

VILNIAUS UNIVERSITETAS
EKONOMIKOS IR VERSLO ADMINISTRAVIMO FAKULTETAS
EKONOMINĖS POLITIKOS KATEDRA

EKONOMINĖS ANALIZĖS STUDIJŲ PROGRAMA

Paulius Blažys

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

ELEKTROS KAINŲ ĮTAKOS ELEKTROS GAMINTOJŲ ELGSENAI ANALIZĖ	THE IMPACT OF ELECTRICITY PRICES ON ELECTRICITY GENERATORS BEHAVIOUR
--	---

Magistrantas _____
(parašas)

Darbo vadovas _____
(parašas)

Darbo vadovas Dr. Šarūnas Eirošius

Darbo įteikimo data:

Registracijos Nr.

Vilnius, 2020

TURINYS

1. LIETUVOS ELEKTROS RINKOS APŽVALGA	7
1.1. Europos Sąjungos teisės aktų reikalavimai.....	7
1.2. Efektyviai veikianti elektros energijos rinka	9
1.3. Didmeninės elektros rinkos priežiūra	11
1.3. Nord Pool elektros birža	13
1.4. Lietuvos elektros energijos gamyba	14
1.5. Investicijos į elektros energijos šaltinius	16
1.6. Veiksniai darantys įtaką elektros energijos kainoms.....	18
1.7. Gamintojų sprendimų elgesio problema ir vengimas rizikuoti dėl kainų nepastovumo.	20
2. ELEKTROS KAINOS PROGNOZAVIMO MODELIŲ APŽVALGA.....	26
2.1. Simuliaciniai modeliai	28
2.2. Pamatiniai modeliai	30
2.3. Supaprastintos formos modeliai.....	30
2.4. Dirbtinio intelekto modeliai.....	31
2.5. Statistiniai modeliai	31
3. ELEKTROS KAINŲ PROGNOZAVIMAS.....	33
3.1. Išankstinis duomenų apdorojimas.....	33
3.2 Savybių pasirinkimas.....	34
3.3 Modelio pasirinkimas	35
3.4. Tyrimo modelio sudarymas	36
4. EMPIRINIS ELEKTROS KAINŲ PROGNOZIŲ TYRIMAS	37
4.1. ARIMA prognozavimo modelis	45
4.2. Elektros energijos gamintojų elgsys vertinant investicijų atsipirkimą.....	48
LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	52
SUMMARY	59
SANTRAUKA.....	60

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Duomenų aprašomoji statistika	39
2 lentelė. VAR modelio eilės parinkimas	44
3 lentelė. Grangerio priežastingumo tyrimas	44
4 lentelė. Paklaidų patikrinimas	48

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 paveikslas. Lietuvoje elektros energijos gamyba ir elektros energijos kainos	15
2 paveikslas. Lietuvos elektros energijos kainos 2019 m. rugsėjo mėn. – 2020 m. spalio mėn...15	
3 paveikslas. Rizikos sąlyginės vertės iliustracija	23
4 paveikslas. Gerovė kaip rizikos vengimo funkcija	25
5 paveikslas. Elektros energijos kainų prognozavimo modelių klasifikacija	27
6 paveikslas. Empirinių duomenų tyrimo nuoseklumas	38
7 paveikslas. Dienos elektros energijos kainų grafikas, Eur/MWh	40
8 paveikslas. Dienos elektros energijos gamybos Lietuvoje grafikas, MWh	40
9 paveikslas. Duomenų pasiskirstymo tankio funkcija.....	41
10 paveikslas. Paklaidų eilutės autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos (PACF)	41
11 paveikslas. Po diferencijavimo gauta laiko eilutė.....	42
12 paveikslas. Paklaidų eilutės autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos (PACF) pašalinus nestacionarumą.....	43
13 paveikslas. Elektros kainų prognozės rezultatai, taikant ARIMA (5, 1, 2) modelį	47
14 paveikslas. Elektros kainų prognozės ARIMA modelio bandymas.....	47
15 paveikslas. Elektros energijos gamybos svertiniai kaštų ir prognozuojamos elektros energijos kainos palyginimas (EUR/MWh)	50

ĮVADAS

Europos Parlamentui 2009 m. balandžio 22 d. patvirtinus Trečiąjį elektros rinkų teisės aktų paketą nuo 2010 m. Lietuvos elektros energetikos sektoriuje įvyko esminės permainos: sustabdytas Ignalinos atominės elektrinės eksploatavimas, Lietuva iš elektros energiją eksportuojančios valstybės tapo importuojančia, 2010 m. elektros aukcioną pakeitė elektros birža, o nuo 2012 m. Lietuva tapo atskira „Nord Pool“ AS elektros biržos kainų prekybos nare. Taip pat pradėtas įgyvendinti elektros rinkos liberalizavimo procesas, nuo 2013 m. nereguliuojant elektros energijos kainų, už kurias visuomeninis tiekėjas parduotų elektrą komerciniams elektros rinkos dalyviams, o iki 2023 m. nebereguliuojamos elektros energijos kainos ir buitiniams elektros energijos vartotojams.

2019 m. birželio 14 d. Europos Sąjungos paskelbtas Švarios energijos paketas (angl. *Clean Energy Package*), kuriuo keliami trys pamatiniai tikslai 2030-iesiems metams: pirmiausia, tai užtikrinti energijos vartojimo efektyvumą, didinti Europos Sąjungos pasaulinę lyderystę atsinaujinančių energijos išteklių srityje ir sudaryti tinkamas ir konkurencingas sąlygas vartotojams aktyviai dalyvauti energetikos rinkose (Švarios energijos paketas, 2019). Įgyvenant Europos Sąjungos teisės aktus Lietuvoje numatomas ne tik vartotojų įtraukimas, bet kaip vienas svarbiausių elektros energetikos sektoriaus vystymo principų 2018 m. patvirtintoje Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje nustatytas – mažinti energetinę priklausomybę nuo elektros energijos importo, skatinant subalansuotas investicijas į vietinių patikimų ir konkurencingų pajėgumų plėtrą (Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, 2018). Lietuvos Respublikos Energetikos ministerija šiuo tikslu nuo 2025 m. siūlo sukurti Ilgalaiķį galių mechanizmą – priemonę, skirta elektros energetikos sistemos adekvatumui užtikrinti ir investicijoms į elektros gamybos pajėgumus paskatinti (Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2019).

Paklausa ekonomikoje tai – ketinimas ir galimybė įsigyti prekę ar paslaugą (Vainienė, 2015). Europos sąjungos elektros energetikos sistemos struktūra yra pagrįsta laisvos rinkos principais, kurie skatina konkurenciją tarp rinkos dalyvių, kurie laikytini elektros energijos vartotojais ir gamintojais. Nors vartotojų atsakas į elektros kainų pokytį yra neelastingas (Nakajima ir Hamori, 2010) ir Lietuvoje nesant įdiegtų išmaniųjų paklausos valdymo priemonių (angl. *demand side response*) nereaguojantis į kainas, gamintojų gaunamos naudos dėl pagamintos elektros energijos pardavimo bei investicijų sprendimai priimami remiantis elektros kainų prognozėmis (Europos elektros energijos perdavimo sistemos operatorių tinklas, 2019). Lietuvos Respublikos Energetikos ministerijai formuojant Lietuvos elektros energetikos gamybos ir investicijų į naujus generacijos šaltinius plėtrą siūloma, kad šios investicijos turėtų būti skatinamos naudojant

finansines valstybės pagalbos priemonės, kadangi elektros energijos rinkoje besiformuojančios kainos nesiunčia pakankamų signalų patiems gamintojams priimant sprendimus dėl elektros energijos gamybos ir naujų investicijų į gamybos plėtrą.

Šiame darbe pirmiausia bus apžvelgiama Lietuvos elektros rinkos struktūra. Toliau nagrinėjami elektros energijos kainas skirti prognozuoti metodai, išskiriamos kiekvieno metodo pagrindinės savybės ir aptariami moksliniuose straipsniuose pateiktų šių metodų patikimumo rezultatai. Taip pat pasirenkamas konkretus elektros kainų prognozavimo metodas aprašant šio modelio sudarymo ir veikimo principus bei remiantis Lietuvos 2016–2020 m. spalio mėn. elektros kainų duomenimis atliekama elektros energijos kainų prognozė. Atsižvelgiant į pagrindinius veiksnius (elektros energijos gamybos svertiniai kaštai ir prognozuojama elektros energijos kaina), kuriais vadovaujantis gamintojai priima sprendimus dėl investicijų, bus pateiktas palyginimas, kokią įtaką prognozuojamų elektros energijos kainos turės elektros energijos gamintojų elgsenai priimant sprendimus dėl investicijų.

Magistrinio baigiamojo darbo tikslas – išnagrinėjus metodus, skirtus prognozuoti elektros energijos kainas, atlikti Lietuvos elektros kainų prognozę ir įvertinti prognozuojamų elektros kainų įtaką elektros gamintojų elgsenai jiems priimant sprendimus dėl investicijų.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti Lietuvos elektros energijos rinkos apžvalgą.
2. Nustatyti ir įvertinti elektros energijos kainų prognozėms taikomus modelius.
3. Elektros energijos gamintojų elgsenos pagrindiniai kriterijai, kuriais vadovaujantis priimami sprendimai dėl investicijų, aprašymas.
4. Atrinkti Lietuvos elektros energijos kainų prognozavimo modelį ir atlikti elektros energijos kainų prognozes.
5. Įvertinti prognozuojamų elektros kainų įtaką elektros gamintojų elgsenai priimant sprendimus dėl investicijų.

1. LIETUVOS ELEKTROS RINKOS APŽVALGA

Aprašomas Lietuvos elektros energijos rinkos kūrimo procesas, kurį lėmė Europos Sąjungos teisės aktų reikalavimai, taip pat rinkos struktūra, elektros kainas rinkoje formuojantys veiksniai bei pateikiama statistinė informacija apie elektros energijos rinkos kainas 2016–2020 m. spalio mėn.

1.1. Europos Sąjungos teisės aktų reikalavimai

2009 m. birželio 17 d. Briuselyje Europos Komisijos prezidentas ir Europos Sąjungos Baltijos jūros regiono valstybių (Danijos, Vokietijos, Estijos, Latvijos, Lietuvos, Švedijos, Suomijos ir Lenkijos) atstovai pasirašė Memorandumą dėl Baltijos energijos rinkos tarp sisteminių jungčių plano (*angl. Baltic Energy Market Interconnection Plan*; toliau – BEMIP), kuriuo nustatomos elektros rinkos ir gamtinių dujų rinkos gairės, apibrėžiančios infrastruktūrinius projektus, siekiant rinkų integravimo, jų įgyvendinimo organizavimą ir priežiūrą. Siekiant integruotos Baltijos jūros regiono energijos rinkos, pagrindiniai šio memorandumo tikslai yra: vienodos rinkos sąlygos (rinkos dalyvių nediskriminavimas; naujų dalyvių atėjimas be kliūčių); laisva tarpvalstybinė prekyba ir rinkos atvėrimas; laisva konkurencija kiekvienoje šalyje su efektyviais trečiosios šalies prieigos prie tinklų režimais; abipusiškumo principai prekyboje su ne Europos ekonominės teritorijos trečiosiomis šalimis; sumažinta rinkos koncentracija; pakankamai aukštas rinkos likvidumas; teisingas kainos formavimas (patikima ir skaidri elektros rinkos kaina); skaidrus pralaidumų paskirstymas, remiantis uždaruju (*angl. implicit*) aukcionu; skaidri rinkos informacija; efektyvi rinkos priežiūra, sukuriant nepriklausomą reguliavimo instituciją. Apibendrinus galima teigti, kad Baltijos energijos rinkos tarp sisteminių jungčių planas nustatė prioritetinę kryptį elektros energijos rinkų integracijai.

ES teisės aktais¹ numatyta sukurti Bendro intereso projektus elektros energetikos ir gamtinių dujų sektoriuose. Šiuo atveju Bendro intereso projektų sąrašas, kurį tvirtina Europos Komisija, skirtas integruoti izoliuotus Europos Sąjungos regionus į bendrą Europos Sąjungos energetikos rinką ir apima regioninės reikšmės energetikos infrastruktūros projektus. Europos Komisija 2013 m. spalio 14 d. paskelbė pirmąjį Bendro intereso projektų sąrašą. Pasiūlytame Bendro intereso projektų sąrašė kaip viena iš regioninių iniciatyvų išskirtas BEMIP. Europos Komisijos

¹ Europos Parlamento ir Tarybos 2013 m. balandžio 17 d. reglamentas (ES) Nr. 347/2013 dėl transeuropinės energetikos infrastruktūros gairių, kuriuo panaikinamas Sprendimas Nr. 1364/2006/EB ir kuriuo iš dalies keičiami reglamentai (EB) Nr. 713/2009, (EB) Nr. 714/2009 ir (EB) Nr. 715/2009 (OL 2013 L 115, p. 39).

siūlomame Bendro intereso projektų sąrašė nustatyti šeši BEMIP energetikos infrastruktūros projektai, kurių įgyvendinime dalyvauja Lietuva: trys elektros energetikos sektoriuje (Lietuvos – Lenkijos elektros jungtis „LitPol Link“; Estijos, Latvijos ir Lietuvos elektros energetikos sistemų sinchroninis prijungimas prie kontinentinės Europos tinklų; Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės pajėgumų išplėtimas), kiti trys – gamtinių dujų sektoriuje.

Vienas iš Europos Parlamento tikslų² yra sukurti visiškai veikiančią elektros energijos vidaus rinką, kartu integruojant izoliuotas sistemas, sudarančias vis dar Bendrijoje esančias vadinamąsias elektros energijos salas. Siekiant šio tikslo kiekvienais metais perdavimo sistemos operatorius, pasikonsultavę su visais atitinkamais suinteresuotaisiais subjektais, reguliavimo institucijai pateikia nacionalinį dešimties metų tinklo plėtros planą, grindžiamą esama ir numatoma pasiūla ir paklausa. Tinklo plėtros plane nurodomos veiksmingos priemonės, skirtos sistemos pajėgumų pakankamumui ir tiekimo saugumui užtikrinti. O siekiant užtikrinti didesnę viso elektros energijos perdavimo tinklo Bendrijoje skaidrumą, Europos elektros energijos perdavimo sistemos operatorių tinklas (angl. *European Network of Transmission System Operators, ENTSO-E*) parengia, paskelbia ir nuolat atnaušina visos Bendrijos dešimties metų tinklo plėtros planą. Į šį planą turi būti įtraukti veiksmingai veikiantys elektros energijos perdavimo tinklai ir būtinos regioninės jungiamosios linijos, svarbios komerciniu ar tiekimo saugumo aspektu.

Pažymėtina, kad projektai į prioritetinių projektų sąrašą įtraukiami remiantis perdavimo sistemos operatorių atliekamos kaštų ir naudos analizės rezultatais. ES perdavimo sistemos operatoriai projektų kaštų ir naudos analizes atlieka pagal Europos elektros energijos perdavimo sistemos operatorių tinklo parengtą kaštų ir naudos analizės metodiką (Europos elektros energijos perdavimo sistemos operatorių tinklas, 2019). Pagal šia metodiką vertinant investicijų į energetikos infrastruktūros projektų teikiamas socialines ir ekonomines nauda taikomas ekonominis optimizavimas, kurio metu vertinama nauda gaunama gamintojų, vartotojų ir perkrovų pajamų pokytis, kurį lemia skirtumas tarp elektros kainų tarp skirtingų kainų zonų. Generatorių gaunama nauda vertinama nustatant skirtumą tarp prognozuojamų elektros kainų ir gamintojų kaštų, vartotojų nauda apskaičiuojama kaip pokytis tarp vartotojų šiuo metu ir įgyvendintus projektus mokamų elektros energijų kainų, taip pat vertinamos gautinos perkrovų pajamos, kurias gauna perdavimo sistemos operatorius dėl kainų skirtumų tarp skirtingų kainų zonų. Todėl galima pažymėti, kad įgyvendinant Europos Sąjungos teisės aktuose įtvirtintus deklaratyvius ir polinius tikslus dėl rinkų integracijos perdavimo sistemos operatoriai atlieka

² Europos Parlamento ir Tarybos 2009 m. liepos 13 d. direktyva Nr. 2009/72/EB dėl elektros energijos vidaus rinkos bendrųjų taisyklių, panaikinančioje Direktyvą 2003/54/EB (OL 2009 L 511, p. 55).

investicijas, kurių ekonominę naudą iš esmės nulemia prognozuojamos elektros kainos pokytis įgyvendinus investiciją.

Apibendrinant galima teigti, kad Europos Sąjungos teisės aktai numato siekiamybę sukurti konkurencingą, likvidžią Europos Sąjungos elektros energijos vidaus rinką bei nustato priemones infrastruktūros projektų veiksmingam įgyvendinimui. Vienas esminių tokių infrastruktūros projektų vertinimo kriterijų yra ekonominė nauda, kurią gauna vartotojai ir gamintojai dėl prognozuojamų elektros kainos pokyčių.

1.2. Efektyviai veikianti elektros energijos rinka

Norint palyginti skirtingų rinkų dizainus, verta remtis Peter Cramton parašytu straipsniu apie pagrindinius geros rinkos dizaino tikslus (Cramton, 2017). Šiame straipsnyje nurodoma, kad reguliavimo institucijos siekia rinkos modelio, užtikrinančio patikimą elektros energiją už mažiausias vartotojų išlaidas. Tai galima suskirstyti į du pagrindinius tikslus. Pirmasis yra trumpalaikis efektyvumas: geriausiai panaudojant esamus išteklius užtikrinti vartotojų paklausą, o antrasis tikslas – ilgalaikis efektyvumas: užtikrinti elektros rinką, kad būtų tinkamai skatinamos veiksmingos ilgalaikės investicijos į elektros energijos pajėgumus. Pastarasis tikslas pasirodė sunkiausiai įgyvendintinas, kadangi efektyvios ilgalaikės investicijos skatinamos finansinės naudos, tačiau tai apsunkina elektros energijos perdavimo patikimumo tinklus reikalavimus. Trumpalaikis efektyvumas ir ilgalaikės investicijos, kurias sukelia aukštos elektros energijos kainos realiuoju laiku, tai yra esminės efektyviai veikiančios elektros energijos rinkos savybės.

Todėl lyginant skirtingus elektros energijos rinkos dizainus reikėtų atsižvelgti į šiuos rodiklius:

- Trumpalaikiai efektyvumo rodiklis – perdavimo tinklo naudojimo efektyvumas ir konkurencingų (ir likvidžių) rinkų pasiekimas ir rinkos galios klausimai.
- Ilgalaikis efektyvumo rodiklis – kainos signalo kokybė užtikrinant tinkamas ilgalaikes investicijas ir tinkamas rizikos valdymas, kad rinkos dalyviai galėtų investuoti.
- Kiti rodikliai – aplinkosaugos aspektai ir ateities iššūkiai, susiję su atsinaujinančių energijos šaltinių integravimu; rinkos dalyvių ir suinteresuotųjų subjektų nediskriminavimas; siūlomo projekto įgyvendinamumas techniniu požiūriu; reguliavimo intervencijos laipsnis.

Veiksmingas perdavimo tinklo naudojimas yra pagrindinis gero rinkos modelio rodiklis, kuris turėtų užtikrinti, kad būtų išpareigota efektyviausiems elektros energijos gamintojams siųsti signalą gaminti ir investuoti į pajėgumus atsižvelgiant į perdavimo tinklo apribojimus, taip pat į elektros nuostolius ir įvertinimą paklausos.

Kainos signalas su tinkama informacija apie vietą, prireikus atspindintis elektros energijos trūkumą, turėtų leisti priimti tinkamus ilgalaikius investicijų sprendimus ir paskatinti adekvačią pasiūlos reakciją į paklausą. Šis kainų signalas taip pat turėtų leisti laisvai patekti į rinką ir pasitraukti iš rinkos. Šį tikslą dėl tinkamų investicinių sprendimų (kuriuos priima rinkos dalyviai atskirai) šiandien vis sunkiau pasiekti, kadangi kai kurios technologijos (pvz., atsinaujinantys energijos šaltiniai, branduolinė, kombinuota šilumos ir elektros energija) ir kai kurie susitarimai yra palaikomi valstybės parama (Joskow, 2019), o kiti – ne, taip pat būtina atsižvelgti į nacionalinių paramos schemų poveikį rinkai.

Šie elementai, be kitų, vaidina svarbų vaidmenį siekiant ilgalaikio tiekimo saugumo (ilgalaikių investicijų signalo) tik energetikos rinkoje, kur priimami decentralizuoti investiciniai sprendimai: kainų viršutinių ribų nebuvimas, labai aukštų kainos, atspindinčios trūkumą, greita galimybė reaguoti į paklausą, sprendimus už rinkos, elektros energijos kainų trūkumo nustatymo mechanizmo egzistavimą, taip pat paramos kai kurioms technologijoms schemų lygis ir tinkamos CO2 kainos.

Atsižvelgiant į poreikį mažinti CO2 išmetimus elektros energijos rinkoje, jos struktūra turėtų palengvinti ir sudaryti sąlygas pereiti nuo iškastinio kuro prie atsinaujinančių šaltinių. Peter Cramton (2017) nurodo, kad užduotis nėra nereikšminga, nes pagrindiniai atsinaujinantys ištekliai, vėjas ir saulė, yra nepastovūs tiekimo šaltiniai ir neturi nulinių ribinių gamybos sąnaudų. Be to, šie ištekliai turėtų būti veiksmingai paskirstyti, o sumažinimas turėtų būti sumažintas iki minimumo.

Įvairių „rinką palengvinančių“ subjektų (tokių kaip perdavimo sistemos operatoriai ir paskirtieji elektros energijos rinkos operatoriai) valdymas yra pagrindinis elementas, leidžiantis tam tikram dizainui prisitaikyti prie naujų iššūkių ir pokyčių, pastebėtų rinkoje. Elektros rinkoms būdinga rinkos galia, kurią lemia dvi elektros rinkų ypatybės: konkurenciją riboja perdavimo sistema ir negalima vėluoti pristatyti elektros energijos, t. y. Reikia nedelsiant subalansuoti gamybą ir paklausą. Pavyzdžiui, net ir nesant perdavimo tinklo perkrovų, konkurencija realiuoju laiku arba balansavimo laikotarpis gali būti labai ribota. Rinkų persiuntimas ir balansavimo rinkos, kuriose sumažėja konkurencija, gali būti linkusios į rinkos galią.

Išnagrinėjus gero rinkos modelio rodiklius, likusioje šio skyriaus dalyje nurodomos sritys, kuriose turi būti reguliuojama elektros energijos rinkos veikla, t. y. tos sritys, kuriose reikalinga reguliavimo intervencija ir konkretus planas, bus atskiriamos nuo konkurencijai paliktų sričių. Tai rodo, kad rinkos jėgos - vadinamosios nematomos rankos - susijusios su individualaus pelno maksimizavimu, paskatins rinką pasiekti veiksmingą visuomenės rezultatą.

