoti žemos ir vidutinės įtampos elektros linijomis.

Viešuosius interesus atitinkančių paslaugų (VIAP) biudžetas 2021 metams sudaro 125,047 mln. Eur. Visi šie pinigai yra skiriami gamybai, balansavimui ir centralizuotai prekybai elektros energijai pagamintai iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Atsižvelgiant į tai, kad atsinaujinantys energijos šaltiniai generuoja elektros energiją nestabiliai, sudaryti lankstumo galimybių kainos atžvilgiu yra sudėtinga. Subalansuoti atsinaujinančius energijos šaltinius reikia nepriklausomai nuo elektros energijos paklausos. Sumažėjusi elektros energijos paklausa balansavimo problemas tik padidina. Esant mažesniai suvartojimui, atsinaujinančių šaltinių generuojama elektros energija procentiškai užima didesnę dalį bendroje elektros energijos gamybos suvestinėje. Taip atsitinka dėl to, kad Lietuva yra įsipareigojusi supirkti elektros energiją iš gamintojų, kurie gamina elektrą atsinaujinančiais energijos šaltiniais.

Panašiais ribojimais, kaip ir VIAP paslaugas, yra VERT apribojusi sisteminės paslaugas. Už šias paslaugas Lietuvoje yra atsakingas perdavimo operatorius AB „Litgrid“. Šios paslaugos užtikrina stabilų elektros energijos sistemos darbą, užtikrinant reikalingą rezervą ir reguliuojant aktyvią bei reaktyvią galią. Remiantis atitinkama logika, kaip ir su VIAP paslaugomis, elektros energijos sisteminės paslaugos negalėtų lanksčiau prisitaikyti pagal elektros energijos paklausos svyravimus.

Papildoma dedamoji elektros energijos kainodaroje sudaro mažiausią dalį. Ši dedamoji skirta kompensuoti visuomeniniui elektros energijos tiekėjui UAB „Ignitis“ padengti nuostolį atsiradusį dėl tarp faktinių ir prognozuotų elektros energijos įsigijimo kainos skirtumo. Didėjant įrengtų energijos kaupiklių kiekiui, ši dedamoji turėtų mažėti. Tačiau reikia paminėti, kad gal būt ši sumažėjusi elektros kainos dedamoji galėtų tapti puiki galimybe surinktas lėšas skirti energijos kaupiklių paramai.

Dar viena elektros energijos kainos dedamoji yra visuomeninio tiekėjo paslaugos. Už šią paslaugą atsakinga UAB „Ignitis“ įmonė. Paslaugos įkainis vertinamas pagal metinį energijos suvartojimą vartotojų, kurie pasirinkę visuomeninį tiekėją. Kadangi vertinama yra metų laiko duomenys, lankstumas čia yra minimalus, o atsižvelgiant į tai, kad ši dedamoji sudaro taip pat mažą dalį bendroje elektros kainoje, šios paslaugos lankstumas nepadarytų didelės įtakos dinaminei kainai.

Elektros energijos kainodaros dedamosios skirstomos į reguliuojamas ir nereguliuojamas. Visos dedamosios yra priskiriamos reguliuojamoms, išskyrus įsigijimo kainą, jei darysime prielaidą, kad ji atitinka elektros energijos kainą rinkoje. Lietuvos elektros energetikos rinkoje kainos lankstumas įmanomas tik konkurencinėje dalyje. Ten kur yra rinka, atsiranda ir veikia pasiūlos paklausos mechanizmas. Perdavimo, skirstymo paslaugos ir kitos elektros energijos kainodaros dalys, išskyrus įsigijimo kainą, yra natūrali monopolija, todėl vartotojų lankstumo paslaugų teikimas šioms kainodaros dalims netaikytinas.

