



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

COVID-19 įtakos elektros kainoms Lietuvoje vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Tauras Aleksandravičius

Projekto autorius

Prof. Dr. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

COVID-19 įtakos elektros kainoms Lietuvoje vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Ekonomika (6211JX040)

Tauras Aleksandravičius

Projekto autorius

Prof. Dr. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Prof. Dr. Gražina Startienė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Tauras Aleksandravičius

COVID-19 įtakos elektros kainoms Lietuvoje vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Tauras Aleksandravičius

Patvirtinta elektroniniu būdu

Aleksandravičius, Tauras. COVID-19 įtakos elektros kainoms Lietuvoje vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Daiva Dumčiuvienė; Kauno technologijos universitetas, Ekonomikos ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Ekonomika, Socialiniai mokslai.

Reikšminiai žodžiai: COVID-19, elektros kainos, energetika.

Kaunas, 2022. 65 p.

Santrauka

Elektros energija yra išskirtinai neelastinga, strateginės reikšmės prekė, kurios gamyba ir perdavimas yra itin technologiškai sudėtingi procesai, o nenutrūkstamas elektros energijos tiekimas – valstybės garantuojama viešoji gėrybė, kurios klaidos kaina yra milžiniška. COVID-19 pandemija padarė didelę ekonominę, socialinę, politinę įtaką Lietuvai ir pasaulio valstybėms. Lietuvos elektros energijos sektorius, vykdydamas sparčią transformaciją, siekia tinkamai vykdyti tarptautinius įsipareigojimus ir efektyviai tenkinti Lietuvos visuomenės poreikius, tačiau COVID-19 pandemijos sukelti paklausos ir pasiūlos šokai stipriai įtakoją sektoriaus veiklą ir elektros energijos kainas. Dėl pokyčių žaliavų rinkose, didelių pasiūlos ir paklausos šokų, iš esmės kito nusistovėjęs elektros energijos sektoriaus *status quo* – 2020 m. sektorių ištiko istoriniai paklausos pokyčiai, kai 2021 m. gruodį buvo užfiksuota visų laikų rekordinė didmeninė elektros energijos kaina Lietuvos rinkoje.

Projekto objektas – COVID-19 įtaka elektros energijos kainoms.

Projekto tikslas – įvertinti COVID-19 įtaką elektros energijos kainoms Lietuvoje.

Projekto uždaviniai:

1. Išanalizuoti Lietuvos elektros energijos sektorių ir jo problematiką COVID-19 pandemijos metu;
2. Išanalizuoti COVID-19 poveikio elektros energijos kainoms teorinius aspektus;
3. Parengti COVID-19 poveikio elektros energijos kainoms tyrimo metodologiją;
4. Įvertinti COVID-19 pandemijos padarinių įtaką elektros energijos kainoms Lietuvoje.

Pagrindiniai projekto rezultatai: Analizuojant mokslinės literatūros ir statistinius šaltinius nustatyta, kad elektros energijos vartojimas, koronaviruso pandemijos laikotarpiu, reikšmingai sumažėjo transporto, pramonės, paslaugų sektoriuose, o transporto ir paslaugų srityse elektros vartojimo lygis į priešpandeminį lygį negrįžo net ir pasibaigus visuotinio karantino laikotarpiui. Išanalizavus elektros energijos pasiūlos pokyčius, nustatyta, kad pandemijos laikotarpiu reikšmingai didėjo nacionalinė elektros gamyba ir elektros energijos gamyba iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Elektros energijos kainos pandemijos pradžioje nukrito į dešimtmečio mažumas, tačiau 2021 m. II ketv. vėl didėjo ir pasiekė dešimtmečio rekordą. Koronaviruso pandemijos poveikis elektros kainoms nėra plačiai ištirtas, mokslininkai daugiau analizuoja pandemijos poveikį elektros energijos vartojimo rodikliams. Pandemijos laikotarpiu, atliktuose moksliniuose tyrimuose, buvo analizuojamas šiltnamio dujų emisijų sumažėjimas pasaulyje, elektros gamybos iš atsinaujinančių išteklių didėjimas, padidėję elektros gamybos įmonių kaštai, komplikuoti ir vėluojantys žaliųjų technologijų spartinimo ir dirbančių jėginių išlaikymo procesai. Tyrimo rezultatų dalyje nustatyta reikšminė tiesinė koreliacija ir Granger priežastingumas tarp elektros energijos vartojimo ir elektros kainų rodiklių. Taip pat nustatyta, kad regresijos modeliai, kuriuose įtraukiamas koronaviruso pandemijos poveikis, analizuojant „Brent“ naftos kainas ir elektros vartojimo duomenis, yra tikslesni ir tinkamesni, siekiant įvertinti rodiklių poveikį elektros kainoms.

Aleksandravicius, Tauras. Evaluation of the Impact of COVID-19 on Electricity Prices in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Daiva Dumciuviene; School of Economics and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Economics, Social Sciences.

Keywords: COVID-19, electricity prices, energetics.

Kaunas, 2022. 65 pages.

Summary

Electricity is an exceptionally inelastic, strategically important commodity. The production and transmission of electricity are highly technologically sophisticated processes, while the uninterrupted supply of electricity is a public good guaranteed by the state and the cost of failure is enormous. The COVID-19 pandemic had a significant economic, social, and political impact on Lithuania and the countries around the globe. The Lithuanian electricity sector is seeking for a rapid transformation to meet its international obligations and effectively meet the needs of Lithuanian society, but the demand and supply shocks caused by the COVID-19 pandemic have had a strong impact on the sector's operations and electricity prices. Changes in commodity markets, large supply and demand shocks have fundamentally changed the *status quo* of the electricity sector – in 2020 the sector was hit by historic demand shocks, when in December 2021, a record wholesale price of electricity in the Lithuanian market was recorded.

The object of the project – COVID-19 impact on electricity prices.

The aim of the project – to evaluate the impact of COVID-19 on electricity prices in Lithuania.

Project tasks:

1. To analyze the Lithuanian electricity sector and its problems during the COVID-19 pandemic;
2. To analyze the theoretical aspects of the impact of COVID-19 on electricity prices;
3. Develop a methodology for evaluating the impact of COVID-19 on electricity prices;
4. To evaluate the impact of the COVID-19 pandemic on electricity prices in Lithuania.

The main results of the project: By analyzing the scientific literature, statistical sources it was found that electricity consumption during the coronavirus pandemic changed significantly in the segments of transport, industry and services, while consumption in transport and services did not return to the previous level until Q2 of 2021. An analysis of changes in electricity supply shows that national electricity production and electricity production from renewable energy sources increased significantly during the pandemic period, when electricity prices reached a decade low at the beginning of the pandemic, but in Q2 of 2021 had already risen to record highs. In the scientific community, the impact of the coronavirus pandemic on electricity prices has not been extensively studied, with different researchers focusing more on the impact of the pandemic on electricity consumption. There is also a wealth of studies in the scientific literature analyzing the reduction of global greenhouse gas emissions, the increase in electricity production from renewable energy sources, the increased costs of electricity generation companies, the complicated and delayed processes of accelerating green technologies and maintaining operating power plants. The significant linear correlation and Granger causality between electricity consumption and electricity price indicators were found in the study part. Regression models that incorporate the effects of the coronavirus pandemic were also found to be more accurate in analyzing “Brent” oil price and electricity consumption data and to better explain the effects of one indicator on another.

Turinys

Lentelių sąrašas	6
Paveikslų sąrašas	7
Įvadas	8
1. Lietuvos elektros energijos sektoriaus problematika COVID-19 pandemijos laikotarpiu	9
1.1. COVID-19 pandemijos poveikis elektros energijos paklausai Lietuvoje	9
1.2. COVID-19 pandemijos poveikis elektros energijos pasiūlai Lietuvoje.....	11
1.3. Elektros energijos kainų pokyčiai Lietuvoje.....	13
2. COVID-19 įtakos elektros energijos kainoms teoriniai aspektai	17
2.1 Elektros energijos kainos COVID-19 pandemijos laikotarpiu	17
2.1.1 Didmeninės elektros energijos kainos savybės	17
2.1.2 Elektros energijos kainų reguliavimas Lietuvoje.....	19
2.1.2.1 Elektros energijos rinkos struktūra	19
2.1.2.2 Elektros energijos kainos struktūra	22
2.1.3 Elektros energijos kainų pokyčiai	24
2.2 Elektros energijos paklausos pokyčiai COVID-19 pandemijos laikotarpiu	28
2.3 Elektros energijos pasiūlos pokyčiai COVID-19 pandemijos laikotarpiu	33
3. COVID-19 įtakos elektros energijos kainoms Lietuvoje tyrimo metodologija	37
4. COVID-19 įtakos elektros energijos kainoms Lietuvoje empirinis tyrimas	42
4.1 Rodiklių tinkamumo tyrimui, stacionarumo įvertinimas	42
4.2 Kintamųjų koreliacinė analizė ir priežastinių ryšių tarp kintamųjų vertinimas	44
4.3 COVID-19 poveikio elektros kainoms tyrimo rodiklių analizė.....	47
4.4 COVID-19 įtakos kintamiesiems vertinimas, regresinė analizė	50
4.4.1 Elektros energijos vartojimo poveikio elektros energijos kainoms analizė.....	50
4.4.2 Brent naftos kainos poveikio elektros energijos kainoms analizė	54
4.4.3 Importuojamų dujų kainos poveikio elektros energijos kainoms analizė	55
Išvados	59
Literatūros sąrašas/Informaciniai šaltiniai	61
Priedai	66
1 priedas. Pradiniai tyrimo duomenys.....	66
2 priedas. Kintamųjų stacionarumo įvertinimas	67
3 priedas. Granger priežastingumo įvertinimas	73

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Elektros energijos vartojimo balanso duomenys 2019–2021 m. II ketv. (sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)	10
2 lentelė. Elektros energijos vartojimo balanso duomenys 2019–2021 m. (sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)	11
3 lentelė. Elektros energijos gamybos duomenys 2019 m. – 2021 m. II ketv. (Sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)	11
4 lentelė. Elektros energijos kainos savybės (Sudarė autorius, remdamasis Bobinaitė, Konstantinavičiūtė ir Lekavičius, 2012)	18
5 lentelė. Veiksniai darantys įtaką elektros energijos kainoms (Sudarė autorius, remdamasis Bobinaitė, Juozapavičienė, 2012)	25
6 lentelė. Nepriklausomųjų kintamųjų, modelių ir modelio tikslumo įvertinimo parinkimas kuriant elektros kainos prognozavimo modelius (Sudarė autorius, remdamasis Kvietkauskaitė, 2021)	27
7 lentelė. COVID-19 pandemijos padarinių poveikis pasaulio valstybėms. (Sudarė autorius, remdamasis Ceylan, 2020)	28
8 lentelė. Studijos, prognozuojančios elektros energijos paklausą. (Sudarė autorius, remdamasis Ceylan 2020)	29
9 lentelė. Trumpojo laikotarpio elektros energijos skurdo mažinimo priemonės. (Sudarė autorius, remdamasis Qarnain et al., 2020).....	31
10 lentelė. Pagrindinės tyrime naudojamų kintamųjų skaitinės charakteristikos	37
11 lentelė. Pagrindiniai tyrimo etapai	38
12 lentelė. Kintamųjų tikimybės	42
13 lentelė. Kintamųjų stacionarumo įvertinimas	44
14 lentelė. Kintamųjų koreliacinė analizė	45
15 lentelė. Elektros energijos kainos ir nepriklausomųjų kintamųjų Granger priežastingumo įvertinimas.....	46
16 lentelė. Importuojamųjų dujų kainos ir nepriklausomųjų kintamųjų Granger priežastingumo įvertinimas.....	46
17 lentelė. Kintamųjų žymėjimas formulėse.....	50
18 lentelė. Kintamųjų kointegracijos įvertinimas	51
19 lentelė. Autoregresijos modelio be COVID-19 įvertinimas.....	52
20 lentelė. Netikro kintamojo reikšmės	52
21 lentelė. Autoregresijos modelio su COVID-19 įtaka reikšmingumo įvertinimas.....	52
22 lentelė. Regresijos modelio įverčiai	53
23 lentelė. Kintamųjų kointegracijos įvertinimas	54
24 lentelė. ARDL (2,0) modelio rezultatai	54
25 lentelė. Regresijos modelio tarp importuojamų dujų ir elektros energijos kainos rezultatai	55
26 lentelė. ECM modelio tarp importuojamų dujų ir elektros energijos kainos rezultatai	56
27 lentelė. ARDL (1, 1) modelio rezultatai	57
28 lentelė. ARDL (2, 1) modelio rezultatai	57

Paveikslų sąrašas

1 pav. NordPool sistemos kaina Eur/TWh 2019 m. – 2021 m. (Sudarė autorius, remdamasis Nordpool, 2021)	12
2 pav. Didmeninė elektros energijos kaina Lietuvoje 2019-2021 m., Eur/TWh (Sudarė autorius, remdamasis Regula.lt, 2021).....	14
3 pav. Visuomeninio elektros energijos tiekimo kaina, vienos laiko zonos tarifas su vienos laiko zonos energijos dedamąja, Eur/kWh (Sudarė autorius, remdamasis Regula.lt, 2021)	15
4 pav. Visuomeninio elektros energijos tiekimo kaina, dviejų laiko zonų tarifas, Eur/kWh (Sudarė autorius, remdamasis Regula.lt, 2021).....	15
5 pav. COVID-19 įtaka elektros energijos kainoms	16
6 pav. Elektros energijos gamyba Lietuvoje 2016-2021 m. (Sudarė autorius remdamasis Litgrid, 2021)	19
7 pav. Elektros energijos gamyba ir sistemos balansas, 2016 - 2020 m. (Litgrid, 2021)	21
8 pav. Šiluminių elektrinių elektros gamyba 2016 - 2020 m. (Litgrid, 2021)	21
9 pav. Elektros energijos importas, GWh 2016 - 2021 m. (Litgrid, 2021).....	22
10 pav. Elektros energijos kainos dedamosios (VERT, 2021)	23
11 pav. Eur/USD valiutų kurso išskirtys (Sudarė autorius, naudojant EViews 12).....	43
12 pav. Eur/USD valiutų kurso kvantilių grafikas (Sudarė autorius, naudojant EViews 12).....	43
13 pav. Elektros energijos kaina Lietuvoje 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, remdamasis litgrid.eu).....	47
14 pav. Elektros energijos vartojimas Lietuvoje 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)	48
15 pav. Elektros energijos kainų, Brent naftos kainos, importuojamų dujų kainų palyginimas Lietuvoje 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, pagal skirtingus šaltinius)	49
16 pav. Eur/USD valiutų kurso dinamika 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)	49
17 pav. Brent naftos kainos, COVID-19 poveikio ir elektros energijos kainų regresijos modelio pasirinkimo rezultatai.....	54
18 pav. Importuojamų dujų kainos ir elektros energijos kainų regresijos modelio pasirinkimo rezultatai	57