Elektros gamyba, elektros prekyba ir elektros tiekimas yra konkurencinga veikla. Tuo pačiu metu yra reguliuojama tinklo veikla, sudaranti natūralų monopolį, ir turi būti užtikrinta

nediskriminacinė trečiųjų šalių prieiga prie perdavimo ir paskirstymo tinklų. Tai paskatino daugiau reguliavimo, palyginti su iki elektros energijos rinkos liberalizavimo, t. y. monopolija.

Yveso Smeerso dokumente nurodoma, kad konkurencija yra Europos institucijų mėgstama priemonė didinant energetikos sektoriaus efektyvumą (Smeers, 2008). Konkurencijai reikalinga prekyba, veikla, kurią rinka gali organizuoti arba spontaniškai plėtoti. Patirtis ir teorija rodo, kad norint prekiauti elektra būtina tam tikra organizuotų rinkų forma, kadangi šią formą lemia dvi išskirtinės šios prekės savybės, dėl kurių buvo diskutuojama labiausiai nuo ankstyvų diskusijų po pramonės reformos: elektros energija nėra sandėliuojama ir ją sunku transportuoti.

Norint visiškai suprasti tam tikros formos organizuotos rinkos poreikį, naudinga prisiminti Adomo Smitho sukurtą metaforą „nematoma ranka“ (angl. *Invisible hand*), kad rinkos kaina gali suderinti nepriklausomų pirkėjų ir pardavėjų sprendimus ir maksimizuoti jų gaunamą naudą, nors šios veiklos niekas sąmoningai, centralizuotai ir planuotai neorganizuoja (Vainienė, 2015).

Taip pat elektros energetikos veikia ir fizikiniai dėsniai, iš kurių pagrindinis Kirchhoffo dėsnis, kuris nusako, kad fizinis elektros srautas nėra susietas su komerciniu srautu, todėl bet kurio atveju elektra teka iš gamybos šaltinių tolyn per elektros linijas visomis kryptimis – arba teka linijomis iš ten kur yra elektros energija į ten kur nėra elektros energijos (neapkrautos linijos).

Mansuro ir White (2012) darbe taip pat pateikimas panašus paaiškinimas dėl elektros rinkos organizavimo poreikio, kai prekiaujama elektros energija perdavimo sistemoje (Mansur ir White, 2012). Jų samprotavimai grindžiami tuo, kad prekiaujant elektros energija naudojamosi perdavimo tinklais, kuriuose fizinį elektros energijos perdavimą lemia trečiosios šalies (perdavimo sistemos operatoriaus) veiksmai, kuriuos rinkos dalyviams sunku įvertinti dėl neišsamios informacijos. Konkrečiai kalbant, rinkos dalyviai turi per mažai informacijos apie būklę, kad nustatytų, ar bus galimybę pagamintą elektros energiją fiziškai patiekti į elektros energiją ir patiekti vartojimui.

1.3. Didmeninės elektros rinkos priežiūra

ES teisės aktais rinkos dalyviams ir asmenims nustato išsamius su skaidrumu susijusius reikalavimus³. Rinkos dalyviams nustatyti draudimai bei pareiga skelbti viešai neatskleistą informaciją. Didmeninė elektros rinka pagrįsta konkurencija, tačiau nustatyti ir priežiūros teisės aktai. Rinkos dalyviai viešai, iš tikrųjų ir laiku atskleidžia viešai neatskleistą turimą informaciją apie verslą ar įrenginius, kuriuos atitinkamas rinkos dalyvis, jo patronuojančioji ar susijusi įmonė turi ar valdo arba už kurių eksploataavimo klausimus visiškai ar iš dalies atsako tas rinkos dalyvis ar įmonė. Tokiam atskleidimui priskiriama informacija, susijusi su elektros energijos gamybos,

³ 2011 m. gruodžio 28 d. Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas Nr. 1227/2011 dėl didmeninės energijos rinkos vientisumo ir skaidrumo.

vartojimo ar perdavimo įrenginių pajėgumais ir naudojimu, įskaitant numatytą ar nenumatytą galimybių pasinaudoti tais įrenginiais nebuvimą.

Pabrėžtina, viešai neatskleista informacija – tai viešai neatskleista tikslaus pobūdžio informacija, tiesiogiai ar netiesiogiai susijusi su vienu ar keliais didmeniniais energetikos produktais, kuri, jei būtų paskelbta viešai, tikriausiai turėtų reikšmingą poveikį tų didmeninių energetikos produktų kainoms. Tuo pačiu Energetikos reguliavimo institucijų bendradarbiavimo agentūra rekomendacijose⁴ pažymėta, jog informacija, susijusi su generavimo šaltinių ir gamybos vienetų atjungimu, kai planuojamas 100 MW ar daugiau generavimo šaltinių atjungimą, įskaitant 100 MW ar didesnę planuojamo generavimo šaltinių prieinamumo pokytį, kai tikėtina, jog tai truks ne mažiau kaip vieną rinkos laiko vienetą ir ne ilgiau kaip trejus ateinančius metus, turi būti atskleidžiama viešai per Europos perdavimo sistemos operatorių organizacijos skaidrumo platformą (angl. *ENTSO-E transparency platform*). Atsižvelgiant į tai, Agentūra nurodo, jog 100 MW galėtų būti naudojamas kaip indikacinis dydis, siekiant nustatyti, ar informacija gali turėti reikšmingą poveikį didmeninių energetikos produktų kainoms.

Taip pat atkreiptinas dėmesys, jog vadovaujantis Nord Pool AS Rinkos elgesio taisyklėmis⁵ informacija, galinti turėti įtakos didmeninių energetikos produktų kainoms, turi būti atskleista rinkai per Nord Pool sistemą ne vėliau kaip per 60 min. nuo tada, kai yra sužinoma apie atitinkamą įvykį/informaciją, galinčią turėti įtakos didmeninių energetikos produktų kainoms.

Elektros energijos rinkos kainų prognozavimas taip pat svarbus reguliavimo institucijoms, kadangi elektros energijos įsigijimo kaina yra pagrindinė vartotojų mokamo galutinio elektros energijos tarifo dedamoji, o jos kaina turi įtakos visiems elektros energijos gaminių lygiams. Taip pat vienas iš pagrindinių reguliavimo institucijų tikslų yra užtikrinti, kad elektros energija būtų prekiaujama konkurencingoje rinkoje, o naujiems dalyviams bus užtikrinta prieiga prie rinkos, o joje jau esantys gamintojai nepasinaudotų savo potencialia dominuojančia padėtimi.

Atsižvelgiant į tai, kas išdėstyta, ES teisės aktais nustatyti reikalavimai elektros energijos rinkos veikimo skaidrumui ir priežiūrai, tačiau tuo pačiu šie teisės aktai nurodo ir veiksnius, kurie gali daryti įtaką elektros rinkos kainoms. Identifikuoti veiksniai leidžia daryti išvadą, kad net trumpalaikiai elektros vartojimo ar generacijos pokyčiai gali turėti reikšmingą įtaką elektros kainoms.

⁴ Guidance on the application of Regulation (EU) No 1227/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on wholesale energy market integrity and transparency. Prieiga per internetą: https://www.acer.europa.eu/Official_documents/Other%20documents/4th%20Edition%20ACER%20Guidance%20REMIT.pdf [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.].

⁵ Nord Pool Elgesio rinkoje taisyklės (angl. *Market Conduct Rules*). Prieiga per internetą: <http://www.nordpoolspot.com/globalassets/download-center/rules-and-regulations/nordic-baltic-rulebook-march-2016/5-market-conduct-rules-15.03.2016-original.pdf> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.].

Reguliavimo institucijų atliekama rinkos priežiūra svarbi prognozuojant elektros energijos kainas vertinant istorinius elektros kainų ir elektros energijos gamybos duomenis, kadangi išskirtys (elektros kainų „šuoliai“) turėtų būti vertinami kaip natūralus elektros rinkos veikimas, o ne bandymas manipuluoti rinka.

1.3. Nord Pool elektros birža

Elektros rinkos tikslas – sudaryti konkurencines sąlygas ir užtikrinti veiksmingą elektros ūkio valdymą, o rinkos užduotis – sukurti vienodas ir skaidrias sąlygas visiems elektros gamintojams, tiekėjams ir vartotojams, siekiant maksimaliai efektyviai ir pigiai tiekti elektrą vartotojams (Štilinis, 2006). 1993 m. Norvegijoje buvo įkurtas elektros rinkos operatorius Nord Pool, prie kurio 1996 m. prisijungė ir Švedijos elektros rinka. 1998 m. prisijungus Suomijai, o 2000 m. Danijai buvo sukurtas bendras Skandinavijos šalių elektros rinkos operatorius. Elektros biržos kaina susiformuoja diena prieš atsižvelgiant į elektros pasiūlos ir paklausos kainas už kurias vartotojai ir gamintojai sutinka pirkti ir parduoti elektros energiją. Pažymėtina, kad tarp skirtingų šalių kainų zonų formuojasi skirtingos kainos dėl perdavimo tinklo perkrovų, t. y. elektros importas ir eksportas ribojamas techninės perdavimo tinklo infrastruktūros (Flatabo & Doorman, Gerard & Grande, Ove & Randen, H. & Wangensteen, I., 2003).

Lietuvoje elektros energijos didmeninė birža pradėjo veikti 2010 m. sausio 1 d., ją administravo UAB „Baltpool“ pagal Nord Pool platformos pavyzdį, tačiau naudojant supaprastintus kainos skaičiavimo principus, tačiau tai padėjo pagrindus atskiros Lietuvos prekybos zonos suformavimui. Estijoje Nord Pool pradėjo veikti 2010 m. balandžio 1 d., kuomet Estijoje buvo suformuota atskira Estijos prekybos zona. Lietuvoje Nord Pool perėmė elektros energijos didmeninės rinkos (biržos) administravimą 2012 m. birželio 18 d., tačiau Lietuvoje išliko atskira Lietuvos prekybos zona. Latvijoje Nord Pool pradėjus veikti 2013 m. birželio 3 d. nuo šios dienos Baltijos šalių prekybos zonos buvo sujungtos, ir buvo suformuota vientisa prekybos zona visoms trimis Baltijos šalims, kurios formavimo principas remiasi tiesioginio komercinio srauto suformavimu iš pigesnės kainų zonos į brangesnę, atsižvelgiant į perdavimo sistemos operatoriaus nustatytus pralaidumus tarp prekybos zonų.

Nord Pool biržos veikimas ir kainos nustatymas paremtas „Euphemia“ kainos nustatymo algoritmu⁶. „Euphemia“ kainos algoritmas buvo sukurtas siekiant išspręsti kitos dienos elektros kainos nustatymo problema rinkoje dalyvaujant skirtingoms kainų zonoms, todėl „Euphemia“

⁶ EUPHEMIA Public Description Single Price Coupling Algorithm, 10th April 2019, Prieiga per internetą: <https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/pcr/euphemia-public-description.pdf> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

derina energijos poreikį ir tiekimą visais dienos laikotarpiais vienu metu, atsižvelgiant į rinkos ir tinklo apribojimus. Pagrindinis „Euphemia“ tikslas yra maksimaliai padidinti socialinę gerovę, t. y. bendrą kitos dienos elektros kainos sukuriamą socialinę ekonominę naudą, kuri apskaičiuojama kaip vartotojų nauda, gamintojų nauda ir perkrovų pajamos, kurias gauna perdavimo sistemos operatoriai dėl kainų skirtumų tarp skirtingų kainų zonų. Tačiau pabrėžtina, kad „Euphemia“ skaičiavimo algoritmas yra komercinė Nord Pool biržos paslaptis, todėl nėra viešai prieinamas bei negali būti naudojamas elektros kainų pokyčių vertinimo tikslais.

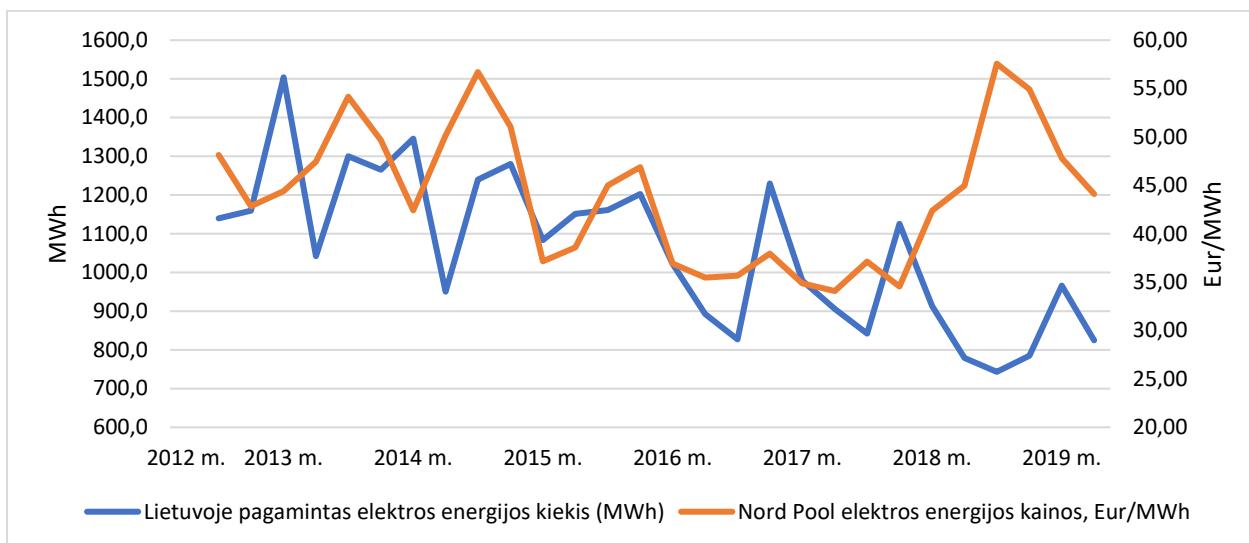
Atsižvelgiant į tai, Nord Pool yra vienintelė Lietuvoje veikianti elektros energijos birža atitinkanti ES teisės aktų reikalavimus. Taip pat visi istoriniai Nord Pool biržos duomenys yra viešai prieinami, todėl tinkami naudoti elektros kainų prognozavimui.

1.4. Lietuvos elektros energijos gamyba

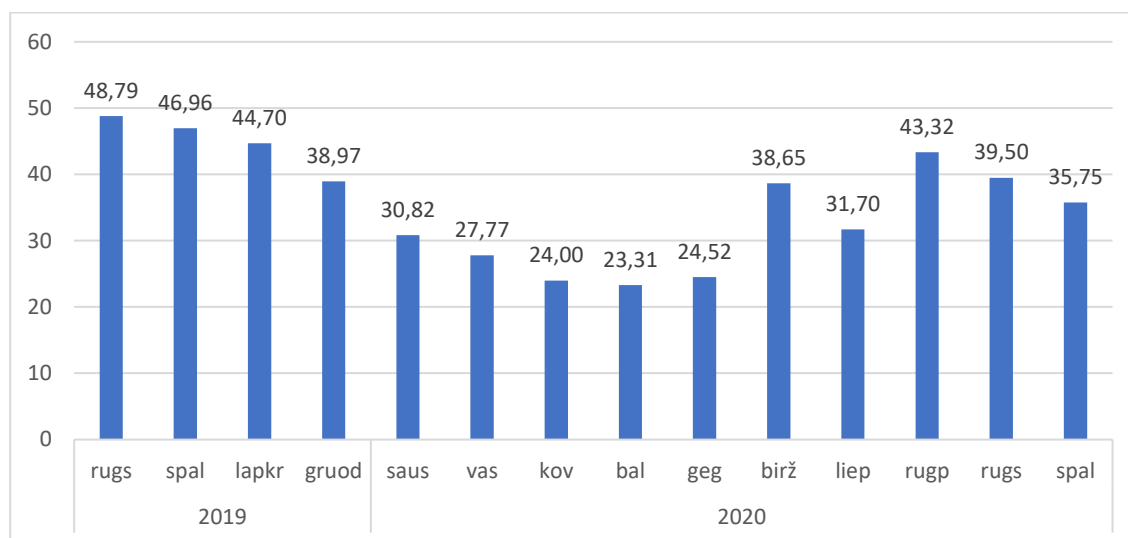
Iki 2010 m. pagrindinis elektros gamintojas Lietuvoje buvo Ignalinos atominė elektrinė, kuri tiekė daugiau nei 75 proc. visos šalyje pagaminamos elektros energijos. Po šios elektrinės Lietuvoje įvyko reikšmingas gamybos šaltinių diversifikavimas, kadangi uždarytos atominės elektrinės gamyba buvo keičiama šiluminių elektrinių gaminama elektros energija, nuo 2012 m. Lietuvoje pradėjo veikti Lietuvos elektrinės naujasis kombinuoto ciklo blokas bei vystoma atsinaujinančių išteklių plėtra.

Toks Lietuvos vietinės generacijos staigus sumažėjimas lėmė Lietuvos energetikos sistemos pasikeitimą iš eksportuojančios į importuojančią valstybę. Taip pat paminėtina, kad didžiąją dalį disponuojamos šiluminių elektrinių galios sudarė seni ir brangią elektros energiją gaminantys įrenginiai, todėl šių šaltinių gamyba iki 2016 m. būdavo subsidijuojama viešuosius interesus atitinkančių paslaugų lėšomis. Nuo 2016 m. pradėjus eksploatuoti naujas tarpsistemines jungtis su Švedija ir Lenkija, elektros vartojimo poreikis Lietuvoje gali būti užtikrintas elektros energijos importu.

L. J. De Vries teigia, kad gamintojai priima sprendimus gaminti elektros energiją, kai parduodamos elektros energijos kainos viršija ribinius gamybos kaštus (Vries, 2015). Esant nepakankamai elektros pasiūlai elektros rinkoje formuojasi aukštos kainos, kurios sukuria paskatas gamintojams investuoti į naujus generacijos pajėgumus. Todėl ir atvirkščiai, jeigu rinkoje susiformavusios elektros kainos yra mažesnės nei ribiniai gamybos kaštai, gamintojai nebus suinteresuoti gaminti elektros energijos. 1 pav. pateikimas Lietuvoje pagamintos elektros energijos kiekio ir Nord Pool elektros energijos kainų grafikas.



1 paveikslas. Lietuvoje elektros energijos gamyba ir elektros energijos kainos⁷



2 paveikslas. Lietuvos elektros energijos kainos 2019 m. rugsėjo mėn. – 2020 m. spalio mėn.⁸

Remiantis Valstybinė energetikos reguliavimo tarybos duomenimis dėl nekonkurencingų vietinių gamybos pajėgumų 2018 m. buvo importuota didžioji dalis elektros energijos. 2018 m. nuo bendro elektros energijos suvartojimo 26,6 proc. buvo pagaminta Lietuvoje veikiančiose elektrinėse ir tai mažesnė dalis nei 2017 m. (30,0 proc.). Elektros energijos importas 2018 m. sudarė 96,77 proc. bendro elektros energijos poreikio šalyje (2017 m. šis rodiklis siekė 89,61 proc., 2016 m. – 82,48 proc., 2015 m. – 63,19 proc.). 2018 m. buvo šalyje pagaminta 3,22 TWh

⁷ Sudaryta autoriaus pagal Nord Pool ir Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos duomenis. Prieiga per internetą: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Dayahead/Area-Prices/LT/Monthly/?view=table> ir <https://www.vert.lt/elektra/Puslapiai/elektros-rinkos-apzvalga/rinkos-stebesena.aspx> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

⁸ Sudaryta autoriaus pagal Nord Pool ir Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos duomenis. Prieiga per internetą: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Dayahead/Area-Prices/LT/Monthly/?view=table> ir <https://www.vert.lt/elektra/Puslapiai/elektros-rinkos-apzvalga/rinkos-stebesena.aspx> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

elektros energijos, elektros energijos importas sudarė 12,347 TWh, o eksportas – 2,804 TWh. Elektros energijos suvartojimas šalyje 2018 m. sudarė 12,107 TWh. (Valstybinės energetikos reguliavimo taryba, 2019)

1.5. Investicijos į elektros energijos šaltinius

Remiantis šiandienos patirtimi ir tokių autorių kaip Rintamaki, Siddiquib ir Salo (2014) teoriškai buvo įrodyta, kad nuo išteklių priklausančių gamybos pajėgumų, kurių itin mažos ribinės gamybos sąnaudos (vėjas, saulės energija) vėjuotu ir saulėtu laikotarpiu turi ženkliai įtaką ir sumažina vidutinę elektros kainą, tačiau šie gamybos ištekliai turi priešingą rezultatą kuomet yra tamsus ir nevėjuotas laikas. Šių technologijų didesnė integracija elektros energetikos sistemoje ir lemia, kad gamybos šaltinių lankstumo poreikis iš esmės pasikeis.

Todėl šiame kontekste buvo keliami klausimai apie dabartinių rinkų gebėjimą prisitaikyti prie kintančių aplinkybių ir toliau siųsti tinkamus ilgalaikius signalus, kad iš elektros energijos gaunomis pajamomis būtų padengiamos sąnaudos už būtinus ir patikimus pajėgumus, užtikrinant lankstumą ir tiekimo saugumą (Rintamaki, Siddiquib ir Salo, 2014).

Kalbant apie dabartinę atsinaujinančiųjų energijos išteklių politiką ir Europos žaliojo susitarimo gaires (Joskow, 2019), nacionalinės reguliavimo institucijos yra atsakingos už tai, kad taisyklių nustatymas leistų rinkoms tinkamai veikti ir skatinti ilgalaikes investicijas į atsinaujinančius energijos šaltinius ir, kiek reikia, įprastus gamybos pajėgumus.

Antroji šio baigiamojo darbo dalis bus:

(1) Ištirti elektros energijos gamintojų elgesį – sprendimo priėmėjo problemą ir vengimo rizikuoti padarinius.

(2) Pasiūlykite keletą dabartinio rinkos modelio raidos variantų, kad būtų išspręsti iššūkiai, kuriuos, be kita ko, kelia atsinaujinančiųjų energijos išteklių plėtra ir didelės apyvartinių taršos leidimų (CO₂) kainos.

Pažymėtina, kad neseniai pradėjus itin stipriai investuoti į atsinaujinančius elektros energijos išteklius išryškėjo ilgalaikių investicijų į gamybos pajėgumus klausimas, todėl, kad investicijos į elektros gamybą visada buvo iššūkis, net prieš rinkos liberalizavimą. Atkreiptinas dėmesys, kad elektros energijos gamintojai norėdami gauti valstybės paramą ar bent jau silpną kainų kontrolę dažniausiai tvirtino, kad investicijoms į gamybinį turtą būdinga daug kliūčių:

1. Dėl to, kad elektros energija nėra saugoma, o elektros energijos gamyba realiuoju laiku turi būti derinama su vartojimu.

2. Didelis neapibrėžtumas, susijęs su gamyba (nutraukimu) ir vartojimu (paklausa priklauso nuo trumpalaikio oro sąlygų ir vidutinės trukmės ekonomikos augimo).

3. Be to, reikia ilgai numatyti paklausą, kad galėtume visą laiką patenkinti paklausą, nes naujų gamybos pajėgumų statymo laikotarpis ilgas.