## Išvados

1. Naujos po Švarios energijos paketo priimtoms priemonėms tokios, kaip vartotojų galimybės patiems pasigaminti elektros energiją, burtis į gaminančių vartotojų bendruomenes, telkimo paslaugų prisidėjimas prie paklausos valdymo, vartojimo lankstumas ar dinaminės kainos taikymas, leis ne tik pasiekti klimatui neutralios elektros energetikos politikos tikslus Europos Sąjungoje, bet ir užtikrinti saugų, efektyvų ir patikimą elektros energijos tiekimą. Taip pat naujos priemonės leis sparčiau integruoti atsinaujinančius šaltinius ir hibridines elektrines ar kombinuotą generaciją.
2. Telkimo ir lankstumo paslaugų elektros energijos rinkoje leistų pasiekti energijos kaupikliai. Atlikus energijos kaupiklių palyginamąją analizę KTU atsinaujinančių išteklių sistemai parinkta 150 kWh talpos ličio jonų energijos kaupiklių sistema kartu su 50 kW energijos keitikliu. Į sistemos kainą įskaičiuota krovimo valdikliai ir kitos reikalingos investicijos kaupiklių sistemai. Pagal sumodeliuotus skaičiavimus energijos kaupiklis, kaip atskiras projektas, finansiškai neefektyvus ir tam, kad ličio jonų baterijos būtų patrauklios investuoti, kaina turėtų sumažėti 76-77 %.
3. Pritaikius dinaminės kainos tarifo ir energijos kaupiklio priemones tiriamiems objektams, metines sąskaitas už elektros energiją galima sumažinti nuo 162 tūkst. Eur iki 148 tūkst. Eur, kas sudaro apie 9 % nuo pradinės vertės. Šis sutaupymas susideda iš dinaminės kainos pritaikymo, kas sudaro apie 90 % viso sutaupymo, ir energijos kaupiklio, kurio sutaupymas siekia apie 10 %.
4. Atlikus kaštų naudą analizę diegiamoms priemonėms suskaičiuota, kad esant 5 % diskonto normai grynoji dabartinė vertė (NPV) projekto pabaigoje siekia 80507 eurus, o vidinė pelno norma (IRR) 27,12 %. Pagal suskaičiuotus rodiklius projektas laikomas palankus investuoti.
5. Įvertinus galimybes ateityje, galima teigti, kad ličio jonų baterijų energijos kaupikliai ateityje finansiškai bus prieinami kiekvienam vartotojui, o kaupiklių sukuriamos alternatyvios naudos sukurs galimybę apsvarstyti paramą jiems. Dinaminė elektros energijos kaina ateityje galėtų svyruoti tarp 13,14 % ir -24,52 % vieno laiko zonos tarifo kainos. Tai pavyktų įgyvendinti taikant dinaminę kainą elektros energijos kainodaroje vietoj energijos įsigijimo kainos.