Ivadas

Elektros energijos sektoriaus išlaikymas ir plėtra yra vieni iš svarbiausių šiuolaikinės valstybės veiklos kryptių, kurios nuolat sąveikauja su nacionalinio saugumo, tvarumo, ekologijos bei modernizacijos idėjomis. Elektros energija yra išskirtinai neelastinga, strateginės reikšmės prekė, kurios gamyba, perdavimas yra itin technologiškai sudėtingi procesai, o nenutrūkstamas elektros energijos tiekimas – valstybės garantuojama viešoji gėrybė, kurios klaidos kaina yra milžiniška. Siekdama nacionalinių interesų bei tarptautinių įsipareigojimų įgyvendinimą, Lietuva dalyvauja įvairiose su elektros energijos sektoriaus transformacija susijusiose programose, kurių tikslas yra energetinė nepriklausomybė, sinchronizacija su vakarų Europos tinklu, aplinkai neutrali ekonomika. Nepaisant didelių ambicijų ir strateginių tikslų, 2020 m. pasaulį paveikusi koronavirusinės infekcijos pandemija padarė didelę įtaką valstybių ekonomikoms. 2020 metų kovo mėn. daugelis Europos valstybių paskelbė ekstremalią situaciją ir įvedė įvairias koronaviruso pandemijos valdymo priemones, susijusias su gyventojų mobilumo, kontaktinių veiklų ribojimu. Transformaciją ir didelę pažangą išgyvenantis Lietuvos elektros energijos sektorius privalėjo adaptuoti sektoriaus veiklą ir strateginius prioritetus. Dėl pokyčių žaliavų rinkose, didelių pasiūlos ir paklausos šokų, iš esmės kito nusistovėjęs elektros energijos sektoriaus *status quo* – 2020 m. sektorių ištiko istoriniai paklausos šokai, o 2021 m. gruodį buvo užfiksuota visų laikų rekordinė didmeninė elektros energijos kaina Lietuvos rinkoje. Taip pat buvo pastebėta sulėtėjusios strateginių projektų statybų apimtys, reikšmingai keitėsi elektros energijos produkcijos kiekiams ir elektros energijos gamybos tipai. Nors elektros energijos kainą dažnai lemia ne tik ekonominiai, bet ir socialiniai, politiniai veiksniai, su COVID-19 susiję pokyčiai pirmiausiai lėmė makroekonominių rodiklių pokyčius, kurie galimai darė poveikį elektros energijos kainų pokyčiams. Dėl šių priežasčių svarbu išanalizuoti ir įvertinti koronaviruso pandemijos poveikį elektros energijos kainoms.

Darbo aktualumas. COVID-19 pandemija padarė didelę ekonominę, socialinę, politinę įtaką Lietuvai ir pasaulio valstybėms. Lietuvos elektros energijos sektorius, vykdydamas sparčią transformaciją, siekia tinkamai vykdyti tarptautinius įsipareigojimus ir efektyviai tenkinti Lietuvos visuomenės poreikius, tačiau COVID-19 pandemijos sukelti paklausos ir pasiūlos šokai stipriai įtakojo sektoriaus veiklą ir elektros energijos kainas. Dėl to yra svarbu išanalizuoti COVID-19 pandemijos sukeltų padarinių įtaką elektros energijos kainoms ir įvertinti valstybės makroekonominių rodiklių poveikį elektros energijos kainoms koronaviruso pandemijos kontekste.

Darbo problema: kokią įtaką darė COVID-19 elektros energijos kainoms Lietuvoje?

Darbo objektas – COVID-19 įtaka elektros energijos kainoms.

Darbo tikslas – įvertinti COVID-19 įtaką elektros energijos kainoms Lietuvoje.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti Lietuvos elektros energijos sektorių ir jo problematiką COVID-19 pandemijos metu;
2. Išanalizuoti COVID-19 poveikio elektros energijos kainoms teorinius aspektus;
3. Parengti COVID-19 poveikio elektros energijos kainoms tyrimo metodologiją;
4. Įvertinti COVID-19 pandemijos padarinių įtaką elektros energijos kainoms Lietuvoje.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros ir statistinių duomenų analizės, lyginamoji ir koreliacinė-regresinė analizės naudojant eViews 12 programinę įrangą.

1. Lietuvos elektros energijos sektoriaus problematika COVID-19 pandemijos laikotarpiu

Pirmoje projekto dalyje apžvelgiama Lietuvos elektros energijos sektoriaus problematika bei analizuojama, kokią įtaką tam kėlė COVID-19 pandemija ir jos sukelti ekonominės veiklos apribojimai (visuotinis karantinas, judėjimo ribojimai ir kt.).

1.1. COVID-19 pandemijos poveikis elektros energijos paklausai Lietuvoje

2019 m. gruodžio 31 d. Pasaulinė sveikatos organizacija (toliau – PSO) pirmą kartą pranešė apie nežinomos kilmės plaučių pneumonijos atvejus Kinijoje, Wuhan provincijoje. Naujai atrasta koronavirusinė infekcija pavadinta 2019-nCoV ir bendrai pasaulyje nuo 2020 m. vasario 11 d. pavadinta COVID-19 (Bompard, 2020). Kada pirmieji užsikrėtimo liga atvejai už Kinijos Liaudies Respublikos sienų buvo užfiksuoti jau 2020 m. sausio 13 d., Lietuvą COVID-19 pasiekė vasario 28 d., patvirtinus pirmuosius du COVID-19 ligos atvejus Lietuvoje. 2020 m. kovo 11 d. COVID-19 pripažinus pasauline pandemija, jau tų pačių metų kovo 16 d. Lietuvos Respublikos Vyriausybės sprendimu įvestas pirmasis karantinas visoje Lietuvos Respublikos teritorijoje, trukęs iki 2020 m. birželio 17 d., išskirtinai apribojęs gyventojų mobilumą, paslaugų teikimą ir pramonės sektoriaus veiklą. Vėliau, tų pačių metų lapkričio 4 d., blogėjant epidemiologinei situacijai šalyje ir siekiant sustabdyti vis didėjantį viruso plitimą ir galimą sveikatos sistemos griūtį įvestas antrasis visuotinis karantinas, trukęs iki 2021 m. liepos 1 d. (Lietuvos Respublikos Seimas, 2020). Atlikti veiksmai, siekiant suvaldyti COVID-19 plitimą, darė didelę įtaką šalies ir pasaulio ekonomikoms, socialiniam gyvenimui ir bendrai gyvensenai. Kontaktinių veiklų ir judėjimo ribojimai, gausiai stabdoma pramonės veikla buvo vieni pirmųjų suvaržymo priemonių, tiesiogiai susijusių ir su elektros energijos sektoriaus veikla. COVID-19 nulemti suvaržymai ekonominėje veikloje ir žmonių gyvenimoje neišvengiamai prisidėjo prie elektros energijos paklausos ir pasiūlos šoko, o taip pat galimi atrodė ir pokyčiai vyriausybiname elektros kainų nustatyme (Vernengo, 2021).

Pirminis COVID-19 pandemijos sukeltų padarinių ekonominis šokas buvo susijęs su ženkliai elektros energijos paklausos sumažėjimu, todėl svarbu detalizuoti, kaip keitėsi pagrindiniai elektros energijos suvartojimo rodikliai. Bahmanyar et al. (2020) vieni pirmųjų analizavo koronaviruso pandemijos padarinių įtaką Europos šalių elektros energijos suvartojimui. Autoriai darė išvadą, kad palyginus pasirinktų Europos šalių elektros energijos suvartojimo profilius darytina išvada, kad ekstremaliosios situacijos paskelbimas ir laipsniškas ribojimų įvairioms gyvenimo sritims taikymas turėjo labai reikšmingą poveikį elektros energijos suvartojimui. Lietuvos atveju, siekiant tinkamai suvokti paklausos pokyčius skirtingose gyventojų grupėse ir bendrai šalyje, 1 lentelėje pateikiami faktiniai galutinio elektros energijos suvartojimo pasikeitimai Lietuvoje 2019 m., 2020 m., 2021 m. II ketv. Antrųjų ketvirčių duomenys pateikiami dėl 2 pagrindinių priežasčių: 1. siekiant tikslingiausiai atvaizduoti gyventojų vartojimo įpročius, netaikant su kitais ketv.; 2. siekiant iliustruoti visuotinių karantinų padarytą poveikį tuo pat metu skirtingomis aplinkybėmis – 2019 m., kada COVID-19 ligos nebuvo, 2020 m., kada karta tik buvo paskelbtas pirmasis visuotinis karantinas, ir 2021 m., kai įsibėgėjo visuotinis gyventojų skiepijimas, tačiau karantino ribojimai, nors ir švelnesni negu 2020 m. II ketv., vis dar galiojo.

1 lentelė. Elektros energijos vartojimo balanso duomenys 2019–2021 m. II ketv. (sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)

Vartojimo balansas ir metai	2019 m. II ketv.	2020 m. II ketv.	2021 m. II ketv.
Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje	2,660 TWh	2,515 TWh	2,818 TWh
Pramonė	1,080 TWh	0,980 TWh	1,088 TWh
Transportas	0,022 TWh	0,018 TWh	0,019 TWh
Žemės ūkis	0,058 TWh	0,057 TWh	0,061 TWh
Gyventojai	0,675 TWh	0,740 TWh	0,832 TWh
Paslaugos ir kiti vartotojai	0,826 TWh	0,719 TWh	0,818 TWh

Pateiktoje išvardintų metų antrųjų ketv. statistikoje pastebėtina, kad pagrindiniai pokyčiai stebimi lyginant 2019 m. ir 2020 m. bei 2021 m. ir 2020 m. II ketv. duomenis. Iš esmės, 2020 m. II ketv. galutinis elektros energijos suvartojimas, lyginant su 2019 m., sumažėjo 5,5 %. Taip pat svarbu pastebėti, kad vartojimas pramonės, transporto, paslaugų sektoriuje buvo mažesnis daugiau nei 10 % negu ankstesniais metais ir tai lėmė galutinio suvartojimo balanso pokyčius ketvirtyje. Taip pat, lyginant 2021 m. II ketv. ir 2020 II ketv. duomenis, pastebėtina, kad augimas buvo stebimas visose veiklos srityse. Pastebėtina, kad galutinis energijos suvartojimas 2021 m. II ketv. buvo didesnis net 12 %, lyginant su 2020 m. II ketv., o tam tikrose srityse elektros suvartojimas didėjo net nuo 6 % iki 12 %. Švelnesnio visuotinio karantino ir ekonominio atsigavimo apraiškas galima stebėti lyginant 2021 m. ir 2019 m. II ketv. duomenis, kada galutinis elektros energijos suvartojimas jau buvo didesnis 5 %, nors paslaugų bei transporto sektoriuose jis vis dar išliko mažesnis nei priešpandeminiu laikotarpiu.

Didelį visuomenės elgsenos pokytį atvaizduoja elektros energijos suvartojimo namų ūkiuose statistika, kuri lyginant 2019 m. ir 2021 m. duomenis, pakilo 23 %. Lazo et al. (2022) straipsnyje analizuodami COVID-19 įtaką elektros energijos sektoriui darė išvadas, kad iš tiesų koronaviruso poveikio ribojimo priemonės visame pasaulyje darė reikšmingą įtaką ne tik bendram elektros energijos suvartojimui, tačiau tai iš esmės lėmė didelis pramoninių ir komercinių vartotojų elektros energijos vartojimo mažėjimas bei išaugęs gyventojų segmento vartojimas. Taigi, galima teigti, kad lyginant skirtingų laikotarpių elektros energijos vartojimo duomenis, pastebėtini reikšmingi elektros energijos paklausos pokyčiai.

Pateiktose metinėse 2019–2021 metų elektros energijos vartojimo ataskaitose stebima, kad galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje, „Litgrid“ duomenimis, 2020 m., lyginant su 2019 m., sumažėjo 1,5 % (žr. 2 lentelę). Manytina, kad dėl didėjančios elektrifikacijos pasaulyje, COVID-19 pandemija nesukėlė drastinio nuosmukio galutinio elektros energijos suvartojimo plotmėje (Acer, 2021). Didžiausi faktiniai elektros energijos suvartojimo svyravimai buvo stebimi specifiniuose elektros energijos vartotojų segmentuose. Ženklaus elektros energijos suvartojimo sumažėjimas 2020 m. buvo fiksuojamas paslaugų ir aptarnavimo segmente – beveik 6 %. Tai aiškintina visuotinių karantinų laikotarpiu įvestų gyventojų veiklos ribojimo priemonių poveikiu, kai dalis paslaugų sektoriaus įmonių reikšmingą metų dalį buvo priverstos užsidaryti arba dirbo su dideliais veiklos apribojimais (pvz.: darbo laiko trukmės apribojimas). Taip pat reikšmingi galutinio elektros energijos suvartojimo pokyčiai buvo fiksuojami pramonės segmente – buvo fiksuojamas beveik 2,2 % sumažėjimas, kurį iš esmės lėmė apribota pramonės sektoriaus veikla (taip pat pramonės įmonių bankrotai). Iš esmės, didžiausias 2020 m. elektros energijos suvartojimo mažėjimas buvo stebimas transporto segmente, kuris siekė 14,3 % (didžiausias sumažėjimas nuo 2010 m.). Nors transporto segmentas turi mažiausią elektros energijos suvartojimo balansą iš visų sektorių, galima teigti, kad COVID-19 pandemijos padariniai jam padarė išskirtinai didelę įtaką. Pandemija taip pat stipriai keitė

valstybės gyventojų elektros energijos vartojimo įpročius – galutinis 2020 m. elektros energijos suvartojimas išaugo 5 %. Skirtingai, negu visų kitų sektorių, žemės ūkio sektoriaus galutinio elektros energijos suvartojimo balansas buvo teigiamas ir nuo 2019 m. iki 2020 m. padidėjo 1,5 % (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Elektros energijos vartojimo balanso duomenys 2019–2021 m. (sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)

Vartojimo balansas ir metai	2019 m.	2020 m.	2021 m.
Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje	11,14 TWh	10,97 TWh	11,84 TWh
Pramonė	4,37 TWh	4,24 TWh	4,48 TWh
Transportas	0,10 TWh	0,09 TWh	0,10 TWh
Žemės ūkis	0,26 TWh	0,25 TWh	0,27 TWh
Gyventojai	2,91 TWh	3,06 TWh	3,41 TWh
Paslaugos ir kiti vartotojai	3,54 TWh	3,33 TWh	3,57 TWh

Vertinant pasauliniu mastu, lyginant su 2019 m., elektros energijos paklausa 2020 m. sumažėjo vos 1 %, tačiau pirmoje metų pusėje Tarptautinės energetikos agentūros (IEA) duomenimis elektros energijos paklausa karantino laikotarpiu tam tikrose šalyse buvo net 20–30 % mažesnė negu prieškarantininiu laikotarpiu ir siekė „sekmadienio“ paklausos lygius (Paaso, 2020). Namų ūkių vartojimo padidėjimas pasaulio mastu analizuojamas didelėje gausoje mokslinių studijų ir detaliai tiriamas analizuojant Kanados, Rumunijos, Slovėnijos, Italijos atvejo studijas. Galima teigti, kad bendros išvalgos tarptautiniu mastu yra nekintančios – elektros paklausa į priešpandeminį lygį pradėjo grįžti ir stabilizuotis tik 2020 metų birželio mėnesį, daugumoje Europos šalių švelninant COVID-19 ribojimus (Paaso, 2020).