4. Elektros gamintojai turi pasirinkti iš daugybės labai skirtingų technologijų. Su statybos sąnaudų neapibrėžtumu.

5. Kai kurie pajėgumai yra intensyvūs kapitalui ir turi ilgą atsipirkimo laikotarpį.

Siekiant išspręsti šias elektros energijos gamintojų iškeltas problemas anksčiau vertikalčiai integruotose monopolijose buvo taikomas reguliavimas, įskaitant vyriausybės nuosavybę ir paramą. Šie buvę modeliai buvo sukurti remiantis supaprastintomis prielaidomis, paliekant mažai vietos, pavyzdžiui, gamintojų reagavimui į paklausą. Manoma, kad elektros energijos paklausa nepriklauso nuo kainos, todėl yra išorinė monopolinio sistemos operatoriaus požiūriu. Taip pat elektros energijos paklausa gali skirtis kiekvieną valandą, t. y. trumpuoju laikotarpiu būti neelastinga, ją kontroliuoja vartotojai, o ne sistemos operatorius – išskyrus išskirtinių elektros trūkumo sąlygomis. Todėl remdamasis šiomis prielaidomis, centrinis planuotojas galėjo nustatyti optimalų gamybos įrenginių sąstatą. Kainų ir investicijų sąnaudų suderinamumas buvo užtikrintas taikant specialų tarifą, maksimaliai išnaudojant turimus išteklius. Pirmiau minėti teiginiai buvo skirti sukurti reguliavimo institucijų norą priimti „specifinį tarifą“.

Nepaisant to, senieji centrinio planuotojo modeliai buvo nuolat atsisakomi. Kaip apibūdino Joskow (2019), paprastai manoma, kad reguliuojamos monopolijos turi menkas paskatas kontroliuoti eksploatavimo ir statybos sąnaudas, palaikyti optimalų generatorių prieinamumą, nurašyti nudėvėtą turtą, per daug investuoti į naujus gamybos pajėgumus, nesugeba agresyviai ieškoti naujovių ir didinti efektyvumą. Teoriškai liberalizuotas modelis turėtų veikti geriau nei reguliuojama monopolija.

Liberalizuota rinka reiškia sprendimų decentralizavimą. Jei konkurencingi rinkos mechanizmai būtų gerai suprojektuoti ir nebūtų rinkos galios, konkuruojantys gamintojai turėtų dideles paskatas kontroliuoti statybos ir eksploatavimo sąnaudas, išlaikyti prieinamumą, ieškoti naujovių, investuoti į rinką ir išeiti iš rinkos sumažinant numatomus nuostolius.

Be to, energijos ir pagalbinių paslaugų neatidėliotinos kainos organizuotose didmeninėse rinkose yra skaidrios. Šios kainos yra pagrindinis signalas priimant sprendimus dėl investavimo ir pasitraukimo. Jei šie kainų signalai bus tinkamai perduodami vartotojams, kurie geriau keičia

ribinių kaštų svyravimus taikydami kintamą mažmeninę kainą, bus skatinamas efektyvesnis ne tik gamintojų, bet ir vartojimo elgesys.

Tačiau elektros rinkos liberalizavimas padidino konkurencijos spaudimą šioje situacijoje, todėl elektros gamintojai dabar konkuruoja dėl gamybos ir mažmeninės rinkos dalių. Kaip ir daugumoje kitų rinkų, konkurencija taip pat reiškia neapibrėžtumą, nes gamintojai turi numatyti konkurentų elgesį ir būsimą politiką.

Subsidijuojamų atsinaujinančių išteklių plėtra yra ryškus pavyzdys, kadangi daugeliu atvejų iškastinei ir branduolinei gamybai taip pat taikomos tiesioginės ar numanomos subsidijos (pvz., Tiesioginės išmokos, kogeneracinių elektrinių parama). Suinteresuotosios šalys taip pat turi susidoroti su palaikomos gamybos schema ir numatyti politinius sprendimus, kurie gali pakeisti jų rezultatus. Į šį faktą reikia atsižvelgti kuriant naują tradicinės kartos palaikymą. Kuo daugiau sukurtų politikos mechanizmų, tuo didesnė netikrumas.

1.6. Veiksniai darantys įtaką elektros energijos kainoms

Decentralizuotos energijos rinkos veikimas išsamiai aprašytas 1.2–1.4 poskyriuose. Apibendrinant žemiau pateikiamos išvados, taip pat remiantis Oren S. (2003) studija.

Kitos dienos rinkose pirminiai pajamų šaltiniai, kurie būtų naudojami padengti pajėgumų išlaikymo sąnaudas yra skirtumas tarp elektros energijos rinkos kainos ir ribinių gamintojų sąnaudų. Taip pat konkurencingose elektros energijos rinkose galimi ir papildomi pajamų šaltiniai, tokie kaip ilgalaikių pajėgumų rinkos ir ilgalaikiai elektros energijos pirkimo–pardavimo kontraktai. Pirmasis leidžia tiesiogiai gauti su galia susijusias pajamas, antrasis – papildomas pajamas tuo atveju, kai sistemos operatorius atskirai įsigyja papildomas paslaugas reikalingas užtikrinti sistemos patikimumo ir saugomo parametrus, todėl elektros energijos gamintojai gali uždirbti papildomų pajamų, parduodami papildomas paslaugas šių paslaugų rinkose.

Ekonomikos teorija rodo, kad ilgalaikėje perspektyvoje kurioje pajamos gaunamos tik už pagamintą elektros energiją optimalus gamybos pajėgumu rezervas yra toks, kad esant elektros energijos trūkimui būtų taikomi tokio dydžio mokėjimai ribiniams gamintojams, kai paklausa viršija pasiūlą, kurie tiksliai padengs šių generatorių pajėgumų sąnaudas ir atitinkamai pateiks tinkamas paskatas mažinti paklausą artėjančiam trūkimui (t. y. dėl trūkumo bus pakankamai reaguojama į paklausą, kad turima pasiūla galėtų patenkinti likusią paklausą).

Be to, pusiausvyroje tarp energijos rinkų, optimalus generacijos derinys (kai generatoriams būdingos pastoviosios ir kintamosios kaštai) bus toks, kad kiekvieno tipo generatoriaus veiklos

pelnas tiksliai padengs jų pajėgumų sąnaudas. Šis optimalus pusiausvyros derinys pasiekiamas kuomet iš rinkos „išseina“ elektros energijos gamintojai, kurie nepadengia savo išlaidų, ir į elektros energijos rinką patekus gamintojams, kurių sąnaudų struktūra arba veiklos efektyvumas duos veiklos pelną, viršijantį jų pajėgumų sąnaudas. Trūkstant pajėgumų rinkoje gaunamas pelnas pritrauks naujų elektros energijos gamybos pajėgumų plėtrą. Kita vertus, pertekliniai gamybos pajėgumai pašalins trūkumo atvejus, kuomet tam tikrais atvejais dėl itin išaugusios neelastingos paklausos gali formuoti itin aukštos elektros energijos kainos. Tačiau taip pat gali būti situacija kuomet dalis elektros energijos gamintojų objektyviai negalės padengti savo investicijų išlaidų, todėl jeigu tokie gamintojai negaus ir papildomų pajamų, pavyzdžiui per tam tikrus papildomus mokėjimus pagrįstus politiniais pagrindais arba teikiant papildomas paslaugas generuojančias papildomas pajamas, pavyzdžiui kogeneraciniu režimu vykdant ne tik elektros energijos, bet ir šilumos gamybą ir kt. Todėl papildomų pajamų ar skatinimo negavimas lems ankstyvą išėjimą iš rinkos, o tai sumažins bendrus rinkoje esančius pajėgumus. Pažymėtina, kad šis vertinimas aktualus, kadangi darbe bus atliekamas vertinimas kokias paskatas investicijoms į elektros energijos gamybos pajėgumus sukuria prognozuojamos elektros energijos kainos.

Atkreiptinas dėmesys, kad paminėtas ilgalaikių ir papildomų paslaugų rinkų poveikis suteikia galimybę gamintojams užsitikrinti didesnę pelno maržą, to tai savo ruožtu taip pat padeda greičiau finansuoti investicines pajėgumų sąnaudas. Taigi „standartinė“ decentralizuota rinkos teorija ilgalaikėms ir trumpalaikėms kainoms skiria pagrindinį vaidmenį derinant investicijos atsipirkimo laiką, susiejant trumpalaikius ir ilgalaikius sprendimus. Būtent prognozuojamų kainų lūkesčiai suteikia pagrindinę informaciją apie investicijas, įskaitant ir įrangos pasirinkimą. Techninius prisitaikymus prie kintančių rinkos sąlygų taip pat skatina tie patys prognozuojamų kainų signalai, tokie kaip prognozuojamas elektros energijos kainų svyravimas, kuris sąlygoja tokių priemonių pasirinkimą kaip elektrinių lankstumas, optimizuotas kuro saugojimo planavimas, eksploatavimo automatizavimas ir kt.

Pažymėtina, kad decentralizuotas rinkos modelis remiasi prielaida, kad rinka yra su tobula konkurencija ir tobula informacija. Remiantis šia prielaida, daroma prielaida, kad rinka puikiai atkartoja optimalias kainas, užtikrindama trumpalaikį ir ilgalaikį ryšį vertinant investicijų atsipirkimą, todėl net ir atlikus vidinio laikotarpio kainų prognozes galima į jas atsižvelgti priimant sprendimus dėl investicijų. Tačiau tikroji rinka nėra tobula, kadangi atsiranda galimų trikdžių, atsirandančių dėl politinių intervencijų (pavyzdžiui atsinaujinančių energijos išteklių ir kogeneracinių elektrinių parama, CO₂ kainodara, pajėgumų mokėjimai, mokesčiai ir pan.). Todėl formuojant valstybės energetikos politikos gaires būtina užtikrinti, kad politinės intervencijos

poveikis būtų mažesnis už ilgalaikių, dienos ir papildomų paslaugų rinkos pajamų pagrindinį poveikį.

Elektros energijos biržos pagrįstos valandinių kainų sistema veikimas turėtų užtikrinti socialiai optimalų investicijų ir paskirstymo tarp investuotinių technologijų lygį, kad būtų galima stebėti valandos poreikį. Vien valandiniai kainų signalai leistų pasiekti optimalią gamybos įrenginių struktūrą, sumažinant ilgalaikius kaštus padengiant valandinius reikalavimus ir užtikrinant tiekimo patikimumą. Laikoma, kad valandos kainų lygis, suderintas su paskutinės dar priimtos elektrinės kintamosiomis sąnaudomis, arba prarastos apkrovos vertė gali padengti vidutines metines visas fiksuotas įvairių technologijų sąnaudas, remiantis šių tobulos konkurencijos prielaidų, įskaitant tinkamą kapitalo grąžą.

Apibendrinant tai, kas išdėstyta aukščiau, darytina išvada, kad prognozuojamos elektros energijos kainos yra pagrindinis kriterijus priimant sprendimus dėl investicijų, kadangi tobulos rinkos sąlygomis iš rinkos gaunamos pajamos padengia ribinius gamintojų kaštus, tačiau taip pat elektros energijos gamintojai linkę pasinaudoti ir papildomomis rinkų galimybėmis, kurios leistų gamintojams maksimizuoti pelno maržą ir užtikrinti greitesni ilgalaikių investicijų atsipirkimą.

1.7. Gamintojų sprendimų elgesio problema ir vengimas rizikuoti dėl kainų nepastovumo

Šioje dalyje bus nagrinėjama gamintojų sprendimų elgesio problema, t. y. kodėl sudėtinga priimti sprendimus dėl investicijų į elektros gamybos pajėgumus remiantis prognozuojamomis elektros energijos kainomis. Šis klausimas taip pat buvo plačiai nagrinėjamas tokių autorių kaip René AĪD (René AĪD, 2014). Kaip jau buvo aptarta anksčiau, standartinė teorija yra paremta tuo, kad jei tikėtina būsimo naujo elektros energijos gamybos pajėgumo diskontuota nauda viršys dabartinės išlaidas, tai investuotojai tokia investiciją sukurs. Ši taisyklė vadinama grynosios dabartinės vertės taisykle (angl. *net present value NPV*), kuri iš esmės taikoma ne tik investicijoms į elektros energijos gamybos pajėgumus, bet taip pat sprendimams dėl investicijų ir kitose pramonės šakose.

Tačiau, kaip pabrėžė Finon ir Marty (2009) trumpalaikių elektros energijos kainų nepastovumas dėl atsinaujinančių energijos šaltinių plėtros bei politinės intervencijos (pvz., CO2 kainodaros, iškastinio kuro laipsniško nutraukimo) sukuria pakankamą neapibrėžtumą ir ilgalaikių tendencijų neaiškumą, kuris lemia pajamų lūkesčių neužtikrintumą. Tiek trumpalaikės tiek ilgalaikės elektros energijos kainų prognozės, kurios yra suderintos su ribinėmis naujausių technologijų gamybos sąnaudomis ir atsispindi nuoseklioje valandinėse rinkose nebūtinai parodo

tikrąją elektros energijos rinkos būklę ir galimų pajėgumų trūkumą. Todėl tai iš esmės lemia tai, kad gamintojai investuoja be jokių garantijų, kad kainos atitiks jų ilgalaikių ribinių sąnaudų raidą.

Itin daug kapitalo reikalaujančiame sektoriuje, tokia kaip elektros energija, sprendimai priimami dėl visiškai ar iš dalies negrįžtamų investicijų. Patirtos išlaidos yra priimanos tokia apimtimi, kad investuotojas negalės atgauti visų patirtų investicijų išlaidų, jeigu nuspręs atsisakyti rinkos sąlygų pasidarius nepalankiai padėčiai, kurios turės turės įtakos tikėtinioms naujo investuotojo būsimoms pajamoms. Atsižvelgdamas į dideles pastovias išlaidas ir techninius apribojimus (ypač didelius daugumos elektros energijos gamybos priemonių atveju), toks investuotojas negalės užbaigti suplanuotos investicijos ir tada turėtų nuspręsti jo nenaudoti, kad nepatirtų dar didesnių nuostolių.

Būtent tokie neapibrėžtumai ir gali turėti esminės įtakos sukeldami rizikos vengiantį investuotojų elgesį, kurie, norėdami apskaičiuoti savo ateities pelno lūkesčius, negali pasikliauti prognozuojama elektros energijos kaina, kadangi jie turi priimti sprendimus neapibrėžtoje aplinkoje. Tuo pačiu atkreiptinas dėmesys, kad finansinių priemonių naudojimas siekiant apsaugoti riziką neužtikrina sprendimo dėl investicijos tvirtumo, kadangi šiuo metu nėra ilgesnių nei 3 metų produktų likvidumo (primintina, kad vidutinė investicijų į elektros energijos gamybos pajėgumus trukmė siekia 30 metų). Tuo pačiu metu, jei dėl didesnės rizikos investicijos yra brangesnės, patikimumo standartas tuo pačiu bus sumažintas dėl šio rizikos padidėjimo.

Todėl be elektros energijos kainos prognozių taip pat svarbi priemonė, skirta investavimo sprendimams pagrįsti yra analizė įvertinanti, ar vieną ar du dešimtmečius į ateitį galima tikėtis kuro ir CO₂ kainų kitimo, elektros energijos suvartojimo, atsinaujinančiųjų energijos išteklių plėtos ir pan. Šie didelio „kapitalo reikalaujantys“ projektai dažnai reikalauja banko finansavimo ar projektų finansavimo struktūrų, o skolintojai reikalauja garantijų ir pajamų, taip pat apimtų ir kainų matomumo. Praktiškai rizika, kurią prisiima investuotojas, padidindamas pajėgumus, gali būti įvairių formų (Petiteta, Finonb, Janssen 2017). Žemiau pateikiamas galimų rizikos formų apibendrinimas.

Kiekio rizika

Kiekio rizika, tai rizika, susijusi su pagamintos ir parduotos elektros energijos kiekiu rinkoje, kuri labai priklauso nuo vartotojų elektros poreikio. Kiek mažiau kiekio rizika taip pat priklauso nuo gamybos vienetų prieinamumo. Ši kiekio rizikos šaltinį galima iš dalies apsidrausti imantis techninių priemonių sumažinti priverstinėms ir neplanuotoms prastovoms.

Atkreiptinas dėmesys, kad dėl atsinaujinančių šaltinių per metus pagamintos elektros energijos kiekis taip pat yra labai jautrus oro sąlygoms.

Kainos rizika

Kainos rizika, tai rizika, susijusi su pajamomis iš rinkoje parduodamos elektros energijos, kuri priklauso nuo elektros kainų, kuro bei CO2 kainų. Atkreiptinas dėmesys, kad patikimai įvertintinas būsimos elektros rinkos perspektyvos laikotarpis yra treji metai, o investicijų laikotarpis mažiausiai 10 metų, todėl būtent šių laikotarpių „prasilenkimas“ ir lemia kainos rizikos. Taip pat paminėtina, kad technologiniai pokyčiai taip pat gali reikšmingai paveikti kainų riziką.

Išlaidų rizika

Išlaidų rizika, tai rizika, susijusi su investicijų sąnaudomis (plieno kainomis, finansavimo ir kt.) arba vertinant mažesniu mastu – eksploataavimo ir techninės priežiūros sąnaudomis, kurios gali reikšmingai paveikti elektrinės grynąją dabartinę naudą, t. y. investicijos atsipirkimo laikotarpį. Atsižvelgiant į technologijas, kuro sąnaudos ir CO2 taip pat gali kelti riziką projektui (pavyzdžiui investicijoms kurios kaip kuro šaltinį naudoja iškastinį kurą (anglis).

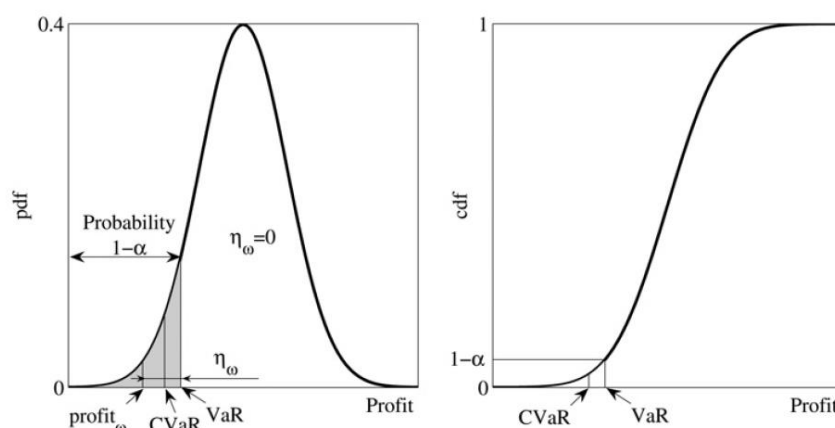
Technologinė rizika

Technologinė rizika, tai rizika, susijusi su statybos laikotarpiu, prieinamumo koeficientu ar apkrovos koeficientu, tai gali būti reikšmingas rizikos šaltinis, jei nebus tinkamai valdoma. Aplinkos apribojimai gali stipriai paveikti pajamas. Politinė ir reguliavimo rizika taip pat gali būti reikšminga. Palyginti su apimties ir kainos rizika, energijos įmonė gali apsisaugoti nuo techninės rizikos nuolat tobulindama savo žinias ir kompetenciją.

Galima teigti, kad privačių investicijų į elektros sektorių atveju yra bendras susitarimas dėl tiekėjo pusės vengimo rizikai (René AÏD, 2014). Tačiau labai sunku įvertinti rizikos vengimo lygį, kadangi tokį vertinimą galima atlikti ekonometrine rinkos arba įmonės duomenų analize arba laboratoriniais eksperimentais, tačiau paprastai abu metodai priklauso nuo laiko ir konteksto, kuriam atliekama ši analitika. Tačiau empirinio rizikos vengimo elektros energijos sektoriuje įvertinimo nebuvimas netrukdo siūlyti elektros kainos prognozavimo modelius, kuriuose būtų

atsižvelgiama į vengimą rizikuoti. Todėl praktiškai elektros sektoriui modeliuoti buvo naudojami toliau aprašyti metodai (René AÏD 2014 ir Abada, Maere, Smeers, Yves 2017):

Von Neumann-Morgenstern naudingumo funkcijos, atsiradusios ekonomikoje 1953 m. ir rizikos funkcijos taikomos finansų srityje (Harsanyi 1987) yra du metodai, susiejantys deterministinę atitikmenį su rizikingu atsipirkimu. Pastarasis yra tiesiogiai susijęs su rizikos valdymo praktikoje naudojamais rizikos kriterijais. Sąlyginė rizikos vertė (angl. *Conditional Value at Risk (CVaR)*) tapo plačiausiai naudojama nuoseklios rizikos funkcija. Tada investavimo kriterijus yra vertinamas taip: investuojama į naują įrangą, jei jo bendro pelno, apskaičiuoto pagal skirtingus paklausos scenarijus, CVaR yra didesnis arba lygus jo pajėgumų kainai.



3 paveikslas. Rizikos sąlyginės vertės iliustracija

Šaltinis: G. de Maere d'Aertrycke, 2017.

Kapitalo turto kainodaros modelis (angl. *Capital Asset Pricing Model CAPM*), kurį pirmiausia 1964 m. sukūrė William Sharpe daugiausia naudojamas ilgalaikėms investicijoms (Fama ir French, 2004). Jame teigiama, kad tikėtina finansinio turto i grąža atitinka pusiausvyrą:

$$r_i = r_f + \beta_i(r_m - r_f)$$

kur r_f yra laukiama grąža iš nerizikingo finansinio turto, r_m yra tikėtina grąža iš rinkos portfelio ir:

$$\beta_i = \frac{cov(\Gamma_i, \Gamma_m)}{\sigma_m^2}$$

yra rinkos portfelio grąžos dispersija. Kapitalo turto kainodaros modelis teigia, kad investuotojas tikisi perteklinės grąžos virš nerizikingos normos, proporcingos rinkos rizikos premijai. Kuo labiau finansinio turto grąža r_i koreliuoja su rinkos grąža r_m , tuo didesnė tikėtina

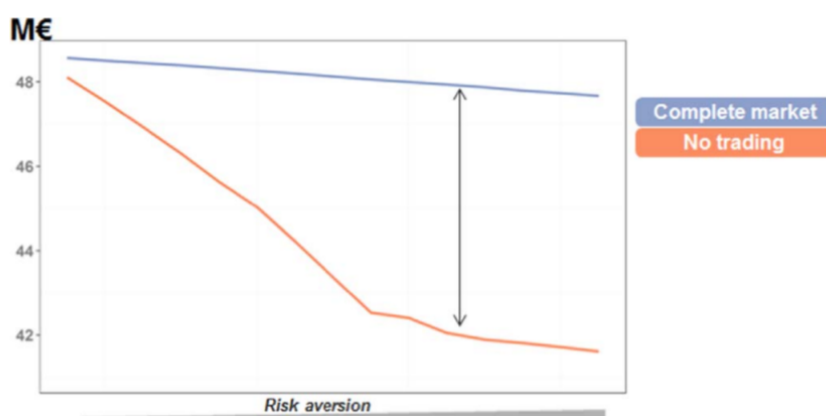
graža. Investuotojas tikisi gauti atlygį tik už sisteminę projekto riziką, t. y. tokią riziką, kurios negalima panaikinti gerai diversifikuotu portfeliu. Kapitalo turto kainodaros modelis paprastumas daro jį pagrindiniu finansų įmonių skaičiavimo priemone.

Realios pasirinkimo galimybės: dabartinės grynosios vertės taisyklė nurodo, kad investicija turi būti padaryta iškart, kai jos dabartinė vertė viršija jos sąnaudas. Tikrosios pasirinkimo taisyklės meta iššūkį šiam klausimui, kuri teigia, kad jei sprendimus priimantis asmuo gali palaukti ir jei investicija yra negrįžtama, tuomet investicijos neturėtų būti vykdomos pagal dabartinės grynosios vertės taisyklę, kadangi tai turėtų būti įvertinta pagal taisyklę, kuri vertina šią galimybę laukti.

Jei yra galimybė palaukti, tada sprendimų priėmėjas turėtų naudoti šią laisvę kaip kontrolinį kintamąjį, kad padidintų įmonės vertę iki didžiausios įmanomos. Todėl po to, kai Arrow ir Fisher (1974) ir Henry (1974) išryškino realius realiosios ekonomikos variantus, pagrindinį realių variantų teorijos konceptualizavimą siūlo Myersas (1977), kuriame kritikuojamas bendras vertinimas ir teigiama, kad „reikšminga daugelio firmų dalis „rinkos vertė apskaitoma iš dar neturimo turto, t. y. pagal dabartinę būsimų augimo galimybių vertę“.

Toje pačioje tendencijoje Trigeorgis (1998) teigia, kad tradicinis dabartinės grynosios vertės skaičiavimo principas neatsižvelgia į lankstumą valdant projektą, taigi jis palaiko realių galimybių naudojimą. Todėl taip pat galimas būdas atsižvelgti į šios rizikos vengimą yra vadinamasis kliūčių tarifas, kuris padidina gražą, kurią investuotojas nori gauti iš savo investicijų.

Aukštas rizikos vengimo lygis, kuris padidina nuosavo kapitalo kainą, yra linkęs priartinti sistemą prie blogos ilgalaikės pusiausvyros. Be to, tai paskatintų neoptimalų technologijų vystymąsi (Petiteta 2016) ir paskatintų socialiai neefektyvų investicijų pasirinkimą: investicijų į didžiausius pajėgumus trūkumą, kuomet pirmenybė teikiama technikos sektoriams, kuriuose nėra labai daug kapitalo reikalaujančios įrangos.



Šaltinis: G. de Maere d'Aertrycke, 2017.

Be to, svarbu prisiminti, kad ne tik gamintojai nenori rizikuoti, bet ir vartotojai. Kadangi elektros kaina nėra reguliuojama, vartotojai gali susidurti su kainų šuoliais. Todėl kai kurie vartotojai vertina kainų dinamiką ir yra pasirengę mokėti daugiau gamintojams nei įprastos elektros energijos kainos su tikslu, kad būtų išvengta potencialiai didelių kainų šuolių. Todėl šis poveikis yra svarbi priemonė norint išvengti elektros energijos gamintojų rizikos vengimo: jie gali iš dalies perkelti riziką į vartotojų apsidraudimo priemones.

Todėl sprendimų priėmėjo problema iš tikrųjų turi pirkėjus ir pardavėjus, kurie abu rizikuoja dėl priešingų priežasčių (susidoroja su kylančiomis kainomis arba negauna pakankamai naudos iš žemesnių kainų). Supaprastinus šią gamintojų elgsenos dėl investicijų problemą, tai, kad elektros energijos gamintojai yra linkę prisiimti mažesnę pelną, kad sumažintų neapibrėžtumą, o vartotojas mokėtų daugiau dėl tos pačios priežasties, turėtų sukelti pusiausvyrą, kai apsidraudimo produktų kaina atspindi numatomą energijos vertę be jokios rizikos premijos. Tai patvirtina Eydeland ir Wolyniec (2003).

Išvestiniai finansiniai produktai nėra vienintelis sprendimas sušvelninti riziką sutelkiant tiekėjų ir vartotojų nenorą prisiimti neapibrėžtumų rizikos, kadangi vertikalčiai integruota struktūra arba ilgalaikis susitarimas taip pat sumažina riziką ir dėl to nuosavo kapitalo kainą. Atkreiptinas dėmesys, kad praktiškai Europos konkurencinėse rinkose dar nebuvo pastebėta, kad elektros energijos gamintojai būtų nepakankamai naudojami. Priešingai, vis dar galima pastebėti per dideles investicijas į elektros energijos gamybos pajėgumus, todėl rizikos vengimas yra daugiau ateities klausimas.

Atsižvelgiant į tai, kas išdėstyta teoriniu ir praktiniu požiūriu akivaizdu, kad konkretų elektros energijos kainų poveikį investicijoms nustatyti yra sunkiau dėl elektros energijos rinkos nepastovumo. Todėl ateityje ilgalaikio investavimo uždaviniai energetikos kontekste pirmiausia bus siejami ne tik su elektros energijos kainų prognozėmis, bet ir su sustiprėjusiais rinkos neapibrėžtumais.

2. ELEKTROS KAINOS PROGNOZAVIMO MODELIŲ APŽVALGA

Iki 1970 m. pirmieji elektros sistemos modeliavimo įrankiai buvo naudojami vertikaliam integruotų valstybinių energetikos monopolijų nustatant naujos infrastruktūros techninius parametrus, kurie tiksliausiai atspindėtų ateities elektros vartojimo poreikį (Kagiannas, Askounis, Psarras, 2004). Tačiau elektros rinkų liberalizacija iš esmės pakeitė energetikos įmonių veikimo principą, tuomet svarbiausiu tikslu tapo ne tradicinė kaštu minimizavimo schema, bet pelno maksimizavimas. Toks naujas rinkos veikimo modelis paskatino kurti naujus elektros rinkos modeliavimo ir kainos prognozavimo metodus, kurie įvertintų įmonės veikimą liberalioje rinkoje.

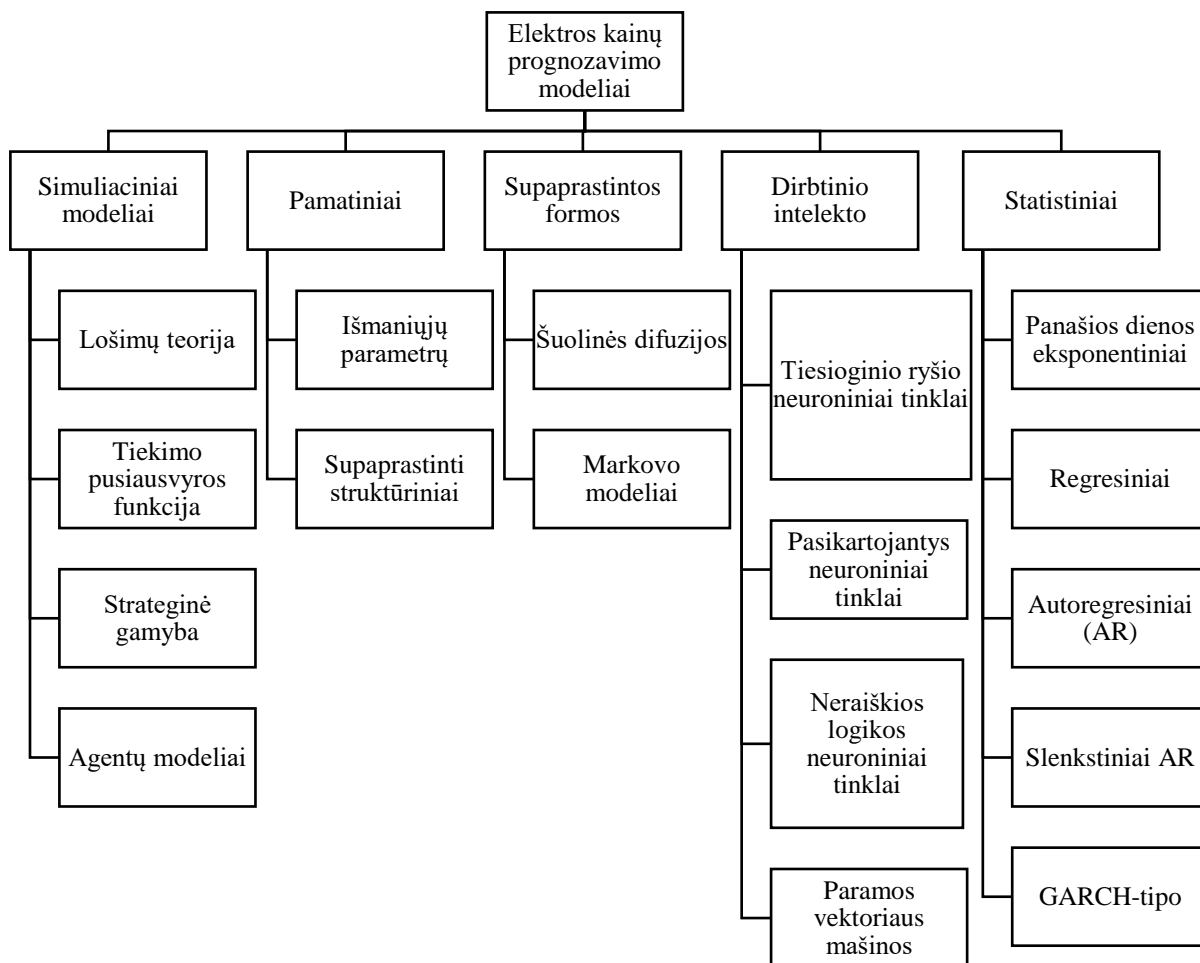
Prieš apžvelgiant elektros kainų prognozavimo modelius tikslinga apibrėžti modelių skirstymą į kategorijas pagal prognozavimo laikotarpius. Nors mokslinėje literatūroje nėra aiškiai sutarta, kas laikoma trumpo, vidutinio ir ilgo laikotarpio elektros kainos prognozėmis, tačiau remiantis R. Weron (Weron, 2014), N. Singh, S. Mohanty (Singh, Mohanty, 2015) autorių darbais šiuos laikotarpius galima būtų skirstyti į: 1) Trumpo laikotarpio prognozė, kuri apima laiko horizontą nuo kelių minučių iki kelių dienų ar savaitės. Trumpo laikotarpio kainų prognozės iš esmės naudojamos rinkos dalyviams siekiant maksimizuoti pelną elektros biržoje, 2) Vidutinio laikotarpio elektros kainų prognozės gali būti laikomos nuo kelių dienų iki kelių mėn. Šios prognozės taikytinos derantis dėl dvišalių elektros energijos pirkimo-pardavimo sutarčių sudarymo bei apsidraudžiant riziką dėl kainų skirtumų, 3) Ilgo laikotarpio kainų prognozės gali būti laikomas periodas nuo kelių mėnesių iki kelių metų. Tokio laikotarpio kainų prognozės yra naudojamos vertinant sprendimus dėl investicijų.

Paminėtina, kad elektros modelių apžvalgą atliko M. Ventosa, kuris identifiko 3 kainų prognozavimo modelių tipus: optimizavimo modeliai, pusiausvyros modeliai ir simuliaciniai modeliai (Ventosa, Baillo, Ramos, Rivier, 2005). Optimizavimo modelių pagrindinis tikslas yra pelno maksimizavimo uždavinys konkrečiai įmonei veikiančiai konkurencinėje rinkoje, pusiausvyros modelis atspindi visos rinkos veikimą modeliuodamas rinkos dalyvių elgesį. Simuliaciniai modeliai yra alternatyva pusiausvyros modeliui, kuomet rinkos veikimas negali būti įvertintas remiantis paprastu pusiausvyros modeliu.

Elektros kainų prognozavimo modelių apžvalgą atliko ir S. K. Aggarwal, kuris atliko įvairių praktikoje taikomų elektros kainų prognozavimo modelių apžvalgą ir pristatė esminius prognozavimo principus (Aggarwal, Lalit, Kumar, 2009). Autorius pažymėjo, kad trumpo laikotarpio kainų prognozavimo modeliai koncentruojasi į elektros kainų vidurkio apskaičiavimą,

maksimalios kainos ir kainų profilio nustatymą. Iš šitų trijų tipų kainų profilio modeliavimas yra atliekamas dažniausiai. Skirtingos kainų prognozavimo metodikos S. K. Aggarwal teigimu gali būti suskirstytos į tris pagrindines grupes. Statistiniai modeliai remiasi praeities elektros kainomis ir vertina kainas lemiančius veiksnius. Tokie modeliai kaip autoregresiniai integruoti slenkamojo vidurkio (ARIMA) prognozuoja elektros kainas remiantis praeities elektros kainomis, tačiau praktikoje taip pat naudojami ir keletą egzogeninių kintamųjų įvertinantys modeliai. Tačiau apibendrinus nėra patikimų įrodymų, kad vienas modelis būtų pranašesnis prieš kitą, kadangi istoriniai elektros rinkos duomenys yra pakankamai trumpo laikotarpio ir kiekviena rinka išsiskiria savo specifika.

Pažymėtina, kad R. Weron. Atliko išsamią elektros kainų prognozavimo modelių apžvalgą. R. Weron apžvelgė visus pagrindinius elektros energijos kainos prognozavimo bei rinkų modeliavimo modelius suklasifikuodamas juos į penkias grupes bei šių grupių pogrupius, kurie atvaizduojami 5 paveiksle (Weron, 2014). Tačiau taip pat galimi įvairūs hibridiniai modeliai, kurie yra 5 paveiksle pateiktų skirtingų modelių kombinacijos.



5 paveikslas. Elektros energijos kainų prognozavimo modelių klasifikacija

Pirmiausia atliksime trumpą kiekvieno iš 5 pav. įvardintų kainų prognozavimo modelių grupės apžvalgą, kadangi vėlesniame etape priėmus sprendimą dėl tinkamiausios modelio būtų galima lengviau nustatyti, kuris konkretus modeliavimo įrankis yra tinkamiausias siekiant norimo rezultato.

2.1. Simuliaciniai modeliai

Simuliaciniai modeliai apima prognozuojamos paklausos poreikio patenkinimą, kuomet formuojama pasiūla atsižvelgiant į ribinius galimų elektros gamintojų gamybos kaštus. Tokie modeliai naudojami vidutinėms ir ilgalaikėms prognozėms ir turi galimybę modeliuoti valandines kainas. R. Weron šiuos modelius pavadino multi agentų (angl. *Multi-agent*), tuo tarpu M. Ventosa ir S. K. Aggarwal identifikavo šiuo modelius, tačiau juos pavadino simuliacijos modeliais, nes šie modeliai kopijuoja faktinį kainos apskaičiavimo algoritmą, atsižvelgdami į sistemos veikimo kraštines sąlygas (Ventosa, Baillo, Ramos, Rivier, 2005).

Simuliacinis modeliavimas – svarbi priemonė norint įgyti žinių apie sistemas, ar jos yra jau egzistuoja ar ne. Be to, kelių agentų modeliavimas turi keletą privalumų susijęs su „tradiciniu“ modeliavimu, pavyzdžiui, galimybe analizuoti sistemą analizuodami kiekvieno subjekto individualų elgesį ir kaip tai elgesys daro įtaką sistemos elgesiui. Kelių agentų modeliai taip pat turi pranašumą, nes lengvai gali būti papildyti, kad galėtų susidoroti su sistemų raida. Rinkos dalyviai ir reguliavimo institucijos yra suinteresuoti numatyti rinkos elgesį: reguliavimo institucijos išbando taisykles prieš jas įgyvendindamos ir nustato rinkos neefektyvumą, o rinkos dalyviams svarbu suprasti rinkos elgesį ir veikti siekiant maksimaliai padidinti pelną.

Taip pat pažymėtina, kad tiek R. Weron tiek ir M. Ventosa sutinka, kad prie daugiafunkcinės agento modelių grupės taip pat turi būti priskirti Nash–Cournot („žaidimų teorija“), Tiekimo funkcijos pusiausvyros ir Agento modeliai. Visi šie modeliai pasižymi tuo, kad iš esmės remiasi rinkos kainos nustatymo mechanizmo modeliavimu. Elektros rinkose pagrindinis derybų produktas yra elektros energija dėl kurios sandoriai sudaromi elektros energijos biržoje. Tačiau taip pat pažymėtina, kad perdavimo sistemos operatoriams reikia įsigyti saugumui ir patikimumui užtikrinti reikalingas paslaugas, kurios vadinamos sisteminėmis paslaugomis. Sisteminės paslaugos apima aktyviosios ir rezervinės galios valdymas (apkrovos, dažnio valdymas, įskaitant pirminį, antrinį ir tretinį aktyviosios galios rezervą ir sistemos atstatymo paslaugą) ir reaktyvioji galia (įtampos bei reaktyviosios galios valdymas). Elektros rinkose sisteminės paslaugos gali būti laikomos produktu, kuris laikomas atskirai nuo energijos gamybos. Tuo pačiu konkurencinei aplinkai reikalingos tinkamos procedūros ir metodika, kad būtų galima nustatyti papildomų

paslaugų poreikius, būdai, kaip jie gaunami ir įkainoti. Kadangi perdavimo sistemos operatorius turi turėti prieinamą galią užtikrinančia sistemų saugumą ir patikimumą, todėl šios paslaugos yra apmokamos. Simuliaciniai modeliai šiuo atveju gali modeliuoti gamintojų, sistemos elgesį esant pasikeitusiems rinkos veiksniams.

Taip pat paminėtina, kad apribojimų turi ir šie modeliai, kadangi pirmiausia dauguma šių modelių ignoruoja strateginių pasiūlymų praktiką bei neatsižvelgia į rinkos dominavimo galimybę pasinaudojant didelia įtaka ir (ar) manipuliaciją. Tačiau šalyse taikomas reguliavimo priežiūros mechanizmas užtikrina, kad didelę įtaką turintys asmenys būtų pakankamai kontroliuojami, kad jų didelė įtaka negalėtų būti panaudojama rinkos manipuliacijoms. Antra, šie modeliai yra sudėtingai įdiegiami, koreguojami ir dažnai pasižymi poreikiu gauti detalią modeliuojamos sistemos informaciją, kuri dažnai yra prieinama tik ilgalaikes sistemos investicijas planuojantiems operatoriams.

Taip pat paminėtina, kad Lietuvos elektros rinkos modeliavimui taikomas „Balmorel“ elektros sistemų modelis, kurį naudoja Lietuvos, Latvijos ir Estijos perdavimo sistemos operatoriai bei Lietuvos energetikos institutas. Perdavimo sistemos operatorius atlikdamas pagrindines investicijas į Lietuvos perdavimo sistemos infrastruktūrą remiasi „Balmorel“ elektros sistemos modeliu. „Balmorel“ naudoja tiesinį optimizavimo metodą. Pažymėtina, kad šis modelis reikalauja išsamių duomenų apie perdavimo sistemos ir gamybos struktūrą ir yra tinkami tiek nacionaliniams, tiek ir regioniniams scenarijams vertinti. „Balmorel“ modelis buvo sukurtas išskirtinai Baltijos jūros regiono elektros rinkai modeliuoti. Be to, „Balmorel“ yra atvirojo kodo programa, tad gali būti laisvai koreguojama pagal vartotojo poreikius. „Balmorel“ optimizavimo tikslas yra atsižvelgiant į visus galimus apribojimus ir rasti mažiausių kaštų sprendinį bei tokį gamybos struktūros pasiskirstymą tarp visų šalies regionų, kad būtų pasiekta didžiausia socio-ekonominė nauda, t. y. minimizuoti suminiai elektros energijos ir šilumos gamybos kaštai (Balmorel, 2001).

Aptariant šiais modeliais atliktų elektros kainų prognozių rezultatus, darytina išvada, kad šie modeliai ignoravo elektros pardavimo pasiūlymų teikimo strategiją, taip pat neatsižvelgė į rinkos dalyvių turimą rinkos galią. Tačiau šie modeliai tinkami vertinti kainas reguliuojamose rinkose, kuriuose kainų svyravimai yra nedideli, o rinkos struktūra yra stabili ir nėra bandymų manipuluoti rinka, tačiau sunkiau pritaikomi konkurencingai elektrai rinkose. Taip pat tyrėjai C. J. Day, B. F. Hobbs, ir J. S. Pang (Hobbs, Metzler, Pang, 2000) ir Garcia-Alcalde atkreipė dėmesį, kad šie modeliai dažniausiai pateikia didesnius kainų prognozių rezultatus nei kainos stebimos realybėje (Garcia-Alcalde, Ventosa, Rivier, Ramos, Relanõ, 2002).

2.2. Pamatiniai modeliai

Pamatiniai (angl. *fundamental*), dar vadinami struktūriniais modeliais yra sukurti nustatyti ryšį tarp ekonominių ir fizinių veiksnių, kuriuos galima identifikuoti elektros rinkose. Tokie sąryšiai gali būti apibūdinami sudėtingomis ir netiesinėmis lygtimis, kurios skirtos įvertinti, kaip fundamentalieji veiksniai (pvz.: orų sąlygos, energijos poreikis, vandens lygis hidroelektrinėse ir kiti) veikia elektros kainą biržoje. Pavyzdžiui, pamatinius modelius panaudojo Vahviläinen ir Pyykkönen kurdami modelį Šiaurės šalių elektros rinkai (Vehvilainen, Pyykkonen, 2005). Šių autorių sukurtas modelis naudojo 27 fundamentalius veiksnius, kuriuos aprašė 29 lygtimis siejančiomis juos su didmenine elektros energijos kaina. Tačiau patys fundamentalūs veiksniai tokiuose modeliuose nebūna prognozuojami, o nustatomi pasitelkiant kitas prognozavimo technikas (orų prognozes, istorinius duomenis ir panašiai). Todėl praktiškai įgyvendinant šiuos modelius reikalingas duomenų, priklausomai nuo nagrinėjamos rinkos, tačiau dažnu atveju reikalinga informacija apie generacijos pajėgumus ir sąnaudas, paklausos tendencijas ir perdavimo pajėgumus. Dėl į modelį įtraukiamų pagrindinių duomenų pobūdžio (duomenys renkami per ilgesni laiko intervalą, pvz., savaitės ar mėnesio), gryni pamatiniai modeliai dažniausiai naudojami vidutinės trukmės prognozėms. Sujungus šiuos modelius su laiko eilučių, regresijos ir neuroninių tinklų modeliais, gauti hibridiniai modeliai taip pat gali būti panaudoti trumpalaikėms kainos prognozėms.

Atliekant mokslinėje literatūroje pateiktų šių modelių rezultatų analizę galima pastebėti, kad šie modeliai taikomi kartu su hibridiniai sprendimais, t. y. naudojant laiko eilučių ar neuroninio tinklo modelius prognozuojant pagrindinius į šiuos modelius įtraukiamus veiksnius – naftos, apyvartinių taršos leidimų kainas, prognozuojamą vėjo greitį ir oro temperatūrą, šiuos modelius savo moksliniuose straipsniuose taikė tokie autoriai kaip A. M. Gonzalez, J. Contreras ir D. W. Bunn (Gonzalez, Contreras, Bunn, 2012), N. V. Karakatsani ir D. W. Bunn (Karakatsani, Bunn, 2008), T. Kristiansen (Kristiansen, 2012) ir D. Liebl (Liebl, 2013).

2.3. Supaprastintos formos modeliai

Supaprastintos formos (angl. *reduced-form*) kiekybiniai arba stochastiniai modeliai apibūdina statistines elektros kainos savybes ir yra naudojami išvestiniams rinkos produktams įvertinti bei rizikoms valdyti. Bendras finansų įkvėptų sumažintos formos (kiekybinių, stochastinių) kainų dinamikos modelių bruožas yra tai, kad pagrindinis jų tikslas nėra pateikti tikslius duomenis valandines kainų prognozes, o verčiau atkartoti pagrindinę dienos elektros kainų savybės, tokios kaip ribinės paskirstymas ateities laiko momentais, kainų dinamika ir prekių kainų

koreliacijos. Tokie modeliai yra išvestinių finansinių priemonių kainų nustatymo ir rizikos valdymo pagrindas. Tačiau tuo pačiu metu svarbu atkreipti dėmesį, kad jei pasirinktas kainų procesas nėra tinkamas pagrindinėms elektros kainų savybėms fiksuoti, greičiausiai modelio rezultatai bus nepatikimi.

2.4. Dirbtinio intelekto modeliai

Dirbtinio intelekto modeliai, kurių dauguma remiasi neuroniniais tinklais, transformacijos modeliais ir duomenų išgavimo (angl. *data mining*) modeliais, siekiant išmokyti programas kompleksiško ir netiesinio kainos ir fundamentalių veiksnių sąryšio tokiu būdu didinant prognozuojamos kainos tikslumą. Todėl galime teigti, kad dirbtinio intelekto modeliai yra vieni iš labiausiai perspektyvių šiuo metu kuriamų modelių trumpalaikėms elektros energijos kainoms prognozuoti. Tačiau šių modelių taikymas ilgalaikėms prognozėms yra ribotas, nes dirbtinis intelektas sunkiai sugeba įvertinti ilgalaikių elektros rinkos pokyčių, kaip besikeičianti gamybos struktūra ar naujos jungtys, įtaką visam energetikos sektoriui.

Didžiausias dirbtinio intelekto modelių pranašumas yra jų sugebėjimas valdyti elektros kainos formavimosi ypatybių sudėtingumą ir netiesiškumą. Tačiau kaip teigia R. Weron kartu šis modelio lankstumas taip pat yra pagrindinė jų silpnybė, kadangi toks gebėjimas prisitaikyti prie netiesinio, didelių svyravimų elgesio nebūtinai lems geresnį rezultatą atliekant prognozes. Nors šie modeliai turi potencialą modeliuoti labai nepastovius ir netiesinius kainų procesus, bet M. Bessec & O. Bouabdallah (Bessec, Bouabdallah, 2005) ir R. Dacco & C. Satchell (Dacco, Satchell, 1999) autorių darbuose galima rasti, kad šie modeliai nėra itin patikimi elektros kainų prognozėms.

Tačiau taip pat pažymėtina, kad dirbtinio intelekto modelių sąrašas yra labai platus, todėl sunku rasti optimalų sprendimą. Taip pat sunku palyginti skirtingus dirbtinio intelekto modelių prognozių rezultatus, kadangi net jei prognozuojama ta pati rinka ir taikomas tas pats atrankos (prognozavimo) testas laikotarpiui atskirų metodų klaidos nėra palyginamos, todėl jų negalima naudoti suformuluoti bendruosius teiginius apie metodo efektyvumą, o išvados gali būti tik apie atliktą konkretų metodą.

2.5. Statistiniai modeliai

Statistiniai modeliai, apimantys laiko eilučių modelius, yra paremti istoriniais elektros energijos kainos pokyčiais, kuris vertinamas kaip priklausomas kintamasis. Ši grupė yra orientuota nustatyti valandinius elektros energijos kainos šuolius panaudojant statistinius ir ekonometrinius

metodus. Kadangi statistiniai modeliai yra naudojami trumpalaikėms kainos prognozėms, todėl verta panagrinėti juos detaliau.

Atkreiptinas dėmesys, kad statistinės elektros kainos prognozės patikimumas priklauso ne tik nuo pačio modelio pasirinkimo, bet ir nuo to kokie duomenys pasirinkti analizei ir jų patikimumo, taip pat nuo kitų veiksnių, tokių kaip elektros paklausa ir pasiūla, oro ir kuro kainų prognozės. R. Weron teigimu statistiniai modeliai gali būti vertinami kaip techniniai modeliai, šių modelių tikslas nėra nustatyti ekonominius veiksnius, kurie lemia elektros kainos pokytį, bet modeliai paremti tuo, kad prognozuojama kainą nustato pagal praeities kainos kitimą. Šių modelių patikimumas finansinėse rinkoje kvestionuojamas, tačiau šis metodas gali būti pritaikomas fizinių produktų rinkoje. Įvairių pasaulio elektros rinkų kainų prognozėms buvo taikomas platus modelių asortimentas, daugiausia pagrįstas laiko eilučių analize ir dirbtiniu intelektu.

Garcia-Martos ir Conejo elektros ir elektronikos inžinerijos enciklopedijoje apžvelgia trumpalaikį ir vidutinės trukmės elektros kainų prognozės modelį, daugiausia dėmesio skirdami laiko eilučių modeliams. Tiksliau, jie atsižvelgia į ARIMA ir sezoninius ARIMA modelius, kurie naudotini valandinės elektros kainų prognozėms, ir vektorinius ARIMA (iš esmės VAR) ir Faktoriaus modelius (Sorokin, Rebennack, Pardalos, Iliadis, Pereira, 2012).

Kaip vieni iš autorių paminėtini ir M. Olsson ir L. Soder, kurie sukuria kainų pusiausvyros modelį „Nord Pool“ sistemoje, naudodami kombinuotą sezoninį ARIMA, ir atskiruose Markovo procesuose (Olsson, Soder, 2008). Taip pat ir A. Cruz, A. Muñoz, J. Zamora ir R. Espinola naudoja, kurie naudoja dvigubą sezoninį eksponentinį išlyginimą kaip etaloną sudėtingesniems modeliams (Cruz, Muñoz, Zamora, Espinola, 2011). Jų tyrime eksponentinis lyginimas atliekamas šiek tiek geriau nei ARIMA, ir abu lenkia atsitiktinio klaidžiojimo (angl. *naive*) metodą, taikomą valandinėms kainų prognozėms.

3. ELEKTROS KAINŲ PROGNOZAVIMAS

Nors naudojami statistiniai modeliavimo būdai skiriasi kiekvienu atveju, bendra prielaida yra aptikti kainų modelius remiantis istoriniais duomenimis ir atitinkamai prognozuoti būsimą kainą. Apskritai modelio konstravimas prognozavimo tikslais apima tris pagrindinius etapus: pirminį duomenų apdorojimą, funkcijų parinkimą ir modelio kūrimą. Kadangi šie etapai bus naudojami atliekant tyrimą, todėl tuo tikslu apžvelgiame kiekvieną iš jų.

3.1. Išankstinis duomenų apdorojimas

Šiame etape renkami ir apdorojami atitinkami duomenys, skirti aprašomajai statistikai, anomalijoms, trūkstamoms reikšmėms ir būtinoms transformacijoms gauti. Elektros energijos kainų prognozavimo literatūros tyrimai pabrėžia ir aptaria du kainų duomenų aspektus: kainų nestacionarumas ir kainų šuoliai.

Kaip jau buvo aptarta, kainų vidutinis ir dispersinis nestacionarumas nagrinėjamas naudojant diferenciaciją. Pažymėtina, kainų šuoliai gali iškraipyti kainų modelius paremtus istoriniais duomenimis. Tačiau tuo pačiu kainų šuoliai yra viena iš svarbių elektros rinkos kainų laiko eilučių ypatybių. Kai kuriose elektros rinkos kainų prognozavimo straipsniuose nurodoma, kad kainų šuoliai paprastai pašalinami iš duomenų arba ribojami tam tikra verte arba pakeičiami svertiniu ankstesnių kainų tą valandą vidurkiu, tačiau kitų autorių darbai nurodo, kad sukūrė prognozavimo modelius, pagrįstus pirminiais kainų laiko eilučių duomenimis nemanipuliuodami kainų šuoliais. Apskritai, nėra įrodymų, patvirtinančių bet kurį pasirinkimą, atsižvelgiant į prognozavimo modelių tikslumą, esant ne imties atrankai (R. Weron, 2006).

Elektros kainų laiko eilučių išskaidymas gali būti panaudotas nestacionarumo ir kainų šuolių problemoms spręsti vienu metu. Pavyzdžiui, galima tokia transformacija, kuri skaido laiko eilutes į keletą naujų laiko eilučių, kurių dispersija ir vidurkis yra stabilesnis ir kurios nepatiria neįprastų kainų šuolių. Tokiais atvejais prognozuojami būsimi kiekvienos atskiros naujos laiko eilutės vertės būsimi modeliai. Išankstinio apdorojimo etapas dirbtiniu intelektu pagrįstuose modeliuose paprastai apima duomenų normalizavimą ir duomenų priskyrimą. Duomenų normalizavimas naudojamas ypač tada, kai įvesties duomenys turi labai skirtingus diapazonus ir vienetus. Pavyzdžiui, tipiniame kainų prognozavimo modelyje ankstesnės kainos ir paklausos vertės paprastai naudojamos kaip modelio įvestys, tačiau tik paklausos tiek kainos vertės turi būti normalizuotos, kadangi kitu atveju įvesties intervalo skirtumai gali sumažinti tam tikrų įvesties

veiksnių informacijos vertę. Tokiu būdu atvaizdavimas supaprastina modelio įvertinimo procesą ir sumažina skaičiavimo laiką.

3.2 Savybių pasirinkimas

Modelio savybių pasirinkime tikslinga iš anksto nustatyti potencialių savybių rinkinį iš kurio vėliau būtų pasirenkamos labiausiai modeliui tinkamos savybės. Pasirinktos savybės, taip pat vadinamos modelio įvestimis arba aiškinamaisiais kintamaisiais, gali paaiškinti tiriamo proceso svyravimus. Dvi pagrindinės savybių pasirinkimo metodų grupės yra filtrų (angl. *filter*) ir vyniojimų (angl. *wrapper*) metodai. Filtrų metoduose įvertinamas požymių tinkamumas paaiškinant tikslinį kintamąjį, nepriklausomai nuo prognozavimo modelio, todėl gali būti naudojami tokie tinkamumo kriterijai, tokie kaip Pearsono koreliacijos koeficientas, Fišerio kriterijus ir kt. Nors šie filtravimo metodai yra paprasti naudoti, tačiau galimas jų trūkumas yra tai, kad ypatybių pasirinkimas yra atskirtas nuo numatymo modelio.

Apvyniojimo metodais visas savybių rinkinys ieškomas beveik neoptimaliame pogrupyje, o požymių tinkamumas įvertinamas pagal galutinių rezultatų tikslumą. Vienas iš pagrindinių skirtumų, susijusių su įvyniojimo technika, yra tai, kaip ieškoma geriausių įmanomų funkcijų pogrupio. Taikant išankstinius atrankos metodus, procesas prasideda tuščiu pogrupiu ir naujos funkcijos pridedamos žingsnis po žingsnio, atsižvelgiant į tai, kaip jos prisideda prie modelio tikslumo. Atliekant atgalinius eliminavimo metodus, atskiros savybės iš viso savybių rinkinio pašalinamos per paieškos procesą, jei jos neprisideda prie modelio tikslumo. Klasikiniai paieškos metodų pavyzdžiai yra kopimas į kalną ir geriausias–pirmas, tačiau vyniojamojo elemento pasirinkimui buvo pasiūlyti įvairūs populiacijos evoliuciniai paieškos metodai. Nors buvo įrodyta, kad įvyniojimo metodai paprastai suteikia aukštą numatymo tikslumą, skaičiavimo požiūriu jie yra sudėtingesni daugeliui funkcijų.

Trečioji bruožų atrankos metodų grupė yra įterptieji metodai, kuriuose modeliui paliekama rasti beveik optimalų pogrupį, paaiškinantį tikslinį kintamąjį. Kitaip tariant, visos savybės yra įtraukiamos į modelį ir, atsižvelgiant į galutinius kiekvienos savybės svorius, parenkamas galutinis funkcijų rinkinys. Elektros rinkų kontekste populiariausios savybės yra ankstesnės kainos ir tinklo apkrovos, taip pat gali būti vertinamos ir kitos funkcijos, tokios kaip perdavimo apribojimai, generatoriaus išjungimai ir temperatūra. Tačiau taip pat pastebėtina, kad, nors bendra elektros kainų tendencija yra tokia pati, kaip ir elektros energijos paklausos, didžiąją dalį kainų svyravimo lemia kiti veiksniai, tokie kaip pasiūlos trūkumas ir perdavimo apribojimai. Elektros energijos kainų prognozavimo metu kai kuriuos kainų svyravimus galima paaiškinti tam tikrais rinkos kintamaisiais, šie kintamieji negali būti naudojami kaip įvestis į sudaromiems kainų modeliams,

jei jie ar jų patikimos prognozės nežinomi prognozių sudarymo metu. Pavyzdžiui, kai kuriuos neįprastus kainų šuolius galima paaiškinti priverstiniu gamybos vienetų sustabdymu, tačiau tokie gamybos sustabdymai nežinomi, kol jie neįvyks.

3.3 Modelio pasirinkimas

Šiame etape sukuriamas modelis, kuris atitiktų pasirinktas savybes, t. y. įvestis, susieja su tiksliniu kintamuoju – elektros energijos kaina. Laikydamosis trijų etapų laiko eilutės modelių sudarymo tvarkos, kurią pasiūlė Box–Jenkins, prognozavimo modelio kūrimas paprastai apima tris etapus, neatsižvelgiant į naudojamo modelio tipą (Tabachnick, Fidell 2001). Pirmasis etapas yra modelio identifikavimas, kurio metu kaip pradinis taškas nustatoma pradinė modelio struktūra. Nors modelio identifikavimo procesas gali skirtis priklausomai nuo modelio tipo, pradinis modelis nustatomas remiantis proceso charakteristikomis ir patirtimi. Antrasis modelio kūrimo etapas yra modelio įvertinimas. Trečiasis prognozių modelio kūrimo etapas yra diagnozė ir tyrimas. Šiame etape modelio veikimas bandomas atsižvelgiant į pagrindines prielaidas, padarytas ankstesniuose dviejuose etapuose. Be to, iš pradžių nustatyto modelio tikslumas yra vertinamas ir pagerinamas keičiant identifikuoto modelio specifikacijas. Kitas sprendimas, kurį reikia priimti modelio kūrimo etape, yra modelio tipo pasirinkimas.

Tiriamo proceso sudėtingumas ir savybės paprastai yra pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos modeliavimo metodo pasirinkimui. Elektros rinkos kainų atveju bendrieji momentinių elektros energijos kainų bruožai, tokie kaip kainų sezoniškumas ir kainų šuoliai, aptarti ir į rinkos kainos nustatymo procesų pobūdį atsižvelgiama pasirenkant modeliavimo metodą. Taigi kainų nustatymo procesas yra netiesinis santykio tarp kainos, paklausos ir pasiūlos atžvilgiu. Tam tikro modeliavimo metodo galimybė fiksuoti tokius netiesiškumus daro jį tinkamu kandidatu numatyti elektros rinkos kainą. Nors kai kuriais atvejais netiesiniai modeliai pralenkia savo tiesinius atitikmenis, nėra įrodymų, kurie parodytų, kad taip yra visais atvejais. Taip pat tobulinant pradinį modelį, reikia atsižvelgti į elektros kainų savybes, tokias kaip neįprasti kainų šuoliai, kurie atsiranda dėl elektros energijos apkrovos svyravimų.

Reikėtų pažymėti, kad, kaip ir bet kuri kita prognozavimo problema, nėra „geriausio“ elektros kainų prognozavimo modelio, kuris būtų pranašesnis prieš kitus modeliavimo metodus. Nors tam tikru laikotarpiu tam tikroje rinkoje modelis gali veikti gerai, tam tikras modelis nebūtinai duos geriausius prognozavimo rezultatus kitoje situacijoje. Dėl šios priežasties sunku pasirinkti bendrą modeliavimo metodą, taigi modeliai turėtų būti dinamiški ir išbandomi siekiant geriausių rezultatų prognozuojant trumpalaikes kainas konkrečioje rinkoje.

Linijiniai modeliai yra tie, kurie susieja tikslinį kintamąjį su aiškinamaisiais kintamaisiais per tiesinę funkciją. Klasikinis linijinio modelio pavyzdys yra autoregresijos slankiųjų vidurkių modelis (angl. *Autoregressive Moving Average*, ARMA) modelis. Stacionarūs modeliai yra griežtai taikomi stacionarioms laiko eilutėms dėl pagrindinių modeliavimo prielaidų. Kita vertus, nestacionarūs modeliai gali būti pritaikyti bet kuriai laiko eilutei. Taip pat kai kurie modeliai taip pat pateikia numatomą diapazoną, kuriame tikimasi, kad kainos kris esant tam tikram pasitikėjimo lygiui. Šie modeliai paprastai nustato apskaičiuotą prognozių dispersiją ir sukuria 95 % pasiklovimo intervalą, darant prielaidą, kad modelio likučiai yra normalaus pasiskirstymo. Tačiau daugeliu atvejų taškinių prognozių dispersija yra gana didelė, todėl prognozuojami dideli kainų pasitikėjimo intervalai. Laiko eilučių modeliai reiškia statistinių modelių grupę, pagrįstą atsitiktinumu ir stochastinio proceso panašumu. Laiko eilučių modeliuose naudojamos sekančios proceso vertės modeliuojamos ankstesniais tiriamo proceso stebėjimais. Autoregresinis integruotasis slankiųjų vidurkių modelis (angl. *Autoregressive integrated Moving Average*, ARIMA) yra vienmatis modelis, kuris susieja būsimas laiko eilutės vertes su savo praeities vertybėmis ir yra vienas iš dažniausiai naudojamų elektros rinkos kainų prognozavimo laiko eilučių modelių, užtikrinančių pagrįstą gerą prognozių tikslumą, nepaisant paprastumo.

3.4. Tyrimo modelio sudarymas

Šiame tyrime bus naudojamas ARIMA modelio metodas Lietuvos elektros kainų prognozavimui. Prognozavimas bus atliekamas naudojant R programinę įrangą. Tyrime bus naudojami viešai prieinami Nord Pool elektros biržos duomenys apie 2016–2020 m. elektros energijos kainas. Ir Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos viešai skelbiamą informaciją apie Lietuvos elektros energijos gamybos apimtis.

Nustatyti geriausią ARIMA modelį iš kelių bus naudojami šie kriterijai: palyginti mažas AIC (Akaike informacinis kriterijus), BIC/SC (Schwarz informacinis kriterijus ar kitaip Bajeso informacinis kriterijus) ir HQ (Hannan-Quin informacijos kriterijus); santykinai maža standartinė regresijos paklaida; santykinai didelis pakoreguotas R^2 ; autokoreliacijos likučių funkcijos (ACF) ir dalinė autokoreliacija likučių funkcija (PACF), tai reiškia, kad pasirinkto modelio paklaidos yra baltas triukšmas.

4. EMPIRINIS ELEKTROS KAINŲ PROGNOZIŲ TYRIMAS

Box–Jenkins pasiūlytas prognozavimo modelio kūrimas paprastai apima trijų etapų laiko eilutės modelių sudarymo etapus, neatsižvelgiant į naudojamo modelio tipą (Tabachnick, Fidell, 2001):

1. Pirmasis etapas yra modelio identifikavimas, kurio metu kaip pradinis taškas nustatoma pradinė modelio struktūra. Nors modelio identifikavimo procesas gali skirtis priklausomai nuo modelio tipo, pradinis modelis nustatomas remiantis proceso charakteristikomis ir patirtimi.

2. Antrasis modelio kūrimo etapas yra modelio įvertinimas.

3. Trečiasis prognozių modelio kūrimo etapas yra modelio patikimumo įvertinimas ir tyrimas. Šiame etape modelio veikimas bandomas atsižvelgiant į pagrindines prielaidas, padarytas ankstesniuose dviejuose etapuose.

Tiriamo proceso sudėtingumas ir savybės paprastai yra pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos modeliavimo metodo pasirinkimui. Elektros rinkos kainų atveju bendrieji momentinių elektros energijos kainų bruožai, tokie kaip kainų sezoniškumas ir kainų šuoliai, aptarti ir į rinkos kainos nustatymo procesų pobūdį atsižvelgiama pasirenkant modeliavimo metodą. Taigi kainų nustatymo procesas yra netiesinis santykio tarp kainos, paklausos ir pasiūlos atžvilgiu. Tam tikro modeliavimo metodo galimybė fiksuoti tokius netiesiškumus daro jį tinkamu kandidatu numatyti elektros rinkos kainą. Nors kai kuriais atvejais netiesiniai modeliai pralenkia savo tiesinius atitikmenis, nėra įrodymų, kurie parodytų, kad taip yra visais atvejais. Taip pat tobulinant pradinį modelį, reikia atsižvelgti į elektros kainų savybes, tokias kaip neįprasti kainų šuoliai, kurie atsiranda dėl elektros energijos apkrovos svyravimų.

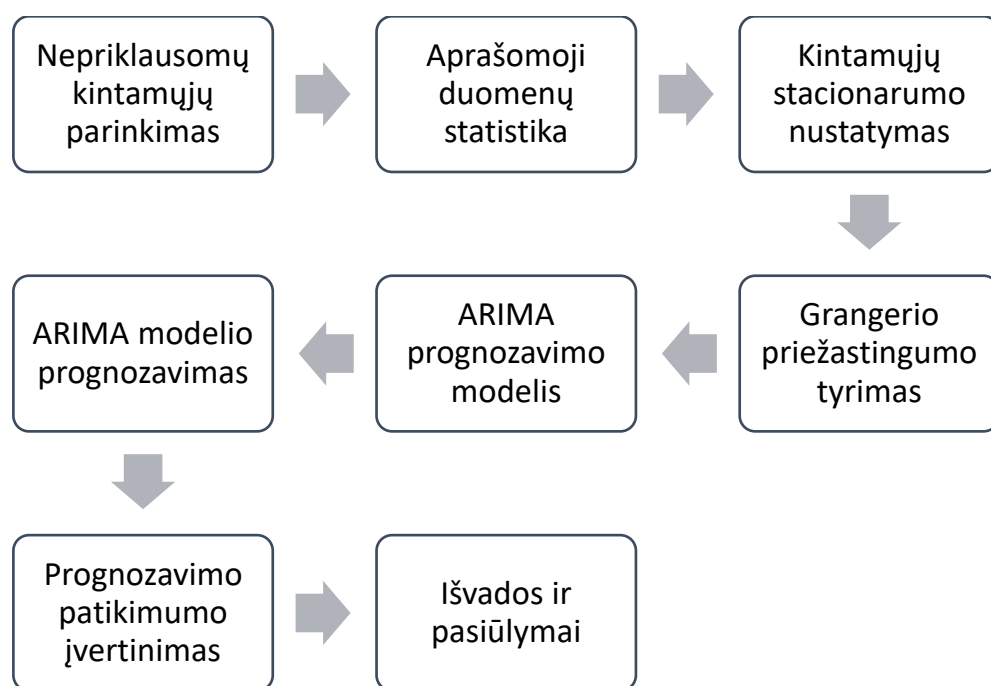
Reikėtų pažymėti, kad, kaip ir bet kuri kita prognozavimo problema, nėra „geriausio“ elektros kainų prognozavimo modelio, kuris būtų pranašesnis prieš kitus modeliavimo metodus. Nors tam tikru laikotarpiu tam tikroje rinkoje modelis gali veikti gerai, tam tikras modelis nebūtinai duos geriausius prognozavimo rezultatus kitoje situacijoje. Dėl šios priežasties sunku pasirinkti bendrą modeliavimo metodą, taigi modeliai turėtų būti dinamiški ir išbandomi siekiant geriausių rezultatų prognozuojant trumpalaikes kainas konkrečioje rinkoje.

Linijiniai modeliai yra tie, kurie susieja tikslinį kintamąjį su aiškinamaisiais kintamaisiais per tiesinę funkciją. Klasikinis linijinio modelio pavyzdys yra autoregresijos slankiųjų vidurkių modelis (angl. *Autoregressive Moving Average*, ARMA) modelis. Stacionarūs modeliai yra griežtai taikomi stacionarioms laiko eilutėms dėl pagrindinių modeliavimo prielaidų. Kita vertus,

nestacionarūs modeliai gali būti pritaikyti bet kuriai laiko eilutei. Taip pat kai kurie modeliai taip pat pateikia numatomą diapazoną, kuriame tikimasi, kad kainos kris esant tam tikram pasitikėjimo lygiui. Tačiau daugeliu atvejų taškinių prognozių dispersija yra gana didelė, todėl prognozuojami dideli kainų pasitikėjimo intervalai.

Siekiant išnagrinėti elektros energijos gamybos tendencijas ateityje, atliktas tyrimas, nagrinėjant svarbiausio rodiklio – elektros energijos kainų sąsajas su pagamintos elektros energijos gamybos apimtimis bei leistų padaryti išvadą dėl investicijų į elektros energijos gamybos pajėgumus. Šiame darbo skyriuje pateikiama detali tyrimo metodika, apibrėžiant naudojamus tyrimo metodus bei tyrimo etapus. 6 paveiksle pateikiami tyrimo etapai, kurių turinys toks:

1. Parenkami tyrimui naudojami nepriklausomi kintamieji – Lietuvos elektros energijos kainos ir elektros energijos gamybos duomenys.
2. Nestacionarūs kintamieji ir diferenciacijos būdu pakeičiami į stacionarią skaitinę išraišką.
3. Parenkama vektorinės autoregresijos (angl. *Vector Autoregression, VAR*) forma tarp kintamųjų, atrenkant geriausiai reprezentuojančią.
4. Atliekama Grangerio priežastingumo analizė, nagrinėjamas ryšys tarp pasirinktų kintamųjų.
5. Atliekamas artimiausių ateinančių laikotarpių elektros kainų prognozavimas, naudojant ARIMA modelį.
6. Taip pat atliekamas sudaryto modelio bandymas remiantis praeities duomenimis, tuo siekiama įvertinti, ar sudarytas modelis tinkamai įvertina tikėtinus pokyčius.



6 paveikslas. Empirinių duomenų tyrimo nuoseklumas

Šiame tyrime bus naudojamas ARIMA modelio metodas Lietuvos elektros kainų prognozavimui. Prognozavimas bus atliekamas naudojant R programinę įrangą. Tyrime bus naudojami viešai prieinami Nord Pool elektros biržos 2016–2020 m. spalio mėn. elektros energijos kainų duomenys⁹.

Todėl nagrinėjami duomenys, sudarantys šio darbo empirinės dalies pagrindą. Daugiausia dėmesio skiriama tyrime naudojamų duomenų statistinėms savybėms. Duomenys apie elektros energijos kainas bus vertinami individualiai kaip aiškinamasis kintamasis elektros energijos gamybai. Kadangi vėlesniame tyrimo etape bus tikrinama hipotezė: tikėtina, kad aukštesnės elektros energijos kainos lemia didesnes Lietuvoje pagamintos elektros energijos apimtis.

Dienos elektros energijos kainos yra paimitos iš Nord Pool AS biržos, kuri buvo aprašyta Baigiamojo darbo projekto I dalyje. Primintina, kad tai vienintelė šiuo metu Lietuvoje veikianti elektros energijos birža. Šiame darbe naudojamos vidutinės dienos Lietuvos kainų zonos elektros energijos kainos. Visą duomenų imtį sudaro duomenys nuo 2016 m. sausio 1 d. iki 2018 m. gruodžio 31 d. Kaip išsamiai buvo paaiškinta Baigiamojo darbo projekto I dalyje elektros energijos kainų duomenys imami nuo 2016 m. sausio 1 d., kadangi nuo tada buvo pradėtos eksploatuoti tarpsisteminės elektros energijos jungtys su Lenkija ir Švedija, turėjusios įtakos elektros rinkos kainų pokyčiams. Taip pat šių naujų jungčių projektai padarė tiesioginės įtakos Lietuvos elektros energijos generacijos struktūrai.

Pirmiausia pateikiama aprašomoji duomenų statistika. Aprašomoji statistika – tai duomenų sisteminimo ir grafinio vaizdavimo metodas. Vienas iš didžiausių aprašomosios statistikos privalumų yra tai, kad leidžia koncentruotai užrašyti informaciją. Aprašomojoje statistikoje stebėtos reikšmės pateikiamos lentelėmis, dažnių skirstiniais, grafikais (Čekanavičius ir Murauskas, 2000).

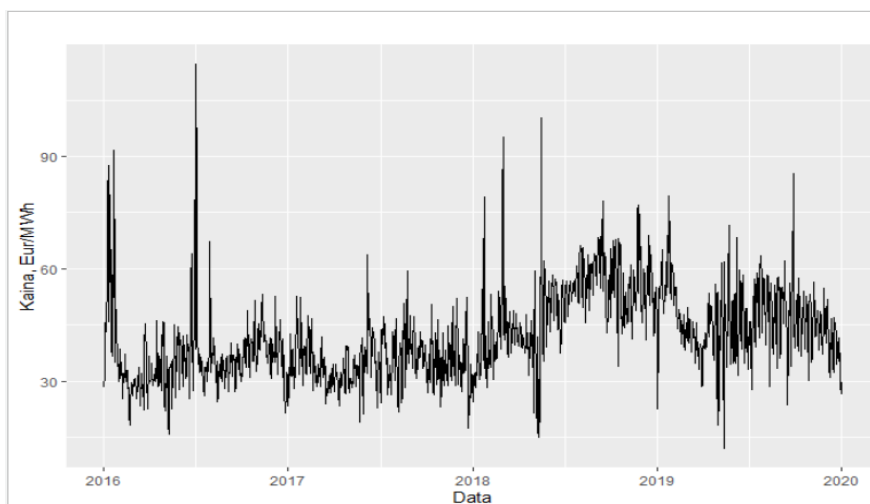
1 lentelė. Duomenų aprašomoji statistika

	Elektros energijos gamyba per parą (2016–2019 m.), MW	Elektros energijos paros kainos (2016–2019 m.), Eur/MWh
Imties dydis	1461	1461
Vidurkis	343,19	41,94
Standartinis nuokrypis	136,87	11,52
Minimali reikšmė	44,79	11,99
Q1	236,84	33,54
Mediana	336,91	39,74
Q3	432,21	49,42

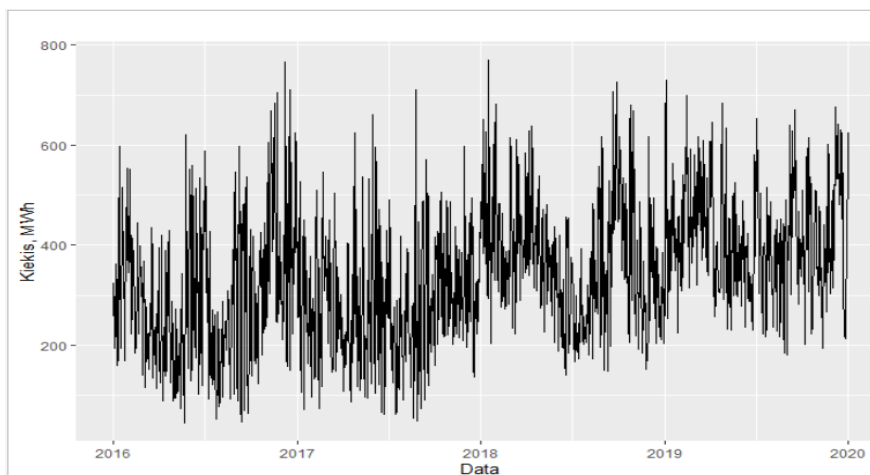
⁹ <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Dayahead/Area-Prices/>

Maksimali reikšmė	769,99	114,62
-------------------	--------	--------

Aprašomoji statistika taip pat pateikiama 7 pav. ir 8 pav. nubraižant dienos elektros energijos kainos ir elektros energijos gamybos grafiką. Iš grafikų akivaizdu, kad abiejose duomenų imtyse yra ekstremalių įvykių, vadinamųjų „elektros energijos kainų šuolių“. Taip pat remiantis vien aprašomąją statistika galime pastebėti ir savybes, kurios būdingos ir Lietuvos elektros energijos kainos ir elektros energijos gamintojų pagamintos elektros energijos apimtims, t. y. vizualiai galime matyti, kad duomenys pasižymi nestacionarumu, kainų šuoliais, sezoniškumu.

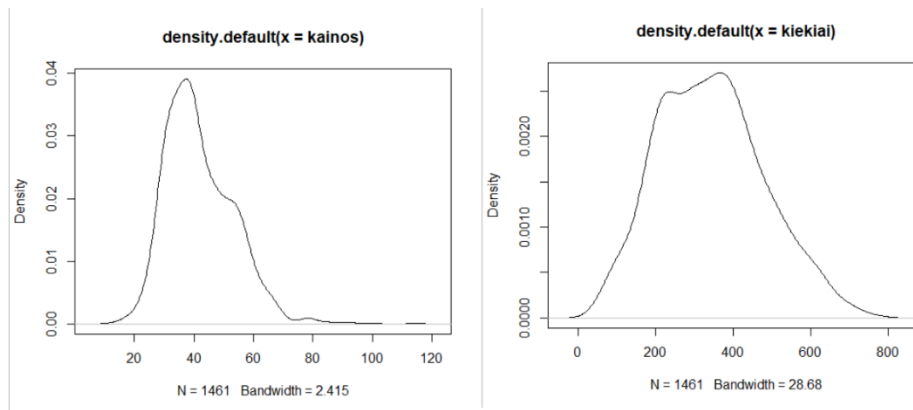


7 paveikslas. Dienos elektros energijos kainų grafikas, Eur/MWh



8 paveikslas. Dienos elektros energijos gamybos Lietuvoje grafikas, MWh

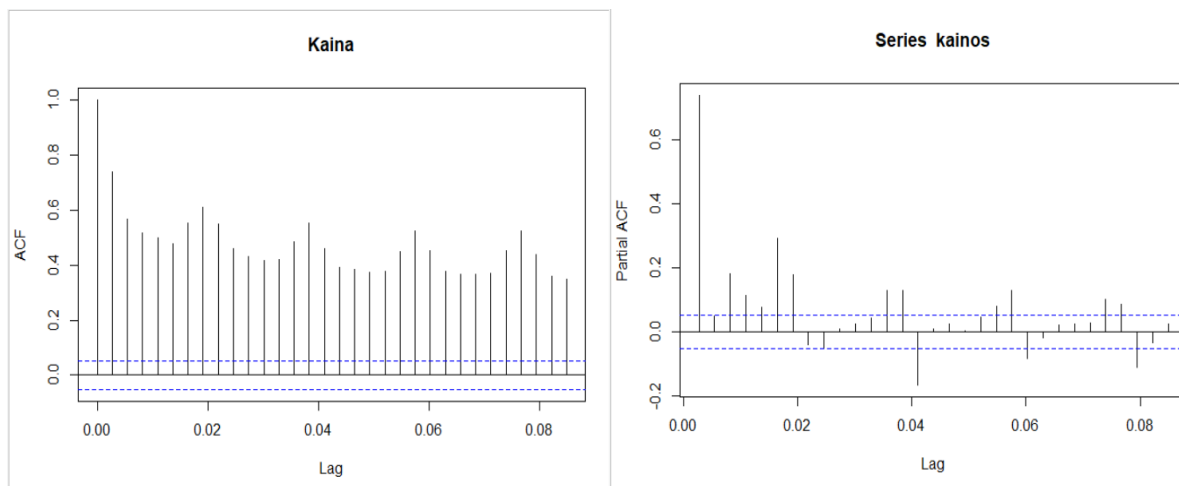
Toliau galima pažiūrėti duomenų pasiskirstymą, matome, kad duomenys turi aiškų pasiskirstymą apie vidurkį (9 pav.). Tai paaiškinama tuo, kad trumpuoju laikotarpiu nauji elektros energijos gamintojai nekinta, kadangi įėjimas į elektros energijos rinką naujam gamintojui reikalauja kelių metų investicijų projekto įgyvendinimui, todėl vertinant trumpojo laikotarpio duomenis nematome didelių išskirčių apie vidurkį.



9 paveikslas. Duomenų pasiskirstymo tankio funkcija

Vienas iš pirmųjų žingsnių, taikant laikų eilučių modelius, yra procesų, apsprendžiančių laiko eilučių pobūdį, identifikacija. Pirmiausiai, pagal nubraižytą grafiką reikalinga nustatyti laiko eilutę generuojančio proceso stacionarumą (procesas laikomas stacionariu, kai proceso vidurkis bei dispersija nesikeičia keičiantis laikui).

Taip pat stacionarumui patikrinti dažniausiai yra naudojamas vienetinių šaknų (angl. *Augmented DickeyFuller ADF*) testas. Šiame teste yra laikomasi prielaidos, jog kiekvienas kintamasis yra tiesiškas bei pasižymintis autoregresinėmis savybėmis, t. y. priklauso nuo savo paties vėlavimų.



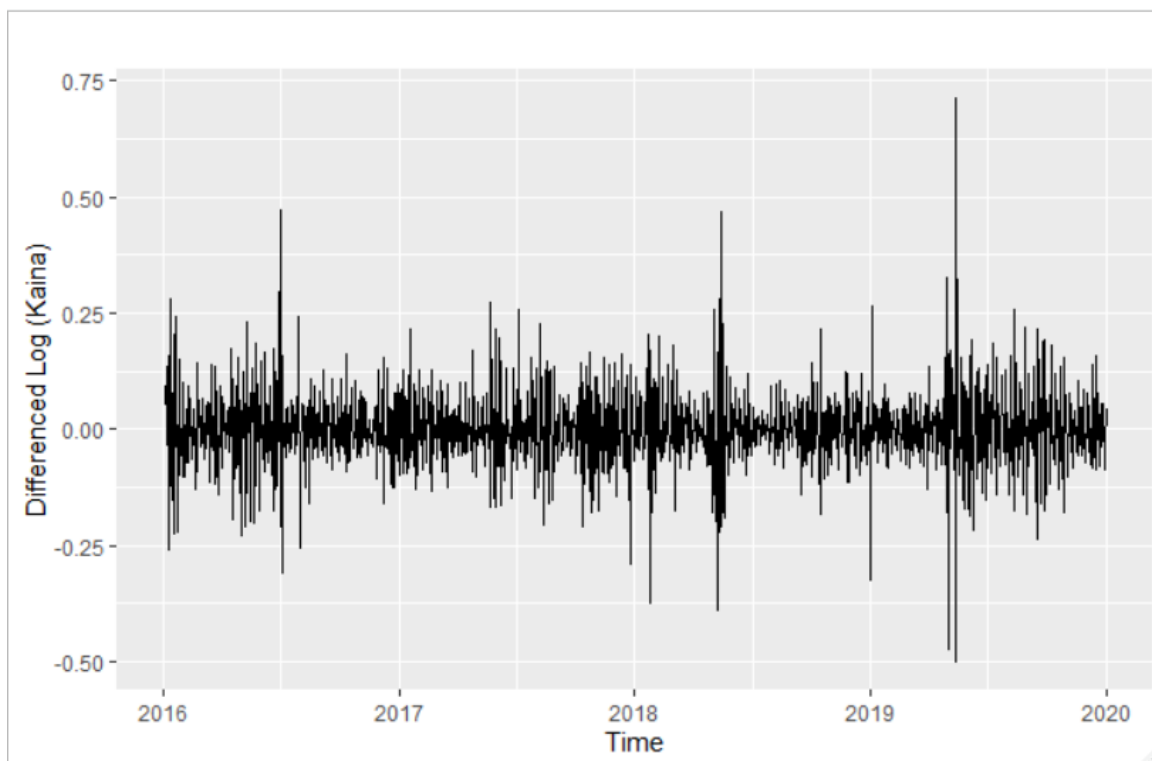
10 paveikslas. Paklaidų eilutės autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos (PACF)

Šiuo atveju mūsų nagrinėjamas elektros energijos kainų procesas – nestacionarus, kadangi paklaidų eilutės autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos (PACF) funkcijos neturi reikšmingai skirtis pasiklovimo intervalo, todėl reikia naudoti transformacijas, kurios suveda jį į stacionarų pavidalą. Labiausiai paplitęs transformacijos metodas – proceso diferencijavimas, kada kiekviena eilutės reikšmė pakeičiama šios ir ankstesnės reikšmės skirtumu. Jei atlikus diferencijavimą procesas netampa stacionarus, diferencijavimas kartojamas. Taip pat, gali būti

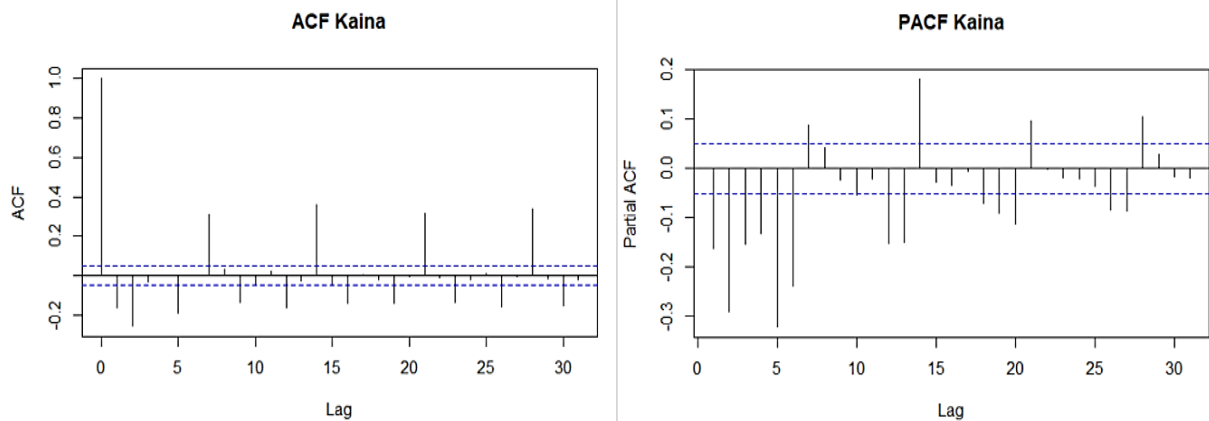
naudojama logaritminė bei kvadratinės šaknies transformacija. Šie metodai taikomi, kai svyravimai vyksta dideliame diapazone.

Siekiant teisingai nustatyti prognozavimo modelį pirmiausia turi būti diferencijuota seka, o po to patikrinami autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos funkcijų (PACF) grafikus. Jei autokoreliacijos ir dalinės autokoreliacijos funkcijų reikšmės artimos nuliui, nei viena neviršija dvigubos standartinės paklaidos reikšmės ir Box`o Jenkins`o kriterijus statistiškai nereikšmingas visiems postūmiams, tai diferencijuota seka atitinka baltąjį triukšmą, o pradinė seka yra atsitiktinio klaidžiojimo tipo.

Atsižvelgiant į tai, atliekamas laiko eilutės diferencijavimas ją paverčiant stacionare. Kadangi iš 10 pav. matosi, kad gan daug PACF reikšmių išeina už leidžiamos zonos ribų todėl, kad turima laiko eilutė yra veikiamą sezoniškumo. Po diferencijavimo gautos laiko eilutės grafikas pateiktas 11 pav., o paklaidų eilutės autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos (PACF) pateiktas 12 pav.



11 paveikslas. Po diferencijavimo gauta laiko eilutė



12 paveikslas. Paklaidų eilutės autokoreliacijos (ACF) ir dalinės autokoreliacijos (PACF) pašalinus nestacionarumą

Kaip matyti iš 12 pav. autokoreliacijos ir dalinės koreliacijos funkcijos reikšmės viršija pasikliautiniojo lygmens (dviguba standartinės paklaidos reikšmė), todėl reiktų įvertinti galimus papildomus veiksmus dėl modelio nestacionarumo pašalinimo.

Užtikrinę duomenų stacionarumą, galime pereiti prie kito etapo – modelio parametru įvertinimo. VAR modelio parametrai bus vertinami mažiausių kvadratų metodu (MKM). Vienas svarbiausių VAR modelio sudarymo etapų – VAR vėlavimų eilės parinkimas. Galimi keli klaidingi VAR vėlavimo eilės parinkimo atvejai:

- 1) parinktas vėlavimų skaičius per mažas;
- 2) parinktas vėlavimų skaičius per didelis.

Pirmuoju atveju, dalis kintamųjų ryšių liks paklaidose, paklaidos bus atkoreliuotos ir modelis bus nekorektiškas. Antruoju atveju, dalis vertinamų modelio parametru bus lygūs 0, o papildomų parametru įvertinimas mažina laisvės laipsnių skaičių ir blogina įverčių efektyvumą. Todėl labai svarbu modelyje parinkti tinkamiausią vėlavimų skaičių. Dažniausiai vėlavimų skaičius nustatomas remiantis tam tikrais informaciniais kriterijais – Akaike informacinis kriterijus (AIC) ir Schwartzo informacinis kriterijus (SIC).

Galiausiai reikia patikrinti, ar sudarytas modelis yra adekvatus. Kaip jau minėjome, VAR modelio analizėje labai svarbus vėlavimo eilės parinkimas, tačiau adekvataus modelio paklaidos yra „baltasis triukšmas“. Tam būtina sąlyga, kad paklaidos nebūtų atkoreliuotos. Pastarojo reikalavimo tenkinimas savo ruožtu yra būtinas suderintiems parametru įverčiams gauti. Tai parodo, kad būtina atsižvelgti ir į paklaidų savybes.

Iš pradžių, kintamųjų laiko eilutė sujungiama į vieną vektorių ir „R“ programos „VARselect“ funkcija nustatoma, kurią vėlavimo eilę rinktis. Funkcijos pateikti rezultatai rodo, kad visi informaciniai kriterijai (AIC, HQ, SC, FPE) rekomenduoja rinktis 5 periodų vėlavimą. Todėl bus modeliuojamas šis atvejis tam, kuris galėtų nustatyti geriausiai (tiksliausiai) prognozuojantį modelį.

2 lentelė. VAR modelio eilės parinkimas

	VARselect(v,lag.max=12)			
	AIC(n)	HQ(n)	SC(n)	FPE(n)
Rekomenduojamas periodų vėlavimas	5	5	5	5

Granger priežastingumo testas. Atkreiptinas dėmesys, kad šį testą galime atlikti pirmiausia sudarius jau anksčiau minėtą VAR modelį ir statistiškai įvertinę jo adekvatumą. Granger priežastingumo testas remiasi šia prielaida, kad tuo atveju jeigu kintamasis – X įtakoja kintamąjį – Y, tai prieš kintamojo – Y pokyčius turėjo įvykti kintamojo – X pokyčiai, o ne atvirkščiai. Todėl galime daryti išvadą, kad jeigu kintamasis – X yra kintamojo – Y priežastis, tuomet, žinodami kintamojo – X reikšmes praityje, galėsime prognozuoti kintamojo – Y pokyčius ateityje. Taip pat labai svarbu pažymėti, kad kintamasis – Y nėra kintamojo – X rezultatas. Tiesiog teigsime, kad X kintamasis turi įtaką Y kintamojo pokyčiams ir X kintamasis yra Granger kintamojo Y priežastis.

3 lentelė. Grangerio priežastingumo tyrimas

Grangerio testas	Kiekiai~kainos, eilė=5	Kainos~kiekiai, eilė=5
F	6.3618	3.9259
F Pr(>F)	7.473e-06	0.001539
Reikšmingumo žymenys:	0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	

Taigi, padarius tam tikras išlygas dėl statistinių testų reikšmių, geriausias modelis prognozavimui yra VAR su penkių periodų vėlavimų, kaip ir siūlė informaciniai kriterijai.

Toliau tyrime bus atliekamos regresinė ir koreliacinė analizės, kuriomis ieškoma kiekybinio ryšio tarp elektros energijos kainų ir elektros energijos gamybos apimčių rodiklių. Pirmiausia bus atliekama regresinė analizė, kurioje priklausomas kintamasis yra dydis, kurio kitimą siekiama išsiaiškinti, o nepriklausomi kintamieji – tai dydžiai, kurie paaiškina

priklausomojo kintamojo kitimą. Koreliacinės analizės metodas naudojamas sužinoti kokia yra nagrinėjamų kintamųjų priklausomybė (silpna, vidutinė ar stipri) ir ar ji yra statistiškai reikšminga (Sakalauskas, 1998; Boguslauskas, 2007). Todėl regresinės analizės metodas leidžia įvertinti priežastinį nagrinėjamų kintamųjų ryšį, t. y. nustatyti, ar nepriklausomojo kintamojo pokyčiais galima paaiškinti priklausomojo kintamojo pokyčius.

Siekdami nustatyti rodiklių tarpusavio priklausomybės ryšius bus atliekama koreliacinė kintamųjų analizė – skaičiuosime koreliacijos koeficientą (žymima „r“), kuris nurodo dviejų atsitiktinių kintamųjų tarpusavio ryšio stiprumą. Atkreiptinas dėmesys, kad koreliacijos koeficientas kinta intervale nuo -1 iki 1 (kuo rodiklio reikšmė yra arčiau minėto intervalo ribų, tuo ryšys tarp nagrinėjamų rodiklių yra stipresnis). Kadangi koreliacijos koeficientas gali būti ir teigiamas, ir neigiamas, tai teigiama koeficiento reikšmė rodo, kad tarp kintamųjų yra teigiama tarpusavio priklausomybė, t. y. didėjant vienam kintamajam, kitas kintamasis taip pat didėja. Jei koeficiento reikšmė neigiama, tai reiškia, kad vienam kintamajam didėjant, kitas kintamasis mažėja (Sakalauskas, 1998, Boguslauskas, 2007).

Gauto modelio įvertinimui naudojamas determinacijos koeficientas (žymima „R²“), kuris parodo, kokią priklausomojo kintamojo dalį nulemia nepriklausomi kintamieji. **Šiuo atveju apskaičiuotas determinacijos koeficientas 0,34.** Kad galėtume teigti, kad sudarytas modelis yra tinkamas vertinimui, determinacijos koeficientas turi būti didesnis nei 0,25. Tai kritinė riba, kuria dažniausiai remiamasi vertinant modelio tinkamumą. Jei gautas determinacijos koeficientas mažesnis nei 0,25, tada teigiame, kad sudarytas modelis nėra tinkamas ir patikimas analizei atlikti. Boguslauskas (2007) teigia, kad kai regresijos modelis sudarytas tinkamai, determinacijos koeficiento reikšmė dažniausiai būna artima vienetui.

4.1. ARIMA prognozavimo modelis

ARIMA (angl. *AutoRegressive Integrated Moving Average*) – tai autoregresinis integruotas slenkamųjų vidurkių metodas, kuris dažnai naudojamas laiko eilučių analizei. Jo esmė yra ta, kad reikia sujungti autoregresijos, diferencijavimo ir slenkamųjų vidurkių metodo galimybes. Visos sudėtinės dalys yra paremtos atsitiktinio triukšmo (angl. „*White noise*“), kuris iškreipia laiko eilutės sisteminę komponentę, koncepcija ir turi reakcijos į šį triukšmą aprašymo būdą.

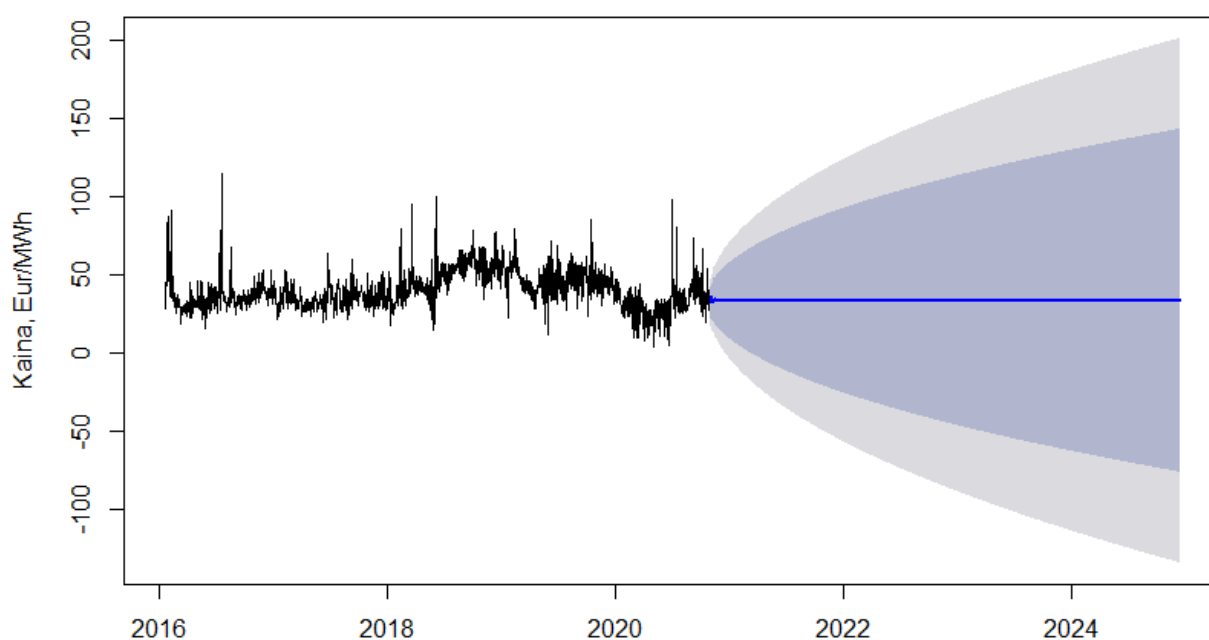
Bendriausias ARIMA modelis apima visas tris dalis ir yra užrašomas taip: ARIMA(p, d, q), kur p – autoregresijos eilė, d – diferencijavimo eilė, q – slenkamųjų vidurkių narių skaičius. Remiantis šiuo metodu kiekviena laiko eilutės reikšmė yra tiesinė prieš tai buvusios reikšmės ar

reikšmių funkcija. Pirmos eilės autoregresinėje lygtyje yra naudojama tik viena prieš tai buvusi reikšmė, antros eilės – dvi prieš tai esančios reikšmės ir t.t.. Laiko eilutės dažnai atspindi kaip tam tikras procesas apsprendžia laiko eilutės reikšmių kaitą, bet ne bendrą reikšmių lygį. Tokios eilutės vadinamos integruotomis. Ilgalaikėje perspektyvoje jas generuojančio proceso vidurkis gali nesikeisti, tačiau trumpoje atkarpoje eilutės reikšmės gali žymiai nukrypti nuo vidurkio. Integruotos laiko eilutės yra diferencijuojamos, kad išskirti šiuos, informacinę reikšmę turinčius, pokyčius ir suvesti eilutę generuojantį procesą į stacionarųjį pavidalą. Slenkamųjų vidurkių metodas. Pagal šį metodą kiekviena laiko eilutės reikšmė yra apsprendžiama dabartinės triukšmo reikšmės bei vienos ar kelių prieš tai stebėtų triukšmo reikšmių vidurkiu. Slenkamųjų vidurkių metodo eilė nusako prieš tai buvusių triukšmo reikšmių, kurių pagrindu yra skaičiuojamas vidurkis, skaičių.

Dažniausiai d lygus 0 arba 1. Teisingas p ir q reikšmes padeda nustatyti autokoreliacijos ir dalinės autokoreliacijos funkcijas. Autokoreliacijos funkcija pateikia pradinių duomenų ir pastumtų (angl. lag) per tam tikrą narių skaičių duomenų koreliacijos koeficiento reikšmių seką.

Šiuo atveju darau prielaidą, kad pagrindinis struktūrinis modelis nežinomas, tad parenku autoregresijos integruotą slenkančio vidurkio modelį ARIMA (5, 1, 2), kur 5 yra autoregresijos eilė, 1 diferencijavimo eilė, 2 slenkamųjų vidurkių narių skaičius.

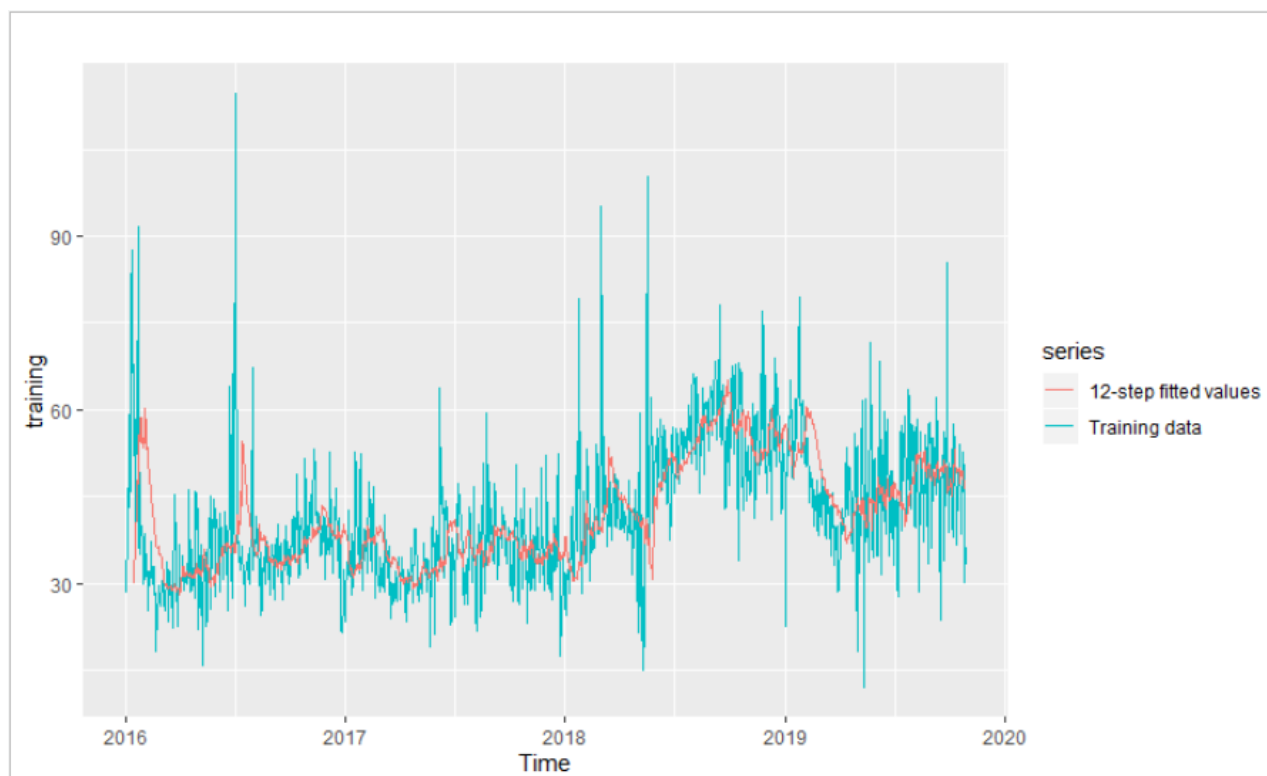
Vertinant prognozių rezultatus buvo vertinama, koks bus ateities elektros energijos, prekiaujamos elektros energijos biržoje, kainos kitimas ir perspektyvos. Buvo atlikta regresinė analizė taikant ARIMA (5, 1, 2) modelį, atvaizduojantį esamą tendenciją bei parodantį ateities perspektyvą.



13 paveikslas. Elektros kainų prognozės rezultatai, taikant ARIMA (5, 1, 2) modelį

Kaip galima matyti 13 pav., remiantis atlikta prognoze, per ateinančius kelis mėnesius elektros energijos, prekiaujamos elektros energijos biržoje kaina Lietuvos kainų zonoje turėtų siekti apie 28 Eur/MWh. Tačiau verta pažymėti, kad trumpuoju laikotarpiu galima tikėtis didesnių kainų svyravimų dėl to, kad pasirinktas modelis yra grįstas 2016–2020 m. spalio mėn. duomenimis, t. y. tuo laikotarpiu esančiomis tendencijomis rinkoje. Taip pat pažymėtina, kad šio tipo statistiniai metodai įprastai yra naudojami atliekant tik trumpalaikes elektros energijos kainų prognozes ir yra skirti aprašyti kainų kitimą esant tik įprastoms situacijoms rinkoje. Pažymėtina, kad pavyzdžiui 2020 m. pradžioje rinkoje nėra įprasta situacija dėl COVID-19 pasekmių, todėl realios kainų vertės ateityje gali būti ir kitokios (Valstybinė energetikos reguliavimo taryba. 2020)

Įprasta praktika yra parengtą modelį pritaikyti naudojant bandymo (angl. *training*) duomenis, o tada įvertinti jo efektyvumą bandymo duomenų rinkinyje. Prognozės dispersija paprastai didėja atsižvelgiant į prognozės laikotarpį. 14 pav. pateiktas bandymas nubraižyti kaip gautas modelis atitinka praeities taškus. Matome, kad modelis iš dalies atitinka praeities duomenis.



14 paveikslas. Elektros kainų prognozės ARIMA modelio bandymas

Atlikus analizę prognozavimo kintamumo rezultatų statistiniam vertinimui buvo skaičiuojama vidutinė paklaida, vidutinė absoliuti paklaida, šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos, vidutinė procentinė paklaida, vidutinė absoliutaus mastelio paklaida (angl. Mean Absolute Scaled Error, MASE), vidutinė absoliuti procentinė paklaida bei paklaidų autokoreliacija

praėjusiame žingsnyje. Atkreiptinas dėmesys, kad tokie autoriai kaip Xiao Yi (2014) apsiribojo ir vidutine absoliutine paklaida (MAE) ir vidutine kvadratine paklaida (RMSE) (Xiao Yi, 2014). Taip pat ir šiame darbe bus naudojami MAE ir RMSE metodai.

Remiantis vidutine kvadratine paklaida (RMSE) ir vidutine absoliutine paklaida (MAE) buvo patikrintas pasirinktas modelis (4 lentelė). Tinkamiausias modelis buvo atrinktas pagal mažiausias vidutinės absoliutinės paklaidos ir vidutinės kvadratinės paklaidos reikšmes: kuo šių rodiklių reikšmės mažesnės, tuo geresnė prognozavimo kokybė.

4 lentelė. Paklaidų patikrinimas

	RMSE	MAE	MAPE
ARIMA (5, 1, 2) modelis	7.434149	5.009278	12.51594

Apie modelio tinkamumą galime spręsti ir pagal vidutinę procentinę absoliutinę paklaidą (MAPE), nagrinėjamu atveju $12,51\% > 10\%$, o tai reiškia, kad prognozavimas parodo pakankamai tikslius rezultatus.

4.2. Elektros energijos gamintojų elgesys vertinant investicijų atsipirkimą

Akivaizdu, kad elektros energijos kainų prognozių poveikis ilgalaikiams investicijų sprendimams yra sudėtingas procesas, nes jis susijęs su daugeliu elektros energijos rinkos aspektų. Tačiau galime teigti, kad elektros energijos kainų prognozėms tenka svarbus vaidmuo priimant sprendimus dėl investicijų į elektros energijos pajėgumus, taip pat siekiant išlaikyti bendrą elektros energijos perdavimo sistemos veiklos saugumą ir veiksmingas kainas vartotojams. Elektros energijos pajamos iš rinkos sudaro pagrindines sąlygas investuotojui susigrąžinti investicijų išlaidas.

Šiuo metu elektros energijos gamybos svertiniai kaštai (angl. *levelized cost of energy LCOE*) yra pagrindinis galios vertinimo ir palyginimo standartas skirtingoms technologijoms, išreiškiant pagamintos elektros energijos kainą kaip elektros vertę, kuri per visą investicijos gyvavimo laikotarpį leistų padengti pagrindinės veiklos sąnaudas, investicijas, skolų valdymo išlaidas ir investuotojams užtikrinti reikalingą investicijų grąžą (Summers 2011).

Elektros energijos gamybos svertiniai kaštai, konkrečiai elektros energijos gamybos technologinei sistemos tarnavimo laikui apskaičiuojami naudojant šią formulę ir susijusius parametrus:

$$LCOE = \left(\frac{CAPEX \cdot CRF + \text{fiksuoti operaciniai kaštai}}{8760 \cdot \text{galios koeficientas}} \right)$$

$$\text{Kapitalo atgavimo faktorius}(CRF) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n}$$

CAPEX – kapitalo investicijų kaštai, EUR / MW;

Fiksuoti operaciniai kaštai – susijęs su eksploatavimo ir priežiūros sąnaudomis, EUR / MW per metus;

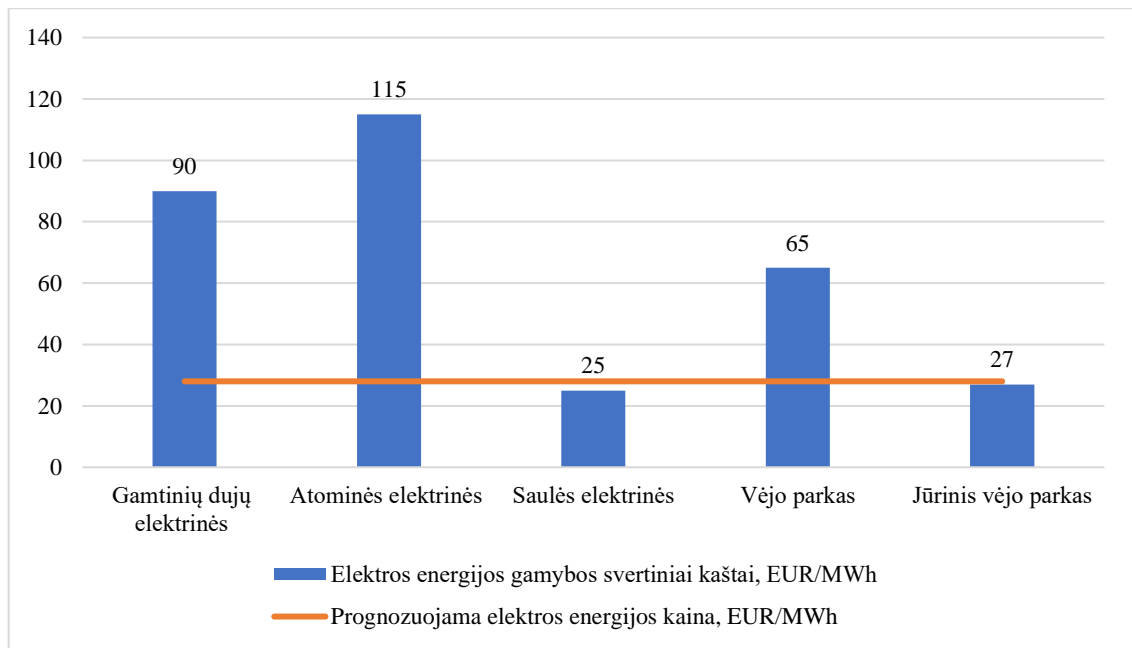
Galios koeficientas – tai laiko dalis per metus, kai elektrinė gamina elektros energiją;

i – reiškia diskonto normą, kuri priklauso nuo technologijos kapitalo kainos (skolinto ir nuosavo kapitalo kainos), taip pat apima finansinę riziką.

Pažymėtina, kad elektros energijos gamybos svartiniai kaštų vertinimas remiasi techniniais parametrais, kurie apima projektavimo, statybos ir elektrinės eksploatavimo technines charakteristikas, pvz.: elektrinės prieinamumas ir galia. Perdavimo sistemos operatoriai Europiniu ir nacionaliniu lygiu atlieka vertinimą apie numatomas skirtingų technologijų elektros energijos gamybos svertinius kaštus, šioje viešai pateikiama informacija leidžia suinteresuotosioms šalims analizuoti scenarijus.

Paminėtina 2020 m. atlikta Europos perdavimo operatorių tinklo operatoriai taip pat konstatuoja, kad energijos sistemos investicijų modelis remiasi tam tikros technologijos elektros energijos gamybos svartiniai kaštų vertinimu, kadangi būtent šis investicinis modelis užtikrina, kad technologijos kapitalo kaštai ir pastoviosios sąnaudos būtų atgautos per ekonominę ir techninę investicijos laikotarpį (Europos perdavimo operatorių tinklas 2020). Savo esme analogišką vertinimas pateikiamas ir Lietuvos elektros perdavimo sistemos operatoriaus LITGRID AB užsakymu atliktoje studijoje „Raida 2050“ (LITGRID AB 2020).

Atsižvelgiant į tai, kad elektros energijos gamybos svartiniai kaštų vertinimas remiasi techniniais parametrais, tolesniame tyrimo etape bus naudojami viešai skelbiami duomenys apie prognozuojamas elektros energijos gamybos svartiniai kaštų vertes, kurios bus lyginamos su šiame atliktame prognozavimo modelyje gautomis elektros energijos kainos prognozės rezultatais.



15 paveikslas. Elektros energijos gamybos svartiniai kaštų ir prognozuojamos elektros energijos kainos palyginimas (EUR/MWh)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Europos perdavimo operatorių tinklo (2020) duomenimis

Kaip galima matyti 15 pav., remiantis atlikta elektros energijos kainos prognoze tikėtina, kad elektros energijos gamintojai tikėtina priims sprendimus dėl investicijų į atsinaujinančių išteklių plėtrą – saulės ir vėjo jėgaines, kadangi prognozuojama elektros energijos kaina padengia šių technologijų elektros energijos gamybos svertinius kaštus.

Taip pat paminėtina, kad be rizikos vengimo atsinaujinančiųjų energijos išteklių plėtrą gali skatinti formuojami valtybės reguliavimo skatinimo mechanizmai ir žalioji energetikos politikos kryptis. Plėtojant politiškai remiamus atsinaujinančius atsinaujinančius energijos šaltinius susidaro situacija, kai elektros rinkoje formuojasi itin mažos kainos dėl to, kad atsinaujinantys išteklių rinkoje dalyvauja itin mažomis ribinėmis sąnaudomis arba jų neturi, tai savo ruožtu sukuria efektą, kad tradicinės generacijos pajėgumai, tokie kaip gamtinių dujų, anglies elektrinės tampa nekonkurencingos ir išvedamos iš rinkos.

IŠVADOS

1. Atlikus Lietuvos elektros energijos rinkos apžvalgą nustatyta, kad Lietuvos elektros rinka integruota į Europos Sąjungos elektros rinką. Lietuvoje įgyvendinti Europos teisės aktai, kurie nustato elektros energijos prekybos Nord Pool biržoje sąlygas, biržos kainos formavimo principus ir biržos kainų priežiūros mechanizmą.

2. Elektros gamintojų sprendimai dėl investicijų priimami remiantis elektros kainų prognozių pagalba apskaičiuotomis gautinomis naudomis. Gamintojai priima sprendimus investuoti į elektros energijos gamybos pajėgumus, kai parduodamos elektros energijos kainos viršija ribinius gamybos kaštus, o investicijos atsiperka. Taip pat esant nepakankamai elektros pasiūlai elektros rinkoje formuojasi aukštos kainos, kurios sukuria paskatas gamintojams investuoti į naujus generacijos pajėgumus.

3. Išnagrinėjus elektros energijos paklausos prognozavimo metodus išskiriami 5 pagrindiniai modeliai – Simuliaciniai modeliai, Pamatiniai, Supaprastintos formos, Dirbtinio intelekto ir Statistiniai. Išnagrinėjus jų taikymo sritis ir mokslinius tyrimus nustatyta, kad statistinės prognozavimo technikos pritaikymas būtų tinkamiausias atliekant Lietuvos elektros kainų prognozę dėl norimų pasiekti tyrimo rezultatų ir duomenų prieinamumo.

4. 2012–2019 m. elektros energijos kainos ir Lietuvos elektros energijos gamintojų pagamintos elektros energijos apimtys pasižymi nestacionarumu, kainų šuoliais, sezoniškumu. Metodologinėje dalyje pasirenkamas ARIMA modelis, kurio sudarymui panaudojami viešai prieinami Nord Pool duomenys.

5. Atliktas ateinančių laikotarpių elektros kainų prognozavimas naudojant ARIMA modelį ir sukonstruojant ARIMA prognozavimo modelio modifikaciją (5, 1, 2), kurią galima taikyti Lietuvos elektros energijos kainų prognozavimui. Šis modelis remiantis apskaičiuotais informaciniais kriterijais (AIC, HQ, SC, FPE) tinkamiausias elektros energijos kainų prognozei atlikti. Modelio rezultatai rodo, kad prognozuojama elektros energijos biržoje kaina Lietuvos kainų zonoje turėtų siekti apie 28 Eur/MWh

6. Elektros energijos gamintojai tikėtina priims sprendimus dėl investicijų į atsinaujinančių išteklių plėtrą – saulės ir vėjo jėgaines, kadangi prognozuojama elektros energijos kaina padengia šių technologijų elektros energijos gamybos svertinius kaštus, iškastinio kuro elektrinės (gamtinių dujų) prie prognozuojamų elektros energijų nepadengia elektros energijos gamybos svertinių kaštų, todėl esamos elektrinės tampa nekonkurencingos, o į naujas nebus investuojama.

LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

Abada, Ibrahim & de Maere d'Aertrycke, Gauthier & Smeers, Yves. (2017). *On the multiplicity of solutions in generation capacity investment models with incomplete markets: a risk-averse stochastic equilibrium approach*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/319774940_On_the_multiplicity_of_solutions_in_generation_capacity_investment_models_with_incomplete_markets_a_risk-averse_stochastic_equilibrium_approach [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Aggarwal, S. K.; Lalit, M. S.; Kumar. 2009. *A. Electricity price forecasting in deregulated markets: A review and evaluation*. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 31(1):13 – 22,. Prieiga per internetą: [10.1016/j.ijepes.2008.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2008.09.003) [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Aïd, René. (2014). *A Review of Optimal Investment Rules in Electricity Generation*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/297644988_A_Review_of_Optimal_Investment_Rules_in_Electricity_Generation [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Balmorel: A Model for Analyses of the Electricity and CHP Markets in the Baltic Sea Region. 2001. Prieiga per internetą: <http://www.balmorel.com/images/downloads/balmorel-a-model-for-analyses-of-the-electricity-and-chp-markets-in-the-baltic-sea-region.pdf> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Bessec M., & Bouabdallah O. 2005. *What causes the forecasting failure of Markov-switching models? A Monte Carlo study*. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 9(2), Article 6. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/24015972_What_Causes_The_Forecasting_Failure_of_Markov-Switching_Models_A_Monte_Carlo_Study [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.].

Cramton Peter. 2017. *Electricity market design*. Prieiga per internetą: [10.1093/oxrep/grx041](https://doi.org/10.1093/oxrep/grx041) [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Cruz, A., Muñoz, A., Zamora, J. L., & Espinola, R. (2011). *The effect of wind generation and weekday on Spanish electricity spot price forecasting*. *Electric Power Systems Research*, 81(10), 1924–1935. Doi: [10.1016/j.epsr.2011.06.002](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.06.002) [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Dacco, R., & Satchell, C. (1999). *Why do regime-switching models forecast so badly?* *Journal of Forecasting*, 18(1), 1–16. Doi: [10.1002/\(SICI\)1099-131X\(199901\)18:1%3C1::AID-FOR685%3E3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-131X(199901)18:1%3C1::AID-FOR685%3E3.0.CO;2-B) [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Dominique Finon & Christophe Defeuilley & Frédéric Marty, 2009. „*Signaux-prix et équilibre de long-terme. Reconsidérer l'organisation des marchés électriques*“ Prieiga per internetą: <https://ideas.repec.org/p/fce/doctra/0929.html> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Eydeland, A., & Wolyniec, K. 2003. *Energy and power risk management*. Hoboken, NJ: Wiley. Prieiga per internetą: <http://radoudoux.free.fr/Wiley%20Finance,..Energy%20and%20Power%20Risk%20Management%20-%20New%20Developments%20in%20Modeling,%20Pricing%20and%20Hedging.%5B2003.ISBN0471104000%5D.pdf> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Eugene F. Fama and Kenneth R. French, 2004 *The Capital Asset Pricing Model: Theory and Evidence*. Prieiga per internetą: <http://mba.tuck.dartmouth.edu/bespeneckbo/default/AFA611-Eckbo%20web%20site/AFA611-S6B-FamaFrench-CAPM-JEP04.pdf> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

EUPHEMIA Public Description Single Price Coupling Algorithm, 10th April 2019, Prieiga per internetą: <https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/pcr/euphemia-public-description.pdf> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Europos elektros energijos perdavimo sistemos operatorių tinklas, „*3rd ENTSO-E Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects*“, Prieiga per internetą: https://docstore.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/Cost%20Benefit%20Analysis/191023_CBA3_Draft%20for%20consultation.pdf [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Europos Parlamento ir Tarybos 2009 m. liepos 13 d. direktyva Nr. 2009/72/EB dėl elektros energijos vidaus rinkos bendrųjų taisyklių, panaikinančioje Direktyvą 2003/54/EB (OL 2009 L 511, p. 55).

Europos Parlamento ir Tarybos 2011 m. gruodžio 28 d. reglamentas Nr. 1227/2011 dėl didmeninės energijos rinkos vientisumo ir skaidrumo. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943&from=EN> [žiūrėta 2019 m. gruodžio 8 d.]

Europos Parlamento ir Tarybos 2013 m. balandžio 17 d. reglamentas (ES) Nr. 347/2013 dėl transeuropinės energetikos infrastruktūros gairių, kuriuo panaikinamas Sprendimas Nr. 1364/2006/EB ir kuriuo iš dalies keičiami reglamentai (EB) Nr. 713/2009, (EB) Nr. 714/2009 ir (EB) Nr. 715/2009 (OL 2013 L 115, p. 39).

Europos perdavimo operatorių tinklas, *Electricity Costs 2020*. Prieiga per internetą: <https://www.entso-tyndp2020-scenarios.eu/electricity-costs/> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Flatabo, N. & Doorman, Gerard & Grande, Ove & Randen, H. & Wangensteen, I., 2003. *A time series spot price forecast model for the Nord Pool market*, Prieiga per internetā: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061514001094?via%3Dihub#b0095> [žiūrēta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Garcia-Alcalde, A., Ventosa, M., Rivier, M., Ramos, A., & Relanõ, G. (2002). *Fitting electricity market models. A conjectural variations approach. Proceedings of the 14th PSCC conference, Seville.* Prieiga per internetā: <https://pdfs.semanticscholar.org/f9f7/e3b316a50721b616d8f0c9021133ff98b07b.pdf> [žiūrēta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Gonzalez, V., Contreras, J., & Bunn, D. W. (2012). *Forecasting power prices using a hybrid fundamental-econometric model. IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), 363–372. Prieiga per internetā: https://www.researchgate.net/publication/254061507_Forecasting_Power_Prices_Using_a_Hybrid_Fundamental-Econometric_Model [žiūrēta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Guidance on the application of Regulation (EU) No 1227/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on wholesale energy market integrity and transparency. Prieiga per internetā: https://www.acer.europa.eu/Official_documents/Other%20documents/4th%20Edition%20ACER%20Guidance%20REMIT.pdf [žiūrēta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Harsanyi J.C. 1987. *Von Neumann-Morgenstern Utilities, Risk Taking, and Welfare. In: Feiwel G.R. (eds) Arrow and the Ascent of Modern Economic Theory. Palgrave Macmillan, London.* Prieiga per internetā: https://doi.org/10.1007/978-1-349-07239-2_17 [žiūrēta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Hobbs, B. F., Metzler, C. B., & Pang, J. S. 2000. *Strategic gaming analysis for electric power systems: an MPEC approach. IEEE Transactions on Power Systems*, 15, 638–645. Prieiga per internetā: https://hobbsgroup.johnshopkins.edu/docs/papers/IEEE_HobbsMetzlerPang_00867153.pdf [žiūrēta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Joskow P., 2019. *Challenges for Wholesale Electricity Markets with Intermittent Renewable Generation at Scale: The U.S. Experience.* Prieiga per internetā: <https://economics.mit.edu/files/16650> [žiūrēta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Joskow Paul L. 2019. *Challenges for wholesale electricity markets with intermittent renewable generation at scale: the US experience*. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1093/oxrep/grz001> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Kagiannas AG, Askounis DTh, Psarras J. 2004. *Power generation planning: a survey from monopoly to competition*. *Electrical Power and Energy Systems*; 26:413–21. Prieiga per internetą: [10.1016/j.ijepes.2003.11.003](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2003.11.003) [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Karakatsani, N. V., & Bunn, D. W. 2008. *Forecasting electricity prices: the impact of fundamentals and time-varying coefficients*. *International Journal of Forecasting*, 24(4), 764–785. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/222053052_Forecasting_electricity_prices_The_impact_of_fundamentals_and_time-varying_coefficients [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Kenneth Arrow and Anthony C. Fisher. 1974. *Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility*, *The Quarterly Journal of Economics*, 88, (2), 312-319 Prieiga per internetą: <https://www.jstor.org/stable/1885568?seq=1> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Kristiansen, T. 2012. *Forecasting Nord Pool day-ahead prices with an autoregressive model*. *Energy Policy*, 49, 328–332. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512005381> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Liebl, D. 2013. *Modeling and forecasting electricity spot prices: a functional data perspective*. *Annals of Applied Statistics*, 7(3), 1562–1592. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/257126155_Forecasting_Nord_Pool_day-ahead_prices_with_an_autoregressive_model [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Lietuvos Respublikos Energetikos ministerija „Energetikos ministerija pristatys ilgalaikio galių mechanizmo ir sisteminių paslaugų Lietuvoje koncepcijas“. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/energetikos-ministerija-pristatys-ilgalaikio-galiu-mechanizmo-ir-sisteminiu-paslaugu-lietuvoje-koncepcijas> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

LITGRID AB 2020 „Raida 2050“ Prieiga per internetą: <https://www.litgrid.eu/index.php/naujienos/naujienos/-litgrid-atveria-scenarijus-2050-iesiems-zalioji-kryptis-lems-lietuvos-energetikos-ateiti/31371> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Mansur E.T. and White M.W. 2012. *Market Organization and Efficiency in Electricity Markets*. Prieiga per internetą: https://www.dartmouth.edu/~mansur/papers/mansur_white_pjmaep.pdf [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Myers, Stewart C. (1977). *Determinants of corporate borrowing*, Journal of Financial Economics, Pages 147-175, Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304405X77900150> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

N. Singh, S. Mohanty. 2015. „A review of price forecasting problem and techniques in deregulated electricity markets“ Journal of Power and Energy Engineering, vol. 3(9), p. 1,. Prieiga per internetą: https://file.scirp.org/pdf/JPEE_2015091013425101.pdf [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija, Prieiga per internetą: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Nord Pool. 2016. *Elgesio rinkoje taisyklės*. Prieiga per internetą: <http://www.nordpoolspot.com/globalassets/download-center/rules-and-regulations/nordic-baltic-rulebook-march-2016/5-market-conduct-rules-15.03.2016-original.pdf>

Olsson, M., & Soder, L. 2008. *Modeling real-time balancing power market prices using combined SARIMA and Markov processes*. IEEE Transactions on Power Systems, 23(2), 443–450. Prieiga per internetą: <http://tarjomehrooz.com/wp-content/uploads/2017/06/www.tarjomehrooz.com09337212591-22.pdf> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Oren Shmuel S. 2003. *Ensuring Generation Adequacy in Competitive Electricity Markets*., University of California, Berkeley. Prieiga per internetą: <https://oren.ieor.berkeley.edu/workingp/adequacy.pdf> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Petit, Marie. 2016. *Long-term dynamics of investment decisions in electricity markets with variable renewables development and adequacy objectives*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/315837111_Long-term_dynamics_of_investment_decisions_in_electricity_markets_with_variable_renewables_development_and_adequacy_objectives [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Petit, Marie, Dominique Finon, Tanguy Janssen. 2017. *Capacity adequacy in power markets facing energy transition: A comparison of scarcity pricing and capacity mechanism*. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2016.12.032> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Rintamäki, T., A. Siddiqui, and A. Salo. 2014. *Does renewable energy generation decrease the volatility of electricity prices? A comparative analysis of Denmark and Germany*.

Prieiga per internetą: <http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/mrin14.pdf> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Smeers, Y. 2009. *Study on the general design of electricity market mechanisms close to real time*. Prieiga per internetą: <https://www.semanticscholar.org/paper/STUDY-ON-THE-GENERAL-DESIGN-OF-ELECTRICITY-MARKET-Smeers/a68102a44bbf6ad09135b4cd7a3564d26d2fb3eb> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Sorokin, A., Rebennack, S., Pardalos, P., Iliadis, N.A., Pereira, M.V.F. 2012. *Handbook of Networks in Power Systems I*. Prieiga per internetą: <https://epdf.pub/handbook-of-networks-in-power-systems-i.html> [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Summers William Morgan. 2011. *Cost Estimation Methodology for NETL Assessments of Power Plant Performance*. Prieiga per internetą: https://www.netl.doe.gov/projects/files/QGESSCostEstimationMethodologyforNETLAssessmentsofPowerPlantPerformance_080111.pdf [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Štilinis R. *Elektros rinkos kūrimo tendencijos*. Vilnius: Vilniaus Universitetas, Ekonomika, 2006

Švarios energijos paketas, patvirtintas 2019 m. birželio 5 d. Europos Parlamento ir Tarybos Reglamentas (ES) 2019/943 dėl elektros energijos vidaus rinkos; Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943&from=EN> [žiūrėta 2020 m. gruodžio 8 d.]

Tabachnick B.G. and Fidell L.S. 2001. *“Using multivariate statistics”, 4th ed., Person Education Company, USA*. Prieiga per internetą: [10.1016/j.epsr.2011.06.002](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.06.002)

Tadahiro Nakajima ir Shigeyuki Hamori. 2010. *Change in consumer sensitivity to electricity prices in response to retail deregulation: A panel empirical analysis of the residential demand for electricity in the United States*, *Energy Policy*, 38, (5), 2470-2476. Doi: [10.1016/j.enpol.2009.12.041](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.041).

Trigeorgis Lenos. 1998. *Multi-stage real options: The cases of information technology infrastructure and international bank expansion*, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Volume 38, Issue 3, Part 2, Pages 675-692 Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1062976999800969> [žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.]

Vainienė R. *Ekonomikos terminų žodynas*. Tyto Alba, 2015. ISBN: 9789986164180

Valstybinės energetikos reguliavimo tarybos „Lietuvos Respublikos elektros energijos ir gamtinių dujų rinkų metinė ataskaita Europos Komisijai“. Prieiga per internetą:

<https://www.vert.lt/elektra/Puslapiai/elektros-rinkos-apzvalga/ataskaitos-europos-komisijai.aspx>

[žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.]

Vehvilainen, I. ir Pyykkonen, T. 2005. *Stochastic factor model for electricity spot price—the case of the nordic market*. *Energy Economics*, 27(2):351–367,. Prieiga per internetą:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988305000034?via%3Dihub> [žiūrėta

2019 m. lapkričio 19 d.].

Ventosa, M.; Baillo, A.; Ramos, A.; Rivier, M. Electricity market modeling trends. *Energy Policy*, 33(7):897 – 913, 2005. Prieiga per internetą:

https://www.researchgate.net/publication/222688764_Electricity_market_modeling_trends

[žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Vries L.J. De. 2015. „*Organizing flexibility: How to adapt market design to the growing demand for flexibility*“. Prieiga per internetą:

[https://www.researchgate.net/publication/308817524_Organizing_flexibility_How_to_adapt_ma](https://www.researchgate.net/publication/308817524_Organizing_flexibility_How_to_adapt_market_design_to_the_growing_demand_for_flexibility)

[rket design to the growing demand for flexibility](https://www.researchgate.net/publication/308817524_Organizing_flexibility_How_to_adapt_market_design_to_the_growing_demand_for_flexibility) [žiūrėta 2019 m. lapkričio 19 d.].

Weron R Modeling and forecasting electricity loads and prices: a statistical approach. (2006). Prieiga per internetą <ftp://ftp.repec.org/opt/ReDIF/RePEc/wuu/hsbook/HSBook0601.pdf>

[žiūrėta 2020 m. lapkričio 19 d.].

Weron, R. Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*, 30(4):1030 – 1081, 2014. Prieiga per internetą:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207014001083> [žiūrėta 2020 m.

lapkričio 19 d.].

THE IMPACT OF ELECTRICITY PRICES ON ELECTRICITY GENERATORS BEHAVIOUR

Paulius BLAŽYS

Paper for the Master's degree

Economic Analysis Master's Program

Vilnius University, Faculty of Economics and Business Administration

Supervisor – Dr. Šarūnas Eirošius Vilnius, 2020

SUMMARY

58 pages, 4 charts, 15 pictures, 57 references.

The main purpose of this master thesis is to overview and classify electricity price forecasting methods and to determine the method which is the most suitable to perform electricity prices forecast for Lithuania's market price using Nord Pool market data of 2016–2020 October. The need of extensive methodology for electricity price forecasting rises from the energy producers to make a more personalized and informed decisions on the potential investments in the energy opportunities.

It was determined that time series – autoregressive integrated moving average (ARIMA) model would be used to forecast electricity prices. After electricity prices forecast calculation was performed and reliability of the time series model was estimated. Furthermore, the forecasted prices were compared to the levelized cost of energy of various energy production technologies. The literature analysis showed that the market price is primary investment signal for the investors. The generators behaviour depends on the market price and possibility to recover of the initial capital expenditures and other fixed costs. Therefore, the comparison of the forecasted prices and levelized cost of energy was performed, which showed that the generators behaviour would result in investment in the renewable energy sources (wind and solar) generating assets. This conclusion is in line with European Green Deal road map to encourage efficient long-term investments for the energy transition to green energy.

The work consists of three main parts: the analysis of literature, the creation of forecasting model and its results, conclusion, and recommendations.

ELEKTROS KAINŲ ĮTAKOS ELEKTROS GAMINTOJŲ ELGSENAI ANALIZĖ

Paulius BLAŽYS

**Magistro baigiamasis darbas
EKONOMINĖS ANALIZĖS STUDIJŲ PROGRAMA**

**VILNIAUS UNIVERSITETAS
EKONOMIKOS IR VERSLO ADMINISTRAVIMO FAKULTETAS
EKONOMINĖS POLITIKOS KATEDRA**

SANTRAUKA

58 puslapiai, 4 lentelės, 15 paveikslai, 57 šaltiniai.

Pagrindinis šio magistro baigiamojo darbo tikslas – apžvelgti ir klasifikuoti elektros energijos kainų prognozavimo metodus ir nustatyti metodą, kuris yra būtų tinkamiausias Lietuvos elektros kainų prognozavimui atlikti, naudojant „Nord Pool“ 2016–2020 m. spalio mėn. elektros energijos kainų duomenis. Elektros kainų prognozavimo metodikos poreikis kyla elektros energijos gamintojams, kad jie galėtų priimti labiau individualizuotus ir pagrįstus sprendimus dėl galimų investicijų į naujus energijos pajėgumus.

Atlikus literatūros analizę ir klasifikavus energijos kainų prognozavimo metodus nustatyta, kad elektros kainoms prognozuoti bus naudojamas laiko eilučių autoregresinis integruotas slenkamojo vidurkio (ARIMA) modelis. Atlikus elektros energijos kainų prognozę ARIMA modeliu, įvertintas šio modelio patikimumas. Taip pat prognozuojamos kainos buvo lyginamos su įvairių energijos gamybos technologijų energijos sąnaudomis, kurios turėtų būti padengiamos iš elektros energijos rinkos gautomis pajamomis. Atlikta literatūros analizė parodė, kad elektros energijos rinkos kaina yra pagrindinis signalas investuotojams, o gamintojų elgesys priklauso nuo rinkos kainos ir galimybės susigrąžinti pradines kapitalo ir pastovias išlaidas. Todėl buvo atliktas palyginimas parodė, kad dėl elektros energijos gamintojai tikėtina priims sprendimus dėl investicijų į atsinaujinančių energijos šaltinių (vėją ir saulės energiją) pajėgumus. Konstatuota, kad ši darbo išvada atitinka Europos žaliojo susitarimo gaires, skatinančias efektyvias ilgalaikes investicijas pereinant prie žaliosios energijos.

Darbą sudaro trys pagrindinės dalys: literatūros analizė, prognozavimo modelio sukūrimas ir jo rezultatai, išvados.