## Literatūros sąrašas

1. [1] „bp Statistical Review of World Energy 2020“, p. 68, 2020.
2. [2] R. A. Zakhidov, „Central Asian countries energy system and role of renewable energy sources“, *Appl. Sol. Energy*, t. 44, nr. 3, p. 218–223, rugs. 2008, doi: 10.3103/S0003701X08030201.
3. [3] „Renewable power generation costs in 2019“, p. 144.
4. [4] M. Marčiukaitis *ir kt.*, „Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo Lietuvoje patirtis, reikšmė ir siekiai“, *Energetika*, t. 62, nr. 4, Art. nr. 4, lapkr. 2016, doi: 10.6001/energetika.v62i4.3394.
5. [5] S. Pelka, L. J. de Vries, ir M. Deissenroth, „The impact of weather and of batteries on the investment risk for backup gas power plants in a largely renewable energy system“, *16th International Conference on the European Energy Market, EEM 2019*, t. 2019-September, 2019, doi: 10.1109/EEM.2019.8916469.
6. [6] J. Lin, Y. Sun, L. Cheng, ir W. Gao, „Assessment of the power reduction of wind farms under extreme wind condition by a high resolution simulation model“, *Applied Energy*, t. 96, p. 21–32, rugpj. 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.10.028.
7. [7] „Litgrid“. <https://www.litgrid.eu/index.php/energetikos-sistema/elektros-energetikos-sistemos-informacija/irengtoji-galia/502> (žiūrėta geg. 22, 2020).
8. [8] „World electricity generation by energy source 2017“, *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/269811/world-electricity-production-by-energy-source/> (žiūrėta geg. 21, 2020).
9. [9] „Nuclear energy statistics - Statistics Explained“. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Nuclear\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Nuclear_energy_statistics) (žiūrėta geg. 23, 2020).
10. [10] „World oil supply and demand, 1971-2018 – Charts – Data & Statistics“, *IEA*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-oil-supply-and-demand-1971-2018> (žiūrėta geg. 21, 2020).
11. [11] „World Oil Statistics - Worldometer“. <https://www.worldometers.info/oil/#oil-reserves> (žiūrėta geg. 21, 2020).
12. [12] „Carbon Dioxide Emission Factors for Coal“. [https://www.eia.gov/coal/production/quarterly/co2\\_article/co2.html](https://www.eia.gov/coal/production/quarterly/co2_article/co2.html) (žiūrėta geg. 21, 2020).
13. [13] V. Adomavičius, „ŠIUOLAIKINIAI ELEKTROS ENERGIJOS KAUPIKLIAI“, p. 18.
14. [14] R. Vizgirda, „Saulės elektrinės naudojimo galimybių Kruonio HAE tyrimas / Rytis Vizgirda, Martynas Vitkauskas, (vadovas V. Adomavičius).“, *E2TA-2018: Elektronika, elektra, telekomunikacijos, automatika: 15-osios studentų mokslinės konferencijos pranešimų medžiaga*, p. 7–11, 2018.
15. [15] „batteries\_europe\_strategic\_research\_agenda\_december\_2020\_\_1.pdf“. Žiūrėta: geg. 17, 2021. [Interaktyvus]. Adresas: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/batteries\\_europe\\_strategic\\_research\\_agenda\\_december\\_2020\\_\\_1.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/batteries_europe_strategic_research_agenda_december_2020__1.pdf)
16. [16] European Commission. Joint Research Centre., *RMIS, raw materials in the battery value chain: final content for the Raw Materials Information System : strategic value chains : batteries section*. LU: Publications Office, 2020. Žiūrėta: geg. 17, 2021. [Interaktyvus]. Adresas: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/239710>
17. [17] T. Trainer, „Some problems in storing renewable energy“, *Energy Policy*, t. 110, p. 386–393, lapkr. 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.07.061.
18. [18] Taylor T. M, „Energy storage“, *EPJ Web of Conferences*, t. 189, p. 00009, 2018, doi: 10.1051/epjconf/201818900009.
19. [19] H. C. Gils, „Assessment of the theoretical demand response potential in Europe“, *Energy*, t. 67, p. 1–18, bal. 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.02.019.