1.2. COVID-19 pandemijos poveikis elektros energijos pasiūlai Lietuvoje

Dėl beveik visuose elektros energijos vartojimo segmentuose įvykusio gana staigaus paklausos sumažėjimo, atpigusių gamtinių dujų žaliavos bei tinkamų oro sąlygų išlaikyti elektros gamybą iš atsinaujinančių energijos šaltinių, Lietuvos elektros energijos rinką ištiko vidinis elektros energijos gamybos šokas. Nors Lietuvos gyventojai elektros vartoti daugiau nepradėjo, o skirtingai, bendrasis vartojimas 2020 m. II ketv. duomenimis lyginant su praėjusių metų to paties ketv. statistika mažėjo 6 %, iš esmės nacionalinė elektros energijos gamyba minėtu laikotarpiu Lietuvoje didėjo net 45 %. Gerokai didesnis prieaugis fiksuotas šiluminių elektrinių gamyboje, kurios elektros gamybai naudoja gamtines dujas ir anglis – gamybos apimtys didėjo 149 %. Išlikusi vėjo elektrinių plėtra ir tinkamos sąlygos vėjo ir hidroelektrinių darbui, kartu su kitų atsinaujinančių energijos išteklių gamyba, minėtu laikotarpiu taip pat didėjo atitinkamai 10 % ir 24 %, lyginant su tuo pačiu periodu praėjusiais metais (žr. 3 lentelę).

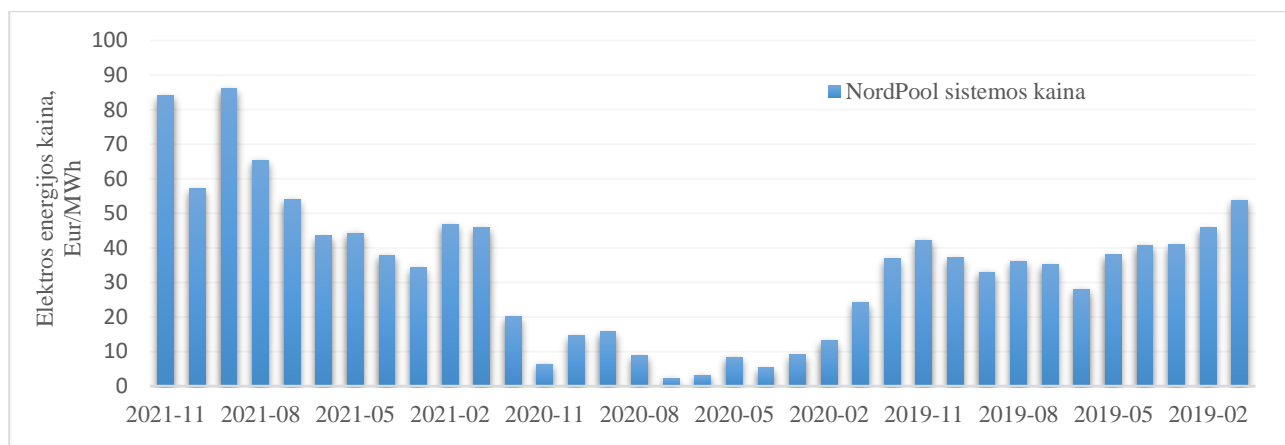
3 lentelė. Elektros energijos gamybos duomenys 2019 m. – 2021 m. II ketv. (Sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)

Elektros energijos gamyba, TWh ir metai	2019 m. II ketv.	2020 m. II ketv.	2021 m. II ketv.
Elektros energijos gamyba (Neto)	0,798 TWh	1,153 TWh	1,165 TWh
Šiluminės elektrinės	0,174 TWh	0,435 TWh	0,448 TWh
Kruonio HAE	0,124 TWh	0,163 TWh	0,223 TWh
Hidroelektrinės	0,080 TWh	0,075 TWh	0,104 TWh
Vėjo elektrinės	0,295 TWh	0,325 TWh	0,292 TWh
Kiti atsinaujinantys energijos ištekliai	0,125 TWh	0,155 TWh	0,150 TWh

2021 m. II ketv. elektros energijos pasiūla, susijusi su vietine elektros energijos gamyba, lyginant su 2020 m. II ketv., keitėsi nežymiai, reiškiniai buvo daugiau lemiami globalių veiksnių. Dėl ypač ilgos žiemos ir didelio gamtinių dujų rezervuarų Europoje užpildymo, nacionalinė elektros energijos gamyba toliau didėjo, išskiriant Kruonio HAE ir kitų hidroelektrinių gamybą, kurių gamybos apimtys didėjo atitinkamai 36 % ir 39 %.

Dėl neigiamo poveikio ekonominei veiklai, 2020 m. II ketv. sumažėjus elektros energijos paklausai ir jai vėliau stabilizuojantis, elektros energijos pasiūla rinkoje iš esmės išliko stabili ir buvo veikiamą globaliau veikiančių veiksnių. Ypač sumažėjusios gamtinių dujų kainos, didelės atsinaujinančių energijos šaltinių gamybos apimtys, padidėjusios investicijos į atsinaujinančius elektros šaltinius, sudarė palankias sąlygas nacionalinei elektros energijos gamybai ir didmeninių elektros energijos kainų kritimui visoje Europoje (Abadie, 2021). Šis fenomenas buvo stebimas visoje Europoje, kai 2020 m. įvyko retai elektros energijos rinkoje pasitaikantys reiškiniai:

1. Tam tikrose Europos elektros energijos biržose, o ypač kai kuriose šiaurės šalių „Nord Pool“ energijos zonose elektros energijos kaina buvo neigiama, t. y. vartotojams buvo primokama už elektros pirkimo sandorius.
2. Elektros energijos kaina visoje rinkoje per trumpą laiką krito net 90 %, lyginant su praėjusiais metais (žr. 1 pav.).



1 pav. NordPool sistemos kaina Eur/TWh 2019 m. – 2021 m. (Sudarė autorius, remdamasis Nordpool, 2021)

Kadangi skirtingose Europos elektros energijos rinkose elektros kainos mažėjo skirtingai, tai labiau sietina su nepakankamais tinklų jungčių pajėgumais, netolygiai didėjančia atsinaujinančių išteklių energijos gamyba skirtingose rinkose ir zonose bei taip pat gerokai išaugusia CO₂ emisijų kaina (Lazo et al. 2022). Tai iš esmės parodė, kad Europoje ir vietinėse rinkose reikalingas didesnis tinklo veikimo bei bendras tarpvalstybinis lankstumas ir investicijos į elektros gamybą iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

Džiuginančios sąlygos rinkoje 2020 m. nebuvo tokios optimistinės 2021 m., kada buvo tikėtasi, kad elektros energijos kainos, nors ir nebus tokios žemos kaip 2020 m., tačiau išlaikys tolygią kilimo kreivę. Dėl didelio spektro globalių reiškinių, elektros energijos kainos didmeninėje ir mažmeninėse rinkose 2021 m. kilo itin sparčiai, ir tai buvo sietina su tam tikra priežasčių visuma (Biol, 2020):

1. Didelė paklausa ir sumažėjusi pasiūla gamtinių dujų rinkose lėmė, kad 20 % sumažėjęs importas visoje ES pabrangino didmeninės elektros energijos kainas. Kai didelė gamtinių dujų žaliavos paklausa yra išskirtinai siejama su ekonominės plėtros ir atsigavimo laikais, 2021 m.

nepakankama dujų pasiūla iš Rusijos bei neįprastai mažas gamtinių dujų saugyklų užpildymas ES pristabdė minėtus ekonominio atsigavimo procesus, o kartu kaip didele dalimi lemiantis elektros kainas veiksny, jas išskėlė į seniai matytas aukštumas.

2. Nors dujų kainos elektros energijos kainą lemia 9 kartus labiau negu anglies žaliavos kainos, pabrangusi anglies kaina bei padidėję CO₂ taršos leidimai taip pat lėmė elektros energijos kainų padidėjimą.
3. Neproporcingai padidėjusi paklausa, susijusi su sparčiu pramonės sektoriaus atsigavimu.
4. Neįprastos orų sąlygos: ilga ir šalta 2020 m. žiema, karšta ir mažai kritulinga vasara lėmė, kad hidroelektrinių rezervuarai buvo užpildyti gerokai mažiau negu įprastai. Taip pat, 2021 m. ruduo žymėjo gerokai sumažėjusį vėjuotumą šiauriniuose regionuose, kas lėmė sumažėjusią elektros gamybą iš vėjo jėgainių.

Taigi, galima teigti, kad COVID-19 pandemijos laikotarpis darė didelę įtaką elektros energijos rinkoms Lietuvoje ir pasaulyje. Kai 2020 m., įvedus griežtą visuotinį karantiną, lėmusį paklausos šoką, bei tuo pat metu atpigus žaliavoms ir susidarius sąlygoms nebrangiai gaminti elektros energiją, susiklostė aplinkybės išlaikyti žemas elektros energijos kainas, 2021 m., skirtingai negu prognozuota, parodė, kad ekonominis atsigavimas ir grįžimas į priešpandeminio laikotarpio rinkas bus sudėtingesnis negu buvo galima prognozuoti. Neįprastai didelės dujų, anglies, taršos leidimų kainos bei nepalankūs orai galimai neleido įvykdyti planuotų ekonominio atsigavimo planų ir to rezonansas galimai atsispindėjo elektros energijos kainų pokyčiuose.

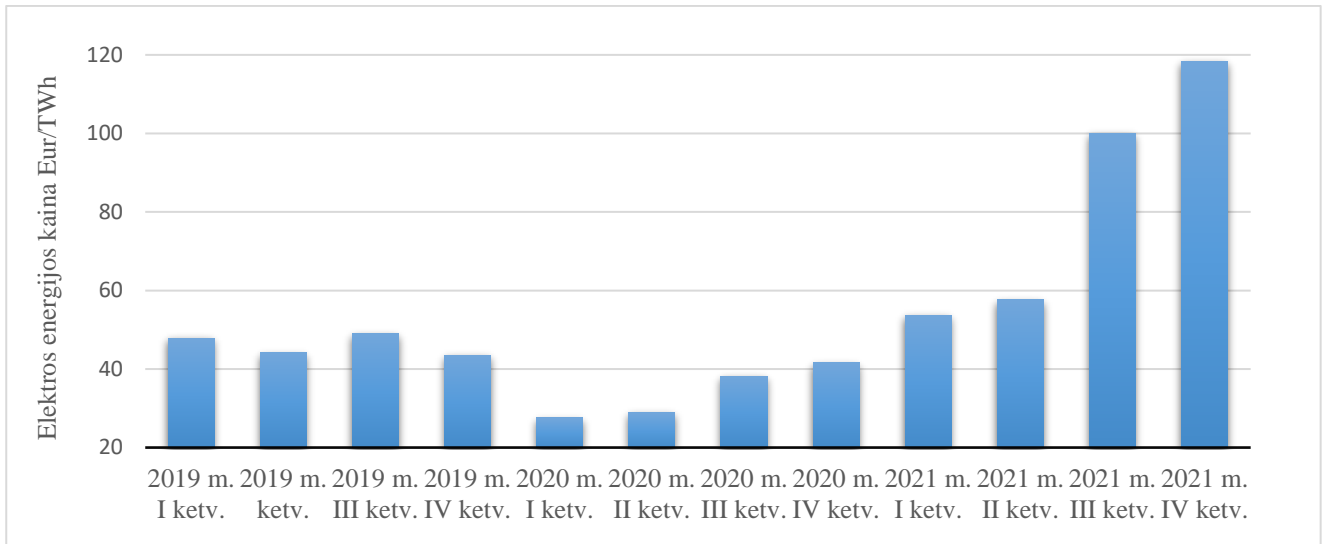
1.3. Elektros energijos kainų pokyčiai Lietuvoje

Nuo 2012 m. birželio 18 d. Lietuva elektros energijos prekybą didmeninėje rinkoje vykdo Šiaurės ir Baltijos šalių elektros biržoje „Nord Pool“. Šioje biržoje, įgalinančioje integruoti Lietuvos elektros energetikos gamybos sistemą į šiaurės šalių elektros biržą, yra prekiaujama Šiaurės ir Baltijos šalyse pagaminta elektros energija, sudaromos sąlygos išnaudoti valstybių geografinius privalumus, įvykdyti politinius sprendimus. Bendrovė „Nord Pool“ patikimai teikia realaus laiko duomenis, susijusius su elektros energijos rinkomis, todėl siekiant atskleisti elektros energijos kainų pokyčius naudinga analizuoti „Nord Pool“ biržos teikiamus rinkos duomenis.

Paaso et al. (2020) teigimu, elektros energijos kainų pokyčiai buvo viena iš pirmųjų koronaviruso pandemijos išdavų, todėl vertinti elektros kainas ir jų poveikį su ja susijusioms pramonės šakoms yra ypač pravartu siekiant parengti geriausius sprendimus valstybės sprendimų priėmėjams. Šiuo atveju, vertinant elektros energijos kainas Lietuvoje svarbu pabrėžti, kad dėl tikslesnio duomenų pateikimo ir imties reikšmingumo toliau pateikiami ir analizuojami pastarųjų trejų metų ketvirtiniai elektros energijos kainų pokyčiai. 2019 metų statistika yra išskirtinai reikšminga dėl galimybės palyginti kainas su laikotarpiu, kai COVID-19 liga dar nebuvo paplitusi ir nedarė praktiškai jokios įtakos valstybių gyvenimui. 2020 metų imtis atspindi realius pokyčius, susijusius su įvairiais veiksniais, lemiančiais elektros energijos kainomis, kurie buvo pirmieji, reaguojant į susiklosčiusią situaciją pasaulyje. 2021 metų duomenys simbolizuoja antruosius COVID-19 pandemijos metus, kai esant vakcinoms ir valstybėje dominuojant optimistinėms ekonominio atsigavimo nuotaikoms, padaugėjo nenumatytų veiksnių, darančių įtaką elektros energijos kainoms.

Analizuojant didmeninę elektros energijos kainą „NordPool“ šiaurės šalių elektros biržoje Lietuvos kainų zonoje galima pastebėti tendencijas, su kuriomis susidūrė elektros energijos rinkos apžvelgiamuoju laikotarpiu. 2019 m., kurie žymėjo 2016 m. prasidėjusios didmėnės kainos didėjimo pabaigą, vidutinė didmeninė elektros kaina buvo 46,12 Eur/TWh. Kainų mažėjimo

tendencija toliau tendencingai tęsėsi 2020 m., kurie buvo pirmieji COVID-19 pandemijos metai, ir žymėjo seką įvykių, susijusių su transformacija sektoriuje (tiekimu sektoriaus liberalizacijos plėtra, sinchronizacija su kontinentine Europa, vartojimo, rinkos šokai) ir nuo pat pirmojo 2020 metų ketv. žymėjo vidutiniškai 27 % sumažėjusias elektros energijos kainas per metus. Visgi, 2021 m., o ypač pradedant I ir II ketv., liudijo didelį vidutinių elektros energijos kainų prieaugį (41 %), ką iš esmės lėmė padidėjusios naftos ir dujų kainos bei ilga žiema. Galų gale, didžiausias elektros kainų šokas buvo užfiksuotas III ir IV ketv., kada kainos pakilo iki atitinkamai 100,01 Eur/TWh ir 118,37 Eur/TWh vidutinių kainų ketv. metu. (žr. 2 pav.)



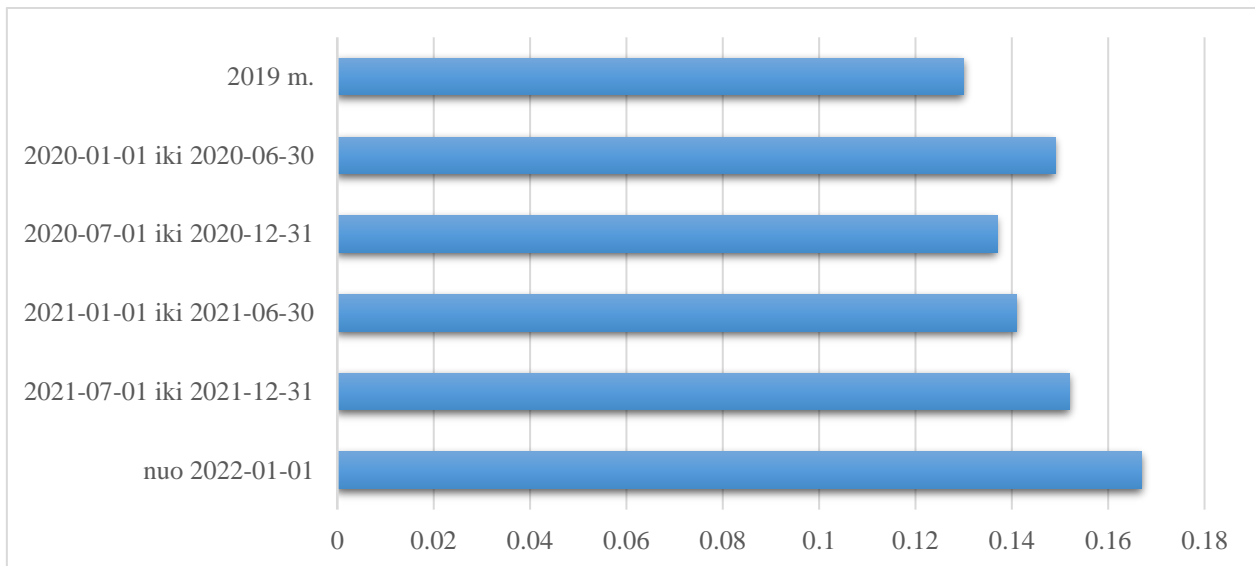
2 pav. Didmeninė elektros energijos kaina Lietuvoje 2019-2021 m., Eur/TWh (Sudarė autorius, remdamasis Regula.lt, 2021)

Taip pat ypač svarbu pabrėžti, kad santykinai stabilių vidutinių ketvirtinių elektros energijos kainų skirtumai, analizuojant vidutines metines elektros energijos kainas, yra labai ženklūs. Lyginant 2021 metų ir 2019 metų elektros energijos kainas skirtumas yra apie 1,8 karto, kai lyginant 2021 metų ir 2020 metų vidutinę didmeninę elektros energijos kainą skirtumas yra ~2,43 karto.

Nors didmeninė elektros energijos kaina ypač svarbi ir yra didžiausia elektros energijos kainos vartotojams dedamoji, labai svarbu išanalizuoti mažmeninės elektros energijos kainos pokyčius. Mažmeninės elektros energijos kainos pokyčiai parodo, kaip pokyčiai didmeninėje kainoje ir rinkoje atsiliepia vartotojams (pramonei, buitiniams vartotojams ir pan.). Kaina buitiniams elektros vartotojams yra plačiausiai lyginamas elektros energijos rodiklis tokių statistikos duomenų portalų kaip „Eurostat“ ir yra išskirtinai plačiai aptarinėjama visuomenės informavimo priemonėse. Galutinė elektros enregijos kaina vartotojui turi nemažos įtakos ir kitiems valstybės socialiniams rodikliams, ypačingai akcentuojant tokius valstybės socialinės raidos rodiklius kaip energetinis skurdas ir pan.

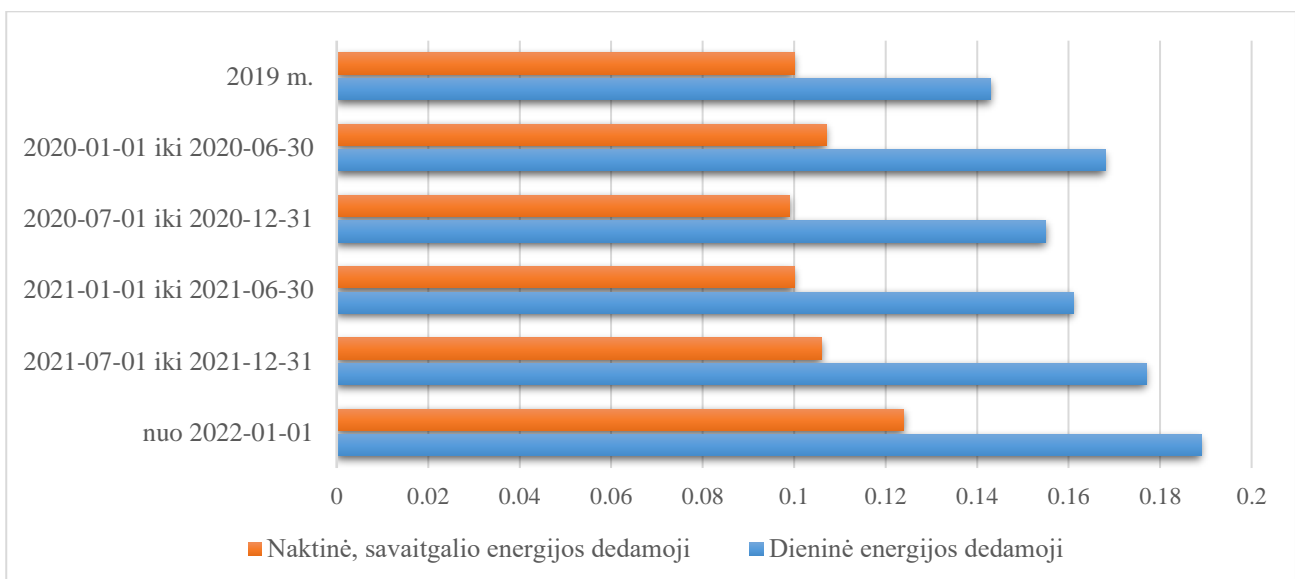
Analizuojant visuomeninio elektros energijos tiekimo kainą vienos laiko zonos tarifu su viena laiko zonos dedamąja galima išskirti 2 kainos augimo periodus: 1. kainos didėjimas iki 2020 m. liepos 1 d.; 2. kainos didėjimas nuo 2021 m. sausio 1 d. Kai pirmasis augimo periodas yra sietinas su pesimistinėmis prognozėmis 2020 m., dėl to metų viduryje kaina sugrįžo į 2019 m. lygį, kadangi, ženkliai nukritus didmeninės elektros kainai ir atpigus elektros gamybai naudojamoms žaliavoms, kaina racionaliai turėjo būti sumažinta. Iš esmės COVID-19 pandemijos laikotarpiu elektros kaina vartotojams nuo 2019 m., kuomet kaina buvo lygi 0,13 Eur/kWh pakilo beveik 29 % iki 0,167 Eur/kWh 2022 metų sausio 1 dieną. Palyginimui, nors kaina didmeninėje rinkoje per 2021 metus

padvigubėjo, buitiniams vartotojams kaina tuo pačiu laikotarpiu padidėjo beveik 19 % nuo 0,141 Eur/kWh iki 0,167 Eur/kWh. (žr. 3 pav.)



3 pav. Visuomeninio elektros energijos tiekimo kaina, vienos laiko zonos tarifas su vienos laiko zonos energijos dedamąja, Eur/kWh (Sudarė autorius, remdamasis Regula.lt, 2021)

Toliau analizuojant visuomeninio elektros energijos tiekimo kainą vartotojams, turintiems dviejų laiko zonų tarifą, dieninė energijos dedamoji kito labiau negu vartotojams, turintiems vienos laiko zonos tarifą. Kai visuomeninė elektros kaina laikotarpio pradžioje dienišėje dedamojoje kilo nuo 0,143 Eur/kWh iki 0,189 Eur/kWh 2022 m. sausio 1 d. ir yra fiksuojamas 32 % elektros kainos augimas, tuo tarpu naktinės bei savaitgalio energijos dedamosios kitimas buvo stabilus ir tiek laikotarpio pradžioje ir pabaigoje bei tiek 2021 m. sausio 1 d. ir 2022 m. sausio 1 d. kilo nuo 0,1 Eur/kWh iki 0,124 Eur/kWh ir buvo lygus 24 %. (žr. 4 pav.)

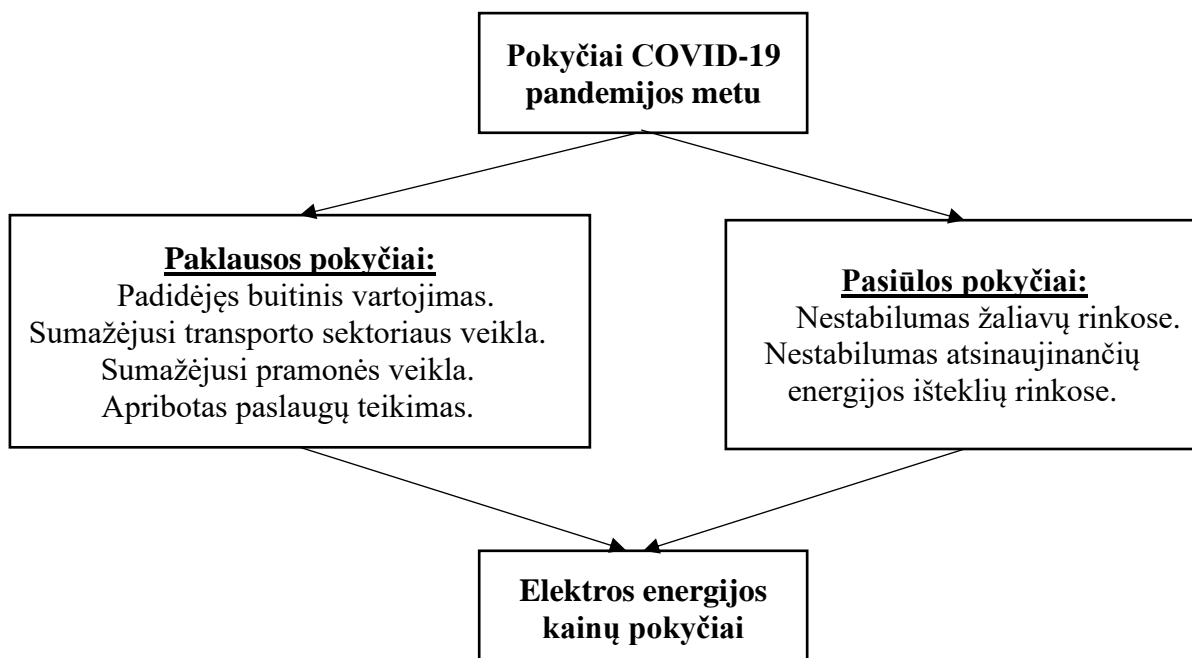


4 pav. Visuomeninio elektros energijos tiekimo kaina, dviejų laiko zonų tarifas, Eur/kWh (Sudarė autorius, remdamasis Regula.lt, 2021)

Galima teigti, kad nors didmeninė elektros energijos kaina rinkose 2021 m. buvo atitinkamai 1,78 ir 2,42 karto didesnė negu vidutinė didmeninė elektros energijos kaina, tuomet 2019 ir 2020 m., mažmeninėje rinkoje elektros energijos kaina kito mažiau, kai elektros energijos kaina

visuomeniniams vartotojams abejuose laiko zonose nuo 2019 m. sausio 1 d. iki 2022 m. sausio 1 d. kito vidutiniškai 28 %, o nuo 2021 m. sausio 1 d. iki 2022 m. sausio 1 d. vidutiniškai kilo 20 %. Galima teigti, kad nors 2021 m. antroje pusėje yra fiksuojamas beprecedentis didmeninės elektros energijos kainos kitimas, kuris buitiniams vartotojams tiesiogiai kainų atžvilgiu atsiliepia nepilnai.

Apibendrinant COVID-19 pandemijos sukeltų veiksnių įtaką galima išskirti pagrindinius paklausos ir pasiūlos pokyčius lėmusius veiksnius, kurių rezonansas atsispindi didmeninėse ir mažmeninėse elektros energijos kainose (žr. 5 pav.)



5 pav. COVID-19 įtaka elektros energijos kainoms

Galima teigti, kad koronaviruso pandemija sukėlė didelę problematiką ir staigius pokyčius visiems elektros energijos sektoriaus dalyviams – nuo elektros energijos gamintojų, iki pat vartotojų segmento. Įprastas elektros kainų reguliavimas, nusistovėję pasiūlos ir paklausos veiksniai bei galimybės juos prognozuoti nublinksta kuomet susidaro kainų smailės ir radikaliai kinta prognozuojamos gamybos apimtys bei vartojimas. Būtent dėl to ypač svarbu rasti teorinius ir praktinius sprendimus, susijusius su elektros energijos rinkos veikla minėtųjų šokų atveju ir atskleisti, kokie galimi praktiniai ir teoriniai sprendimai yra prieinami visiems elektros energijos rinkos dalyviams.

2. COVID-19 įtakos elektros energijos kainoms teoriniai aspektai

Išanalizavus koronaviruso pandemijos sukeltą problematiką elektros energijos sektoriuje, akcentuojant elektros pasiūlos, paklausos, bei kainų kitimo veiksnius, toliau naudinga analizuoti mokslinius darbus, atliktus siekiant iširti minėtų šokų poveikį šalių ekonomikoms ir pritaikyti geriausius sprendimus. Siekiant atskleisti kompleksiską koronaviruso pandemijos padarinių visumą elektros energijos sektoriui, toliau projekte analizuojama Lietuvos elektros energijos sistema, papildant Lietuvos, kitų šalių autorių darbais ir jų siūlomais teoriniais sprendimais.

2.1 Elektros energijos kainos COVID-19 pandemijos laikotarpiu

Pirmojoje projekto dalyje išanalizavus elektros energijos kainų problematiką ir kitimą COVID-19 pandemijos laikotarpiu, toliau naudinga analizuoti elektros energijos kainą nusakančias ypatybes – elektros energijos kainų savybes, valstybinių kainų reguliavimą ir galimybes toliau prognozuoti elektros energijos kainas.

2.1.1 Didmeninės elektros energijos kainos savybės

2012 m. birželio 18 d. buvo pasiektas vienas pagrindinių nepriklausomos Lietuvos strateginių energetikos tikslų, siekiant prisijungti į bendrą kontinentinės Europos elektros energetikos rinką – Šiaurės šalių elektros prekybos birža „Nord Pool Spot“, kuri yra didžiausia elektros birža pasaulyje, pradėjo veiklą Lietuvoje (Nord Pool, 2021). Šioje biržoje prekiauja daugiau nei 370 įmonių iš 20 pasaulio šalių, kurių tarpe yra ir Lietuvos įmonių. Iš esmės, kaina elektros energijos biržoje, Nord Pool (2021) teigimu, priklauso nuo rinkoje esančio energijos paklausos ir pasiūlos santykio. Elektros energijos pardavėjai siūlo, už kokią mažiausią kainą jie galėtų parduoti elektrą, o pirkėjai – už kiek brangiausiai galėtų pirkti elektros energiją. Susikirtus paklausos ir pasiūlos kreivėms, nustatoma elektros energijos kaina zonai tai valandai. Ši, didmeninė elektros energijos kaina yra pagrindinė mažmeninės elektros energijos kainos dedamoji, daranti didžiausią įtaką vartotojams, turintiems sutartis su nepriklausomais (arba visuomeniniu) elektros energijos tiekėjais.

Nord Pool (2021) analitikų teigimu, elektros energijos biržos pagrindinė rolė yra užtikrinti lygybę tarp elektros energijos paklausos ir pasiūlos. Tai yra išskirtinai svarbu atsižvelgiant į elektros energijos savybes, kadangi elektros energija yra praktiškai nesandėliuojama ir pasiūlos klaidos kaina yra išskirtinai didelė. Sekančios dienos (*day-ahead*) biržos pagrindinė užduotis yra balansuoti paklausą ir pasiūlą su tam tikra erdve ateities planavimui. Sekančios dienos birža gauna statymus ir pasiūlymus iš gamintojų bei vartotojų už elektros energiją ir taip apskaičiuoja valandinę kainą. Taigi, galima teigti, kad elektros energijos kaina biržoje yra išvestinė, todėl svarbu išanalizuoti, kas lemia elektros energijos gamintojų gaminamos kainos charakteristikas.

Escrignano ir Pena (2011) teigia, kad yra keletas elementų, paaiškinančių elektros energijos savikainos nepastovumą. Pirmiausia, pagrindine priežastimi mokslinėje literatūroje yra įvardijama tai, kad elektros energija negali būti sandėliuojama (tiesiogine prasme). Ypatingai svarbu yra tai, kad elektros energijos gamyba ir vartojimas nuolatos privalo būti balansuojamas (tam taip pat yra naudojama elektros energija). Tai iš esmės reiškia, kad pasiūlos ir paklausos šokai negali būti lengvai eliminuojami ir tiesiogiai atsiliepija elektros energijos kainose. Kainos nepastovumui taip pat didelę įtaką daro paklausos ir pasiūlos charakteristikos. Elektros energijos paklausa yra išskirtinai neelastinga, kadangi ja yra paremta visuomenės buitis. Todėl Escrignano ir Pena (2011) teigia, kad elektros energijos kaina turi šias tris charakteristikas:

1. **Sezoniškumas:** Elektros energijos paklausa yra stipriai susijusi su ekonomine ir finansine veikla bei oro sąlygomis. Šie dalykai iš esmės nulemia sezoniškumą elektros kainose, kuris yra stebimas dieniniame, savaitiniame, mėnesiniame ir metiniame intervaluose.
2. **Vidutinės kainos graža:** Nors paklausos arba pasiūlos šokai gali staigiai padidinti kainas arba jas sumažinti, visgi, mokslinėje literatūroje naudojamuose pavyzdžiuose, elektros kainos sugrįžta į vidutines medianas.
3. **Elektros kainai būdingos smailės (angl. *spikes*) ir nepastovumas (angl. *volatility*):** Elektros kainų smailės ir nepastovumas yra istoriškai natūralus procesas ir nepaisant šoko dydžio, kainos vidurkiai neiškrenta iš įvairaus intervalo slankiųjų vidurkių.

Tuo tarpu Geman ir Roncoroni (2006) taip pat patvirtina, kad elektros, kaip žaliavos kaina yra ypač nepastovi ir jų požiūriu turi šias tris pagrindines savybes:

1. **Vidutinės kainos gražos savybė:** kaina turi savo tendą ir yra arti ribinių kaštų.
2. **Standartinė kainos dispersija:** kaina įprastai svyruoja tarp jos vidutinio trendo, ir tai parodo vidutinį paklausos / pasiūlos nepastovumą tinkle.
3. **Kainai būdingas nepastovumas:** tai yra susiję su žaliavos savybėmis (jautrumas paklausos šokams, orams ir pan), tai reiškia, kad elektros kainoms yra lemta, priklausomai nuo skirtingų ją lemiančių faktorių staigiai pakilti, o vėliau drastiškai nusileisti.

Bobinaitė, Konstantinavičiūtė ir Lekavičius (2012) atlikdamos elektros energijos rinkos kainų savybių tyrimus analizuoja elektros energijos kainos savybes (žr. 4 lentelė) bei atskleidžia apibendrintas elektros energijos, kaip žaliavos savybes:

1. Elektros energija yra nepakeičiama trumpuoju laikotarpiu ir yra homogeniška.
2. Elektros energijos beveik neįmanoma sandėliuoti (nepaisant netiesioginio sandėliavimo hidrozervuarų pavidalu).
3. Perdavimo tinklų charakteristikos lemia persiuntimo galimybes.
4. Elektros energijos paklausa ilguoja ir trumpuoju laikotarpiu nėra elastinga kainos atžvilgiu.
5. Elektros energija yra išvestinė prekė ir ji savaime nėra reikalinga žmogui.

4 lentelė. Elektros energijos kainos savybės (Sudarė autorius, remdamasis Bobinaitė, Konstantinavičiūtė ir Lekavičius, 2012)

Elektros energijos kainos savybės	Pagrindinės išvalgos
Kainos yra formuojamos dažnai	Nord Pool biržoje kainos yra formuojamos kiekvienai valandai, todėl yra nuolat kintančios.
Kainos gali būti neigiamos	Kadangi elektros energijos gamybą yra ypatingai sunku ir dažnai nenaudinga nutraukti, gamintojai gali nuspręsti parduoti elektrą mažesne kaina negu yra jų gamybos sąnaudos. Tai susiklosto, kai nėra paklausos, arba ji yra maža – ypatingai švenčių, savaitgalių, ekonominio sulėtėjimo laikotarpiais.
Kainai būdingas sezoniškumas ir svyravimas apie vidutinį lygį	Elektros energijos kaina turi savybes grįžti į prieš tai buvusius lygius (istoriniai pavyzdžiai).
Kainai būdingas nepastovumas	Stebimas kainos kaitumas yra didesnis negu prekių ar vertybinių popierių rinkose. Teigiama, kad kaitumas yra didesnis, kai yra didesnė elektros energijos paklausa. Taip pat tai nutinka, kai įvyksta elektros energijos kainų augimą nulemiantys ekonominiai šokai.
Kainų smailių susidarymas	Kainų smailės susidaro, kada staigiai sustoja elektrinių darbas, neprognozuotai pasikeičia orai, nutinka gedimai elektros tiekimo linijose, pasėjama panika vartotojų rinkose.

Apibendrinant galima teigti, kad esamoje mokslinėje literatūroje elektros energijos kainos savybės yra analizuojamos ir pateikiamos iš esmės kartojantis trims kainos savybėms: kaina yra nepastovi,

dėl savo, kaip žaliavos charakteristikų, kainoms yra būdingas sezoniskumas, susijęs su žaliavos paklausa trumpuoju ir ilguoju laikotarpiais, bei tai, kad kainai būdinga vidutinės kainos gražos savybė, reiškianti, kad istoriškai elektros energijos kainos vidurkis yra netoli skirtingų laikotarpių slankiųjų vidurkių linijų.

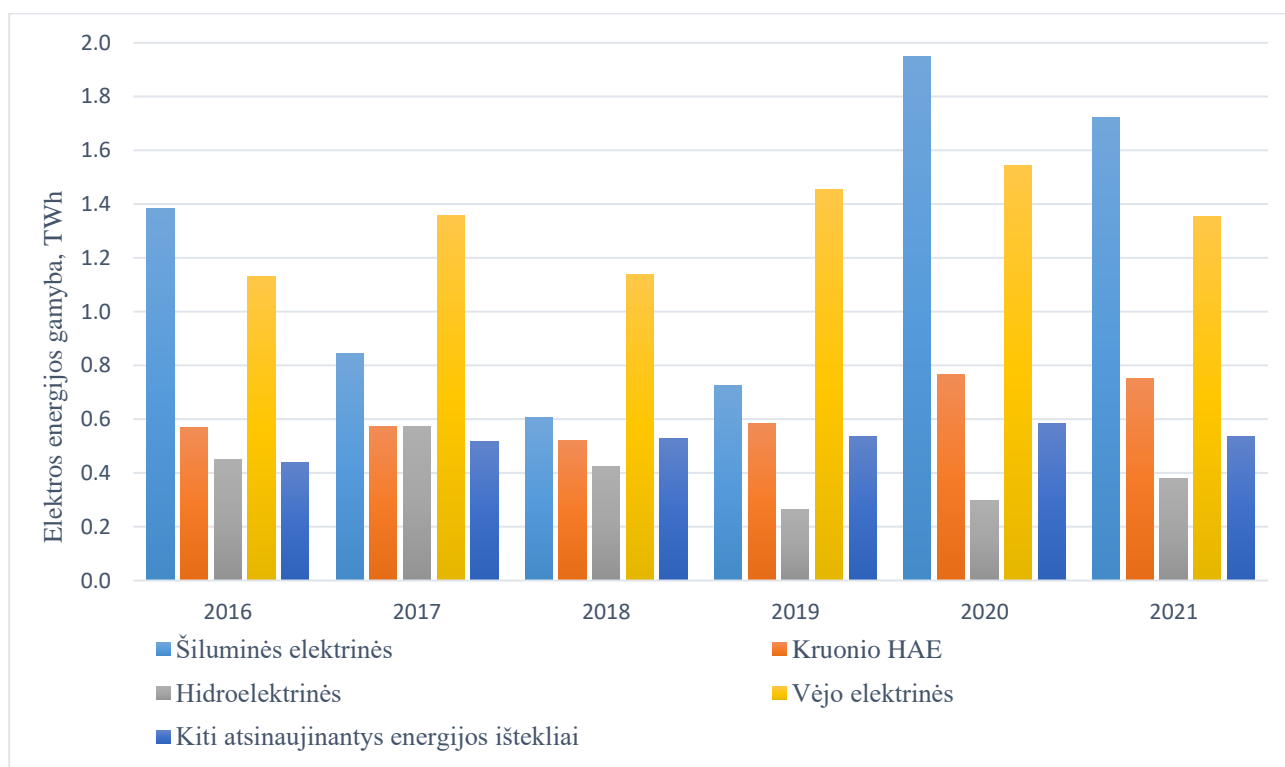
2.1.2 Elektros energijos kainų reguliavimas Lietuvoje

Išanalizavus elektros energijos kainų savybes, aprašomas mokslinėje literatūroje, galima detaliau nagrinėti, kokia yra Lietuvos elektros energijos rinkos struktūra, ypač akcentuojantis į elektros energijos kainos dedamąsias ir veiksnius, lemiančius elektros energijos kainą.

2.1.2.1 Elektros energijos rinkos struktūra

Elektros energijos sektoriuje yra išskiriami trys atskiri procesai ir juos sudarantys pagrindiniai veikėjai: elektros gamyba (elektrinių veikla), elektros energijos perdavimas (perdavimo operatoriaus ir skirstymo operatoriaus veikla) bei elektros energijos tiekimas (nepriklausomi, visuomeniniai, garantiniai tiekėjai) (Litgrid, 2021).

Elektros energijos gamyba Lietuvoje iš esmės yra vykdoma šiluminėse elektrinėse deginant gamtines dujas, biokurą, komunalines ar kt. atliekas bei elektrinėse, naudojančiose atsinaujinančius energijos šaltinius (žr. 6 pav). Vadovaujantis pasaulinėmis tendencijomis, tvarios energetikos idėjomis bei Lietuvos nacionaline energetinės nepriklausomybės strategija, elektros energijos gamyba netolimoje ateityje yra suprantama puoselėjant atsinaujinančios energetikos sistemas, mažinant šiluminių, atominių elektrinių gaminamos elektros energijos apimtį.



6 pav. Elektros energijos gamyba Lietuvoje 2016-2021 m. (Sudarė autorius remdamasis Litgrid, 2021)

Analizuojant 6 paveikslą galima teigti, kad nuo 2016 m. Lietuvoje elektros energijos gamyba šiluminėse elektrinėse mažėjo, kai atsinaujinančių šaltinių elektros energijos gamyba didėjo, tačiau 2020 m. šiluminių elektrinių našumas vėl staigiai didėjo ir beveik pasiekė 2015 metų lygį. Ženklus mažėjimas yra sietinas su ilgalaikiais tvarios energetikos siekiniais, tačiau visuomet yra svarbu

atsižvelgti ir į ekonominių elektros energijos gamybos faktorių. Teigtina, kad įėjimo, išėjimo sąlygos į elektros energijos gamybos rinką yra ypatingai apsunkintos, nors ir iki 10 kW elektros energijos gamybai nereikalingi specialūs leidimai ar licencijos. Kadangi su tokios galios elektros tinklu komercine veikla verstis yra neįmanoma, beveik visi elektros vartotojai elektrą perka ir moka tam tikrą kainą dedamąją už elektros energijos gamybą.

Analizuojant elektros energijos perdavimo tinklą galima teigti, kad jį sudaro elektros energijos perdavimo tinklai, kuriais yra perduodama aukšta (60-230 kV) ar labai aukšta (330 – 1150 kV) įtampa, bei elektros perdavimo pastotės. Kadangi elektros energijos perdavimui yra reikalingas centralizuotas valstybės reguliavimas, šią funkciją Lietuvoje atlieka perdavimo sistemos operatorius AB „Litgrid“. Ši įmonė, kurios darbo (elektros energijos perdavimo) įkainius nustato valstybinė energetikos reguliavimo tarnyba (toliau – VERT) yra atsakinga už nenutrūkstamą elektros energijos sistemos darbą, elektros energijos integraciją, gamybą nacionaliniu mastu, importą ir kt. (Litgrid (2021)). Kadangi tai yra strateginės reikšmės viešoji gėrybė, konkurencija šioje rinkoje yra negalima ir patekimas į ją potencialiems konkurentams yra neįmanomas.

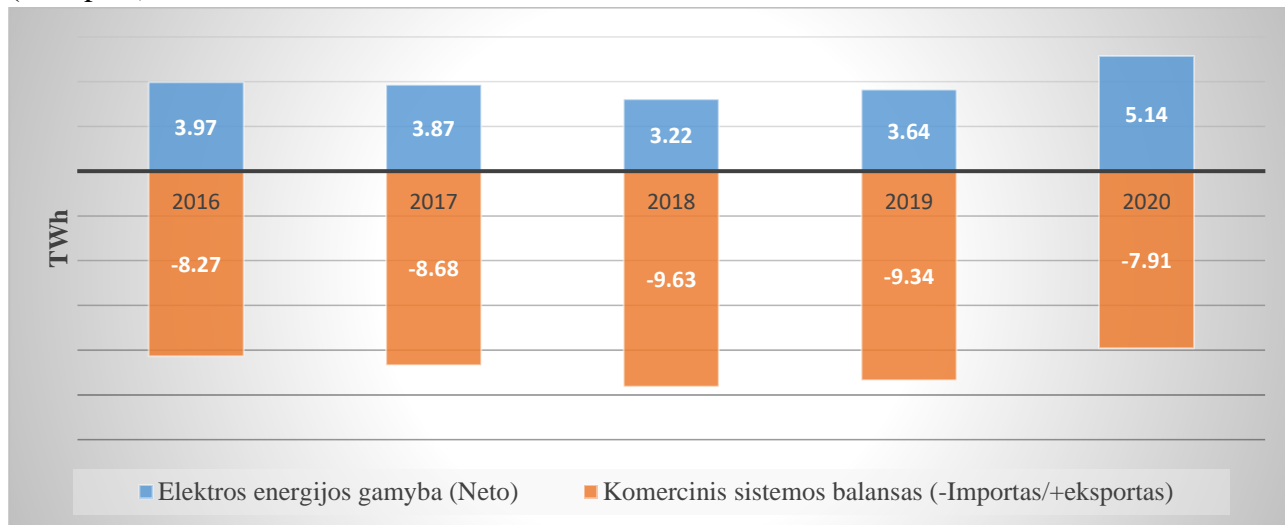
Elektros energijos skirstymo tinklą sudaro elektros pastotės, transformatoriai, elektros linijos, kuriomis perduodama vidutinės įtampos ir žemos įtampos elektra. Tam, kad elektros energija pasiektų gyventojus, nepriklausomai nuo jų socialinio statuso, bei būtų naudojama kaip valstybės teikiama viešoji paslauga, ji taip pat yra monopolizuota, bei šiuo metu Lietuvoje yra užtikrinama įmonės „Elektros skirstymo operatorius“ (toliau – ESO). Dėl valstybės licencijavimo ir viešosios paslaugos užtikrinimo, šios paslaugos įkainiai taip pat yra fiksuoti, o įėjimo į šią rinką galimybės yra apribotos.

Elektros energijos tiekimas Lietuvoje yra vykdomas nepriklausomų, visuomenių bei garantinių elektros tiekėjų. Įmonės, turinčios tinkamą licenciją, perka elektrą didmeninėje rinkoje iš gamintojų, bei parduoda galutinį produktą vartotojams. Siekiant palaikyti tolygų sistemos funkcionavimą, maksimalų gyventojų elektros prieinamumą bei šalies modernizaciją ilgą laiką buitiniams bei komerciniams vartotojams elektrą įsigyti buvo įmanoma tik iš visuomeninio tiekėjo. Visgi, jau nuo 2013 m. sausio 1 d. veikiant pagal Lietuvos elektros rinkos planą, komerciniai vartotojai elektrą Lietuvoje pradėjo privalomai pirkti iš nepriklausomų tiekėjų, o nuo 2021 m. palaiptui ir buitiniai vartotojai privalės atsakyti monopolinių visuomeninio tiekimo paslaugų. Iš esmės, pagrindinis skirtumas tarp nepriklausomų ir visuomeninių vartotojų yra tas, kad nepriklausomi elektros tiekėjai, kitaip nei visuomeniniai, elektros tiekimo veiklą vykdo be išimčių visoje Lietuvos Respublikos (toliau – LR) teritorijoje, konkuruoja didmeninėje elektros energijos biržoje, pirkdami elektrą iš gamintojų, bei sudaro elektros energijos rinkos konkurenciją bei galimybes prisitaikyti prie individualių klientų poreikių. Kadangi visuomeninio elektros tiekimo kaina iš esmės būdavo nustatoma VERT, naudojantis nepriklausomo energijos tiekimo paslaugomis VERT reguliuos tik apie pusę kainos (infrastruktūros ir sisteminių „Litgrid“ ir „ESO“ paslaugų kainos) už elektros kilovatvalandę, kai kitą kainos dalį lems elektros biržos kaina ir tiekėjų konkurencija.

Iš esmės, elektros energijos sektoriaus transformaciją apibrėžia du pagrindiniai valstybės energetinį saugumą reglamentuojantys susitarimai: elektros rinkos liberalizacija buitiniams vartotojams, turinti įvykti iki 2023 m., bei Baltijos valstybių elektros tinklų desinchronizavimas nuo Rusijos elektros energetikos sistemos.

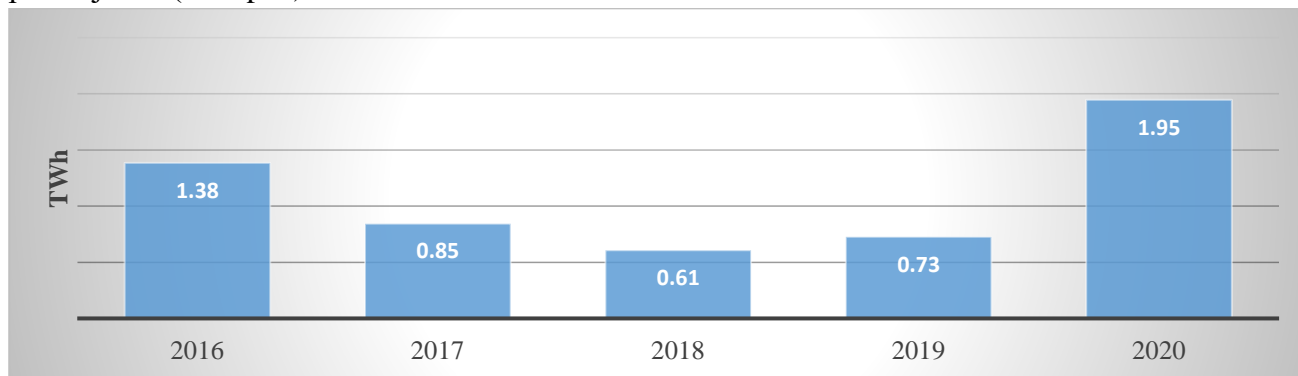
Lietuva atkurtos nepriklausomos valstybės laikotarpiu buvo labiau elektrą importuojanti negu eksportuojanti valstybė. Taip pat yra pabrėžtina, kad Lietuva pasigamina tik apie 40 % savo elektros

poreikio reikmėms tenkinti. Dėl didėjančio elektros energijos poreikio ir nepakankamai spartaus ir nepastovaus atsinaujinančių elektros išteklių kūrimo paskutiniuosius penkerius metus Lietuvos komercinis elektros sistemos balansas buvo mažėjantis, t.y. kiekvienais metais importas buvo didesnis už eksportą. Kadangi sėkminga elektros energijos gamyba yra nuo daugelio strateginių ekonominių veiksnių priklausantis kintamasis, ji ilgainiui svyravo ir išlaikė panašų sistemos vidurkį (žr. 7 pav.).



7 pav. Elektros energijos gamyba ir sistemos balansas, 2016 - 2020 m. (Litgrid, 2021)

Atkreiptinas dėmesys į labiau išsiskiriančius statistinius duomenis 2020 m. Matoma, kad 2020 m. elektros energijos Lietuvoje buvo pagaminta 41,4 % daugiau negu 2019 m. Tai sietina su bendruoju vėjo jėgainių gamybos, kitų atsinaujinančių išteklių elektros augimu (iš jų ypatingai didėjo saulės elektrinių gamyba), tačiau pagrindinį statistinį pokytį sukėlė šiluminių elektrinių elektros gamybos padidėjimas (žr. 8 pav).

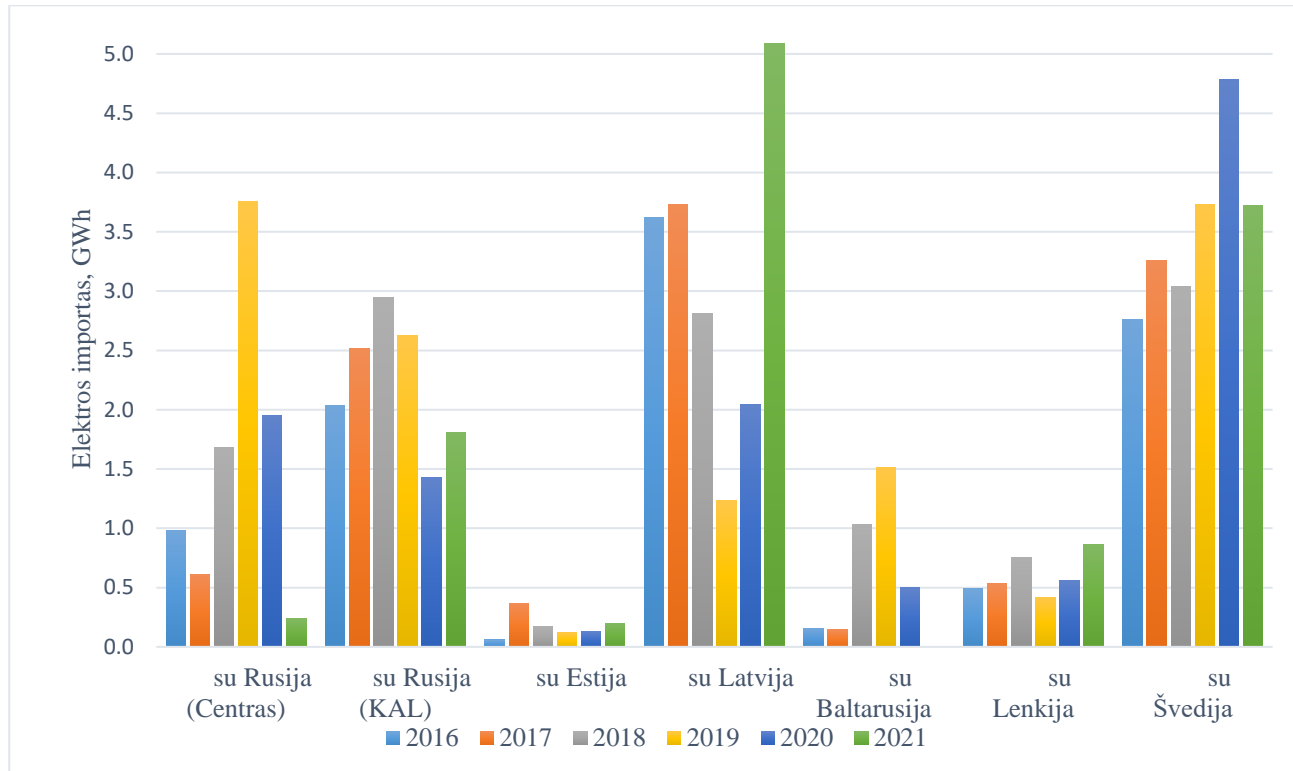


8 pav. Šiluminių elektrinių elektros gamyba 2016 - 2020 m. (Litgrid, 2021)

Nors šiluminių elektrinių elektros gamybos skatinimas nėra sietinas su ekologiškesnės energetikos tikslais, ko buvo išskirtinai siekiama ir link to kryptingai dirbama, būtent COVID-19 pandemijos metu, susiklosčius palankioms aplinkybėms (2020 m. pradžioje pradėjo galutinai veikti rezervinis kombinuoto ciklo Lietuvos elektrinės blokas bei vasarą vėjo jėgainės dirbo išskirtinai neefektyviai) ši elektros gamybos rūšis patyrė tikrąjį renesansą. Pasauliniu mastu susiklosčius naftos kainų šokui bei pingant gamtinėms dujoms buvo išskirtinai palankios galimybės laikinai mažinti energetinę priklausomybę ir gaminti pigesnę elektrą vartotojų poreikiams tenkinti.

Dėl palankių sąlygų Lietuvos vidinėje rinkoje, mažų gamtinių išteklių kainų ir susidariusios sąlygos eksploatuoti šiluminę elektrinę Elektrėnuose elektros energijos importas 2020 m. ženkliai sumažėjo

ir siekė 11.26 GWh, kai tuo tarpu 2020 m. siekė net 13.36 GWh. Sumažėjus bendroms importo apimtims, reikšmingai pasikeitė ir importo segmento kompozicija: didėjo elektros energijos importas su Švedija, Estija, Latvija, Lenkija (žr. 9 pav).



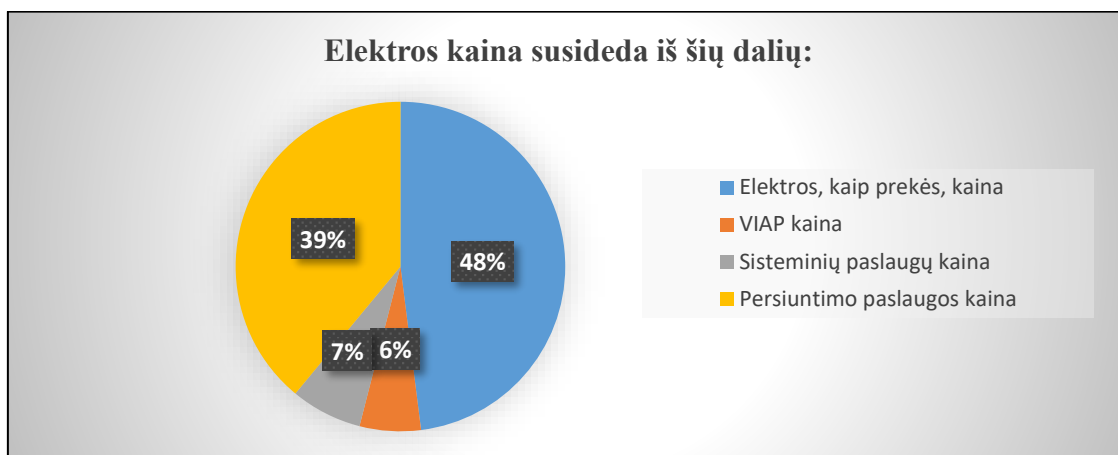
9 pav. Elektros energijos importas, GWh 2016 - 2021 m. (Litgrid, 2021)

Ypatingai svarbu pabrėžti, kad stipriai pasikeitusios importo kryptys taip pat buvo nulemtos ir vidinių prižasčių – dėl efektyviai sutvarkytos „NordBalt“ jungties su Švedija, stipriai padidėjo šio tinklo galimybės. Anot Litgrid (2021), išaugęs importas iš Švedijos ir pagyvėjusi vietinė gamyba rodo bendros Europos rinkos efektyvumą ir pasirinkto atsinaujinančių energijos išteklių plėtojimo kryptį, bei kartu geopolitinę poziciją bei galimybę reikšti politinę valią. Elektros importui iš Rusijos ir Baltarusijos sumažėjus dvigubai ir Švedijai, eksportuojančiai „švarią“ elektrą galima tikėtis, kad ši pozicija toliau judės panašia politine ir ekonomine kryptimi.

Apibendrinant galima teigti, kad 2020 m. elektros energijos sektoriuje buvo vieni labiausiai iliustruojančių esamą situaciją. Sektorius išgyvena nemažą technologinę ir geopolitinę transformaciją, kuri vyko COVID-19 pandemijos metu. Visa tai stipriai pasireiškė padidėjusiais gyventojų ir sumažėjusiais bendriniais vartojimo duomenimis, nestandartinių gamybos krypčių pokyčiais, naujomis galimybėmis, bei ypatingai pasikeitusia importo rinkos kryptimi.

2.1.2.2 Elektros energijos kainos struktūra

Anot VERT (2021), Galutinė mažmeninė elektros energijos kaina buitiniam vartotojui susideda iš šių dedamųjų: elektros įsigijimo didmeninėje rinkoje kainos, viešuosius interesus atitinkančių paslaugų (toliau – VIAP) kainos, sisteminių paslaugų kainos, perdavimo paslaugos kainos, skirstymo paslaugos vidutinės ir žemos įtampos tinklais kainos bei tiekimo kainos (žr. 10 pav.).



10 pav. Elektros energijos kainos dedamosios (VERT, 2021)

Analizuojant nepriklausomą elektros tiekėją pasirinkusio vartotojo galutinės elektros kainos dedamąsias, darytina išvada, kad beveik pusė kainos nėra reguliuojama valstybės ir iš esmės yra dvišalės sutarties, tarp tiekėjo ir vartotojo subjektas. Taip pat, pabrėžtina, kad apie 52 % kainos lemia valstybinis reguliavimas, kai įgaliotoji institucija VERT kiekvienų metų pradžioje nustato elektros energijos perdavimo paslaugos, VIAT, sisteminių paslaugų, skirstymo, papildomosios dedamosios bei visuomeninio elektros energijos tiekimo kainas.

Analizuojant išvardintų veiksnių pokyčių priežastis, galima teigti, kad nemažą dalį metinės elektros energijos kainos medianos lemia skirstymo paslaugų, visuomeninio tiekimo paslaugų kainų didėjimas, ką lėmė prognozuojamos elektros energijos rinkos kainos augimas bei planuojamo paskirstyti bei pateikti elektros energijos kiekio sumažėjimas. Įmonės „Elektrum Lietuva“ vadovo M. Gigos teigimu, 2020 m. dėl pandemijos ir rekordiškai šiltų metų elektros energijos paklausa buvo maža, todėl kainos buvo rekordiškai žemos. 2021 m. buvo pastebėtas beprecedentis atsigavimas, kadangi Lietuvoje kaip ir didžioje dalyje Europos buvo šalta ir ilga žiema, todėl stipriai išaugo elektros poreikis, o kartu ir kainos (Sagaitytė, 2021). Taip pat galima teigti, kad elektros kainoms didelę įtaką turi globalios tendencijos: dujų kaina (naudojama kaip kuras šiluminėse elektrinėse), taršos leidimų kainos. Ypatinę įtaką daro orai – tiesiogiai lemiantys vėjo, saulės jėgainių darbo našumą, gyventojų elektros energijos paklausą. Analizuojant elektros energijos rinkas pastebėtina, kad elektros energijos kainos, tikėtina, kad išlaikys augimo tendenciją, dėl visos Europos mastu vykstančios rinkos transformacijos, kai valstybės vis daugiau elektros pagamina iš atsinaujinančių elektros šaltinių bei atsisako išskastinių kurą naudojančias elektros gamybos įmones, kurios ilgą laiką garantavo stabilų aprūpinimą elektra bei kainų stabilumą.

Apibendrinant galima teigti, kad elektros energijos rinkai transformuojantis į laisvos konkurencijos rinką yra susiklosčiusi beprecedentė situacija, kai dėka COVID-19 pandemijos 2020 m. Lietuvoje buvo stebėtas išskirtinis elektros energijos kainų mažėjimas, tačiau 2021 m. startavus masiškam elektros rinkos liberalizavimo procesui kaina dėl globalių priežasčių ėmė augti. Iš to netikslinga daryti išvadą, kad elektros rinkos liberalizacija sukėlė elektros energijos kainų prieaugį visuomenei, o tai veikiau turėtų būti siejama su laisvos elektros rinkos savybėmis, kai kaina yra smarkiai veikiamą globalesnių rinkos veiksnių, todėl šiuo metu dažnai viršija visuomeninio tiekėjo siūlomą elektros energijos kainą.

2.1.3 Elektros energijos kainų pokyčiai

Išanalizavus elektros energijos kainų savybes ir reguliavimą Lietuvoje, toliau pravartu analizuoti atliktus tyrimus, siekiant paaiškinti fenomenalius kainų pokyčius koronaviruso pandemijos akivaizdoje. Pirmojoje darbo dalyje apžvelgus, kokios priežastys lėmė elektros energijos kainų mažėjimą, bei kokia to dinamika pasireiškė, toliau kyla klausimai, susiję su teoriniais sprendimais, paaiškinančiais kainų pokyčius, prognozavimą bei kaip tai susiję valstybių makroekonominių rodiklių dinamika.

Elektros energijos kainų dinamika buvo analizuojama ir modeliuojama daugybėje ekonomikos mokslo studijų, atliekami tam skirti kokybiniai ir kiekybiniai tyrimai. Iš esmės dauguma autorių sutaria, kad egzogeninis šokas, susijęs su COVID-19 ligos išplitimu ir poveikio priemonėmis tramdyti pandemiją buvo pagrindinis veiksnys, sąlygojęs sumažėjusią paklausą, pokyčius gamybos rinkose, o taip pat lėmęs nukritusias dujų ir naftos žaliavų kainas (Alasali et al. 2021). Paaso et al. (2020) straipsnyje taip pat teigia, kad Europoje pirmojo koronaviruso pandemijos karantino laikotarpiu elektros kainos buvo dvigubai mažesnės nei praėjusių metų kainos vidurkis, o taip pat atkreipė dėmesį, kad neigiamos kainos formavosi daug dažniau negu ankstesniais metais. Tuo tarpu Ghanem et al. (2021) sukūrė dirbtinio neuroninio tinklo (ANN) išvestinį funkcinį linijinį dirbtinio neuroninio tinklo modelį (FLANN), skirtą prognozuoti trumpojo ir ilgojo laikotarpio elektros energijos kainas, sąveikoje su pasirinktais makroekonominiais kintamaisiais:

1. **Bendrasis vidaus produktas.** Kadangi koronaviruso pandemija paveikė ne tik žmonių gyvenimus ir sveikatos priežiūrą, tai taip pat buvo didžiulis ekonominis šokas. Sumažėjęs prekių ir paslaugų vartojimas, apribojimai kelionių ir turizmo sektoriui, dideli praradimai akcijų rinkose lėmė sumažėjusį šalių BVP.
2. **Nedarbo lygis.** Pandemijos valdymo priemonės lėmė didžiulius pokyčius gyventojų užimtume. Sumažėjusi tam tikrų produktų ir paslaugų paslauga lėmė sumažėjusias darbo galimybes ir padidėjusį nedarbą, kurio lygis galiausiai koreliavo su elektros energijos kainų pokyčiais.
3. **Vartotojo kainų indeksas.** Įvairiuose moksliniuose tyrimuose yra atvaizduojama, kad vartotojų kainų indeksas parodo gyvenimo kainas šalyje, taip pat infliacijos, defliacijos lygį.
4. **Pirkimų vadybininkų indeksas.** Šis indeksas atvaizduoja egzistuojančius trendus paslaugų ir gamybos sektoriuose. PMI indeksas efektyviai iliustruoja dabartines ir tikėtinas verslo sąlygas sprendimų priėmėjams ir investuotojams.

Analizuojant mokslinę literatūrą, skirtą Lietuvos elektros kainų paaiškinimui ir tinkamų ekonometrinių modelių su skirtingais kintamaisiais kūrimą, galima pastebėti, kad modelių, skirtų susieti COVID-19 poveikį ir elektros kainas iki šiol sukurta nebuvo. Pastebėtina, kad statistinių modelių kūrimas, siekiant prognozuoti elektros kainas Lietuvos mokslininkų bendruomenėje nėra populiarus ir dažnai aptinkamas reiškinys. Bobinaitė ir Juozapavičienė (2012) kūrė teorinį modelį skirtą analizuoti elektros rinkos struktūrą, kainos savybes, pagrindinius paklausos ir pasiūlos veiksnius ir metodus, galimus prognozuoti elektros energijos kainas. Autoriai darbe išskyrė 3 grupes veiksnių, darančių įtaką elektros energijos kainoms: 1. Veiksniai, turintys ryšį su elektros energijos paklausa. 2. Veiksniai, turintys ryšį su elektros energijos pasiūla. 3. Su rinkos struktūra ir reguliavimu susiję veiksniai (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. Veiksniai darantys įtaką elektros energijos kainoms (Sudarė autorius, remdamasis Bobinaitė, Juozapavičienė, 2012)

Grupė	Veiksniai
Elektros energijos paklausos veiksniai ir indikatoriai	Realiojo BVP augimas
	Vartotojų prekių indekso ir BVP defliatoriaus augimas
	Elektros paklausos sezoniškumas
	Elektros kainos paklaustos elastiškumas
	Oro temperatūros pokyčiai
	Elektros alternatyvų kaina (gamtinės dujos, biokuras)
	Elektros vartotojų elgesys savaitgaliais, darbo dienomis, šventinėmis dienomis
	Visuomeninio tiekimo elektros kainų pokyčiai
Elektros energijos pasiūlos veiksniai ir indikatoriai	Žaliavų, naudojamų elektros gamybai kainų pokyčiai
	CO ₂ kainų pokyčiai
	Vėjo greitis / Kritulių kiekis, vandens lygis / Oro temperatūra
	Valiutų kursai (EUR/USD)
	Įrengtos galios kiekis ir panaudojamumas
	Techninė jėgainių būklė ir generaciniai pajėgumai
	Perdavimo ir skirstymo linijų būklė
	Kaimyninių rinkų elektros energijos kainos
Rinkos reguliavimo ir struktūros veiksniai	Didmeninės ir mažmeninės elektros kainos lubos
	Didmeninės kainos nustatymo metodai

Autorės taip pat išskiria įprastai dažniausiai naudojamus nepriklausomus kintamuosius elektros energijos kainos prognozavimui: istorinės elektros energijos kainos, elektros energijos vartojimas, kitų kuro rūšių kainos, oro temperatūra, valiutų kursai, vandens ištekliai. Bobinaitė, Konstantinavičiūtė ir Lekavičius (2012) straipsnyje taip pat pateikia pagrindines grupes metodų, skirtų prognozuoti elektros energijos kainas: žaidimų teorijos, laiko eilučių, simuliaciniai metodai.

Trumpojo laikotarpio elektros energijos prognozavimui dažniausiai naudojami laiko eilučių ir simuliacijos metodai. Laiko eilučių metodai dažniausiai yra skirstomi į stochastinius, dirbtinio intelekto ir regresijos modelius. Stochastiniai modeliai yra vieni populiariausių ir dažniausiai sutinkamų modelių, skirtų prognozuoti elektros energijos kainas. Išskiriami AR, ARX, ARMA, ARMAX, PARMAX, NARX, GARCH, GARCH-M, EGARCH, EGARCH-M modeliai. Bobinaitė et al. (2012) straipsnyje taip pat išskyrė pagrindinius modelinių tinkamumo prognozavimui vertinimo kriterijus. Autorių teigimu dažniausiai naudojami MAPE, AMAPE, MAE, AMAE, RMSE indikatoriai, siekiant įvertinti modelių tikslumą ir tinkamumą prognozuoti. Iš esmės autoriai pateikia detalizuotą 7 žingsnių teorinį modelį, skirtą elektros kainos prognozavimui:

1. Elektros kainos prognozavimo tikslo nustatymas.
2. Elektros kainos savybių analizė.
3. Elektros kainą formuojančių veiksnių identifikavimas, analizė, atskyrimas.
4. Statistinių duomenų surinkimas.
5. Prognozavimo metodo pasirinkimas: simuliacijos / laiko eilučių / žaidimų teorijos.
6. Prognozių atlikimas.
7. Prognozės tikslumo įvertinimas ir rekomendacijų pristatymas.

Beigaitė ir Krilavičius (2018) moksliniame darbe, siekiant prognozuoti NordPool biržos Lietuvos kainų grupės dienas kainas išskyrė, kad elektros kainas yra sunku prognozuoti dėl didelio kintamumo ir kainų smailių susidarymo. Analizei pasitelkę vidurkio, sezoninį naivųjų ir eksponentinio išlyginimo metodus autoriai teigė, kad elektros energijos kaina Lietuvoje pasižymi dieniniu, savaitiniu, metiniu sezoniškumu. To išdavoje, kainos yra mažesnės žiemos-pavasario metu, naktimis ir savaitgaliais. Autorių teigimu, paprasti modeliai susiduria su problema prognozuojant

kainų smailes, pereinant iš savaitgalio į darbo dienas ir pan., todėl prognozavimui tinkamesni dirbtinio intelekto ir sudėtingesni modeliai.

Tie patys autoriai kitais metais pristatė tyrimų studiją, skirtą prognozuoti trumpojo laikotarpio elektros energijos kainas, naudojant pasikartojančio neuroninio tinklo Jordan ir Elman metodus. 2016 metų duomenis naudojė modelio paruošimui, autoriai prognozavo 2017 metų kasdienes elektros energijos kainas 24 valandų intervale. Autoriai taip pat kaip ir praėjusiame tyrime nenaudojo kitų kintamųjų, išskyrus istorines elektros energijos kainas. Gauti rezultatai parodė, kad apskaičiuotus liekamąsias paklaidas ir kt. modelio tinkamumo prognozuoti nustatymo metodus, gauta, kad eksponentinio išlyginimo metodas buvo tikslesnis už abejus pasikartojančio neuroninio tinklo modelius.

Česnavičius (2020) siekė sukurti vienmatį stochastinį ARIMA laiko eilučių prognozavimo modelį, skirtą prognozuoti ilgojo laikotarpio elektros energijos kainas Lietuvoje. Autorius sukūrė keturis skirtingus stochastinius prognozavimo modelius: AR (1), ARIMA (1, 1, 0), ARIMA (1, 1, 1), SARIMA (1, 1, 1). Gauti duomenys ir modelių tinkamumas prognozuoti buvo tikrinami pagal RMSE, MAE, MPE ir MAPE statistiką. Gautas rezultatas parodė, kad tinkamiausias modelis prognozuoti metines elektros energijos kainas, turint vidutinę elektros energijos kainos statistiką buvo AR (1). Visgi, kadangi 2020 m. buvo pažymėti, kaip pirmieji koronaviruso pandemijos metai, o autoriaus pasirinkti modeliai buvo vienmačiai, galima teigti, kad prognozė buvo netiksli, kadangi ši sektorių ištiko jau minėti pasiūlos ir paklausos šokai.

Taigi, galima teigti, kad Lietuvos autorių darbuose yra reikšmingas indėlis analizuojant elektros energijos kainą įtakojančius veiksnius, taip pat yra siūlomi teoriniai modeliai elektros energijos kainų prognozavimui. Nors tyrimai, susiję elektros energijos kainas su išoriniais kintamaisiais COVID-19 laikotarpiu nebuvo atliekami, galima teigti, kad vidutinio-ilgojo laikotarpio elektros energijos kainų prognozei COVID-19 laikotarpiu tinkamiausi išoriniai veiksniai yra pasiūlą ir paklausą lemiantys veiksniai, išdėstyti Bobinaitės ir Juozapavičienės (2012) straipsnyje.

Fezzi ir Mosetti (2020) siekdamas prognozuoti NordPool Šiaurės šalių biržos elektros energijos kainas išskyrė, kad populiariausi prognozavimo metodai yra šie: 1. Statistiniai modeliai, apimantys tiek laiko eilučių tiek įvairius regresijos modelius. 2. Kompiuterinio intelekto algoritmai, išskiriant neuroninius tinklus. Skirtingai, negu Lietuvos autoriai, Fezzi ir Mosetti (2020) siekė į modelį įtraukti ne tik elektros energijos kainų vėlinimus, tačiau ir prognozuojamas tinklų apkrovas. Autoriaus išvadose galima pastebėti, kad prognozuojant piko valandas, kada elektros energijos vartojimas yra kiekvieną dieną panašus, tinkamiausiai ir tiksliausiai rezultatus parodo paprasčiausias porinis regresijos modelis. Tuo tarpu, nakties valandomis, savaitgaliais, švenčių dienomis daug sėkmingesni yra sudėtingesni dvejų žingsnių arba neuroninių tinklų ANN, ARMAX modeliai.

Kvietkauskaitė G. (2021) magistro baigiamajame darbe apibendrinio NordPool Šiaurės šalių biržą analizavusių autorių pasirinktas elektros kainų prognozavimo metodikas, patvirtindama, kad iš esmės pagrindiniai šios elektros biržos kainos prognozavimo modeliai buvo statistiniai, tačiau skirtingai, negu Lietuvos atveju buvo kuriami daugialypiai modeliai su skirtingais paaiškinančiais kintamaisiais. Galima teigti, kad neskirstant kintamųjų pagal Bobinaitė et al. (2012) pagrindiniai kintamieji yra sistemiškai panašūs (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Nepriklausomųjų kintamųjų, modelių ir modelio tikslumo įvertinimo parinkimas kuriant elektros kainos prognozavimo modelius (Sudarė autorius, remdamasis Kvietkauskaitė, 2021)

Autorius	Nepriklausomieji kintamieji	Modeliai	Modelio tikslumo įvertinimas
O. A. Karabiber et al.	Oro temperatūra, paklausos prognozė, gamybos prognozė, vėjuotumas, natos, gamtinių dujų kaina	Nesezoninis ARIMA, ANN modelis	RMSE, MAE
J. S. Rounkvist et al.	Paklausa, vėjo, saulės, šiluminių elektrinių gamyba, praėjusių metų kaina, elektros tinklų pralaidumas	Daugiamatė tiesinė regresinė analizė	MAE, RMSE, MAPE
S. Voronin	Sistemos paklausa, hidroelektrinių įrengtoji galia, branduolinių jėgainių gamyba	Nuo klasikinio iki hibridinio	MSE, MAE, MAPE
S. Duffner et al.	CO ₂ išduotų sertifikatų skaičius, naftos kainos, temperatūra	Linijinė regresija, ARMA(X), GARCH	MAE, RMSE, MAPE
H. Torro	Temperatūra, kritulių kiekis, rezervuarų lygis, energijos apkrova	ARIMAX	MSE

Taigi, galima teigti, kad daugumos analizuotų autorių darbuose galima rasti statistinius stochastinius modelius, kurie kuriami siekiant prognozuoti elektros energijos kainas. Išorinių kintamųjų įvedimas, modelių tikslumo įvertinimas yra iš esmės panašus didelėje darbų, todėl vienas iš pagrindinių kylančių klausimų vis dar yra tinkamo laikotarpio ir nepriklausomų kintamųjų parinkimas elektros kainų pokyčiams koronaviruso pandemijos metu prognozuoti.

Olusanye et al. (2021) analizuodamas koronaviruso pandemijos pasekmes energijos kainoms, kuria mašininio mokymo modelį, pritaikydamas neapibrėžtumą nusakančius nepriklausomuosius kintamuosius. Autorius tiria mašininio mokymo algoritimą naudojant COVID sukkelto neapibrėžtumo (CIU) indeksą, informacijos trūkumo sukkelto neapibrėžtumo indeksą (MIU), pasaulinį nestabilumo indeksą (VIX), ekonominio neapibrėžtumo indeksą (EPU), pasaulinį baimės indeksą (GFI). Autorių teigimu ištyrus skirtingų neapibrėžtumo indeksų sąryšį su energijos kainomis pastebėta reikšminga sąsaja tarp ekonominio neapibrėžtumo indekso ir energijos kainų. Galima teigti, kad tai yra dėsningas ryšys, kadangi ekonominė politika, taikyta valstybių vyriausybių buvo pagrindinis ir greičiausiai visuomenę pasiekiantis koronaviruso pandemijos laikotarpio dalykas.

Arya ir Chandrakala (2021) moksliniame darbe siekia sukurti modelius, skirtus prognozuoti elektros kainų pokyčiams koronaviruso pandemijos laikotarpiu. Autorius kuria daugialypius modelius, įtraukdamas temperatūros, kuro kainų, orų sąlygų kintamuosius. Autoriai kurdami autoregresijos slankiojo vidurkio (ARIMA), XGboost ir pasikartojančių neuroninių tinklų (RNN) modelius siekia palyginti statistinių tiesinių ir netiesinių kompiuterinio intelekto bei hibridinių modelių galimybes prognozuoti elektros energijos kainas JAV MISO elektros biržoje. Autoriai darbe nustato, kad ARIMA ir XGboost modeliai pasiekia panašų reikšmingumo lygmenį, kai RNN modelis tiksliausiai prognozuoja elektros kainų pokyčius ir dinamiką.

Apibendrinant galima teigti, kad COVID-19 pandemijos laikotarpiu daugumos šalių elektros energijos kainų dinamiką nagrinėjantys mokslininkai toliau fokusavosi į modelių pritaikymą ankstesnio laikotarpio elektros kainoms, naudodami skirtingus, tačiau sistemingai panašius išorinius kintamuosius. Galima teigti, kad literatūroje, nagrinėjančioje elektros kainų prognozavimą koronaviruso pandemijos poveikis nėra plačiai ištirtas, dėl koronaviruso pandemijos sukeltų neįtikėtinais didelio masto pasiūlos ir paklausos šokų, kurių visuma iš esmės turėtų paaiškinti šokus elektros energijos kainų struktūroje. Kadangi toliau šiame projekte bus analizuojami elektros

energijos paklausos pokyčiai taip pat bus stebima ir ieškoma studijų, susijusių su išorės veiksnių įtaka elektros energijos paklausai koronaviruso pandemijos laikotarpiu.

2.2 Elektros energijos paklausos pokyčiai COVID-19 pandemijos laikotarpiu

Pirmojoje magistro baigiamojo projekto dalyje buvo analizuojama COVID-19 sukeltų padarinių problematika, išskiriant reikšmingą įtaką ir sąsajas su paklausos mažėjimu, taigi pravartu analizuoti, kokie yra galimi teoriniai sprendimai, sprendžiant praktines problemas, susijusias su elektros energijos paklausos mažėjimu.

Ceylan (2020) straipsnyje, analizuodamas COVID-19 poveikį Turkijos elektros energijos rinkai išskiria atliktus tyrimus, nagrinėjusius pandemijos sukeltų padarinių poveikį elektros energijos paklausai skirtingų šalių rinkose (žr. 7 lentelę).

7 lentelė. COVID-19 pandemijos padarinių poveikis pasaulio valstybėms. (Sudarė autorius, remdamasis Ceylan, 2020)

Valstybė / provincija	COVID-19 padarinių poveikis
Brazilija	2020 m. I ketv., lyginant su 2019 m. I ketv, elektros energijos vartojimas sumažėjo beveik 1 %, kada namų ūkių, pramonės, paslaugų sektoriuose sumažėjo atitinkamai 0,3 %, 0,4 %, 2,2 %.
Ontarijaus valstija, Kanada	Elektros energijos paklausa sumažėjo 14 %.
ES šalys	Nuo 2020 m. balandžio 6 iki 13 d. elektros energijos paklausa Ispanijoje, Italijoje, Belgijoje, Jungtinėje Karalystėje (toliau – JK), Nyderlanduose sumažėjo atitinkamai 25 %, 17,7 %, 15,6 %, 14,2 %, 11,6 %.
Jungtinės Amerikos Valstijos (toliau – JAV)	Visose valstijose bendrai elektros energijos paklausa sumažėjo apie 10 %,.
Indija	Pasirinktomis penkių darbo dienų savaitėmis 2020 m. kovą ir balandį, lyginant su 2019 m., paklausa krito 14-24 %.
Australija	Elektros energijos paklausa 2020 m. kovą krito 6,7 %, kada namų ūkių vartojimas taip pat sumažėjo 14 %.
Ispanija	Lyginant paskutinių penkerių metų statistiką ir laikotarpį nuo 2020 m. kovo 14 d. iki balandžio 30 d., paklausa sumažėjo beveik 14 %.
Lagosas, Nigerija	Pramonės sektoriaus elektros energijos paklausa sumažėjo atitinkamai 24 % ir 18 %, dalinio ir visiško karantino laikotarpiais.
Italija	Pandemija lėmė 37 % mažesnę elektros energijos vartojimą šalyje pirmąją kovo savaitę, lyginant su 2019 m. pirmąją kovo sav.

Analizuojant 7 lentelę pastebėtina, kad visose paminėtose valstybėse ar konkrečiuose regionuose, COVID-19 pandemijos padarinių įtaka elektros energijos vartojimui yra ypač reikšminga. Šiame darbe lyginus COVID-19 padarinių įtaką Lietuvos atveju ir nustatčius, kad 2020 m. II ketv. lyginant su tuo pačiu 2019 m. ketv. elektros energijos vartojimas mažėjo 5,5 %, kada pramonės, transporto, paslaugų sektoriuose mažėjimas buvo daugiau nei 10 %, teigtina, kad paklausos mažėjimo fenomenas yra aktualus ne tik Lietuvos elektros energijos rinkoje, tačiau taip pat ir globaliose pasaulio šalių rinkose. Taip pat svarbu pabrėžti, kad dauguma studijų, susijusių su elektros energijos paklausos mažėjimu daug didesnę dėmesį skiria empiriniam paklausos sumažėjimo konstatavimui, detaliau nesigilinant į paraleliai vykstančius procesus, esančius tiesioginėje elektros energijos paklausos mažėjimo išdavoje.

Studijų gausa, skirta analizuoti pandemijos padarinių poveikį elektros energijos vartojimui yra atvirkščia studijų trūkumui, skirtų prognozuoti ir nuspėti elektros energijos paklausą pandemijos laikotarpiu. Ceylan (2020) moksliniame darbe detalizuoja pagrindinius mokslinius darbus, kuriuose buvo kuriami ekonometriniai modeliai, skirti prognozuoti elektros energijos paklausą (žr. 8 lentelę).

8 lentelė. Studijos, prognozuojančios elektros energijos paklausą. (Sudarė autorius, remdamasis Ceylan 2020)

Autorius	Valstybė	Veiksniai, rezultatai
Huang et. al.	Kinija	Istorinė elektros energijos paklausa. Nustatytas stiprus ryšys, tarp elektros energijos paklausos ir naujų COVID-19 atvejų skaičiaus.
Lu et al.	JAV	Istorinė elektros energijos paklausa, paros naujų COVID-19 atvejų skaičius, paros mirčių skaičius, vyriausybės ribojimų griežtumo indeksas. Nustatytas tiksliausias modulis, naudojant paros naujų COVID-19 atvejų skaičių.
Chen et al.	Europa ir JAV	Istorinė elektros energijos paklausa, orai, Google mobilumo indekso duomenys.
Aljaheri et al.	Kuveitas	Istorinė elektros energijos paklausa, orai, savaitgalių elektros energijos vartojimas.
Alasali et al.	Jordanija	Istorinė elektros energijos paklausa. Sukurtas ARIMAX modelis, skirtas analizuoti elektros energijos paklausą Jordanijoje.
Ceylan Z.	Turkija	Didžiausias elektros energijos vartojimo sumažėjimas buvo 2020 m. Gegužės mėn., lyginant su