20. [20] „XI-2133 Dėl Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo“. <https://www.e-tar.lt/portal/legalAct.html?documentId=TAR.E151BC09AE62> (žiūrėta geg. 27, 2020).
21. [21] „XI-1375 Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas“. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.398874> (žiūrėta geg. 27, 2020).
22. [22] „Implementing Technology that Benefits Consumers in the Clean Energy for All Europeans Package“. <https://www.ceer.eu/1765> (žiūrėta geg. 27, 2020).
23. [23] „Energy union“, *Energy - European Commission*, kovo 08, 2017. [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/energy-union\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/energy-union_en) (žiūrėta geg. 28, 2020).
24. [24] „Fourth Report on the State of the Energy Union“, *Europos Komisija - European Commission*. [https://ec.europa.eu/commission/publications/4th-state-energy-union\\_en](https://ec.europa.eu/commission/publications/4th-state-energy-union_en) (žiūrėta geg. 28, 2020).
25. [25] „Eurostat - Tables, Graphs and Maps Interface (TGM) graph“. [https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&language=en&pcode=t2020\\_31&toolbox=type](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&language=en&pcode=t2020_31&toolbox=type) (žiūrėta geg. 28, 2020).
26. [26] „Atspari energetikos sąjunga ir perspektyvi kovos su klimato kaita politika“. [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/euco-sibiu-energy-union-climate-change-policy\\_lt.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/euco-sibiu-energy-union-climate-change-policy_lt.pdf) (žiūrėta geg. 28, 2020).
27. [27] J. Paska, P. Biczal, ir M. Kłos, „Hybrid power systems – An effective way of utilising primary energy sources“, *Renewable Energy*, t. 34, nr. 11, p. 2414–2421, lapkr. 2009, doi: 10.1016/j.renene.2009.02.018.
28. [28] A. Giacchino, E. Repetto, ir A. G. Gianotti, „Hybrid Solutions for Power Generation Industry“, *Energy Procedia*, t. 148, p. 814–821, rugpj. 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.08.116.
29. [29] I. San Martín, A. Ursúa, ir P. Sanchis, „Integration of fuel cells and supercapacitors in electrical microgrids: Analysis, modelling and experimental validation“, *International Journal of Hydrogen Energy*, t. 38, nr. 27, p. 11655–11671, rugs. 2013, doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.06.098.
30. [30] L. Ntziachristos, C. Kouridis, Z. Samaras, ir K. Pattas, „A wind-power fuel-cell hybrid system study on the non-interconnected Aegean islands grid“, *Renewable Energy*, t. 30, nr. 10, p. 1471–1487, rugpj. 2005, doi: 10.1016/j.renene.2004.11.007.
31. [31] V. Adomavičius, „ELEKTROMOBILIAI IR JŲ PLĖTROS PERSPEKTYVOS“, p. 16.
32. [32] N. Šašys, „Alternatyvusios energijos mikrotinklo projektavimas ir valdymas.“, *Technologijų ir verslo aktualijos - 2015 : studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga, Lietuva, Panevėžys, 2015 balandžio 24 d*, p. 95–101, 2015.
33. [33] „Elektra Visuomeniniai tarifai, galioję iki 2020-12-31“. <https://www.vert.lt/elektra/Puslapiai/tarifai/visuomeniniai-tarifai-galioje-iki-2020-12-31.aspx> (žiūrėta saus. 20, 2021).
34. [34] N. Javaid, A. Ahmed, S. Iqbal, ir M. Ashraf, „Day Ahead Real Time Pricing and Critical Peak Pricing Based Power Scheduling for Smart Homes with Different Duty Cycles“, *Energies*, t. 11, nr. 6, Art. nr. 6, birž. 2018, doi: 10.3390/en11061464.
35. [35] A. A. Mahmud, P. Sant, F. Tariq, ir D. Jazani, „A Real-Time monthly DR Price system for the Smart Energy Grid“, *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, t. 4, nr. 13, rugpj. 2017, Žiūrėta: geg. 05, 2021. [Interaktyvus]. Adresas: <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.3-8-2017.152981>
36. [36] S. Li, D. Zhang, A. B. Roget, ir Z. O’Neill, „Integrating Home Energy Simulation and Dynamic Electricity Price for Demand Response Study“, *IEEE Transactions on Smart Grid*, t. 5, nr. 2, p. 779–788, kovo 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2279110.
37. [37] „See hourly day-ahead prices.“ <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Hourly/> (žiūrėta saus. 11, 2021).

38. [38] „Atsinaujinantys ištekliai Elektros energiją gaminančių vartotojų naudojimosi elektros tinklais paslaugų kainos“. <https://www.vert.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/elektros-energija-gaminanciu-vartotoju-naudojimosi-elektros-tinklais-paslaugu-kainos.aspx> (žiūrėta saus. 22, 2021).
39. [39] „Elektra WACC-2018-2022“. <https://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/WACC-2018-2022.aspx> (žiūrėta bal. 24, 2021).
40. [40] W. J. Cole ir A. Frazier, „Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage“, NREL/TP-6A20-73222, 1529218, birž. 2019. doi: 10.2172/1529218.
41. [41] „VERT Patvirtinti 2021 m. elektros energijos tarifai buitiniams vartotojams“. <https://www.regula.lt/Puslapiai/naujienos/2020-metai/2020-lapkritis/patvirtini-elektros-energijos-tarifai-buitiniams-vartotojams-.aspx> (žiūrėta geg. 05, 2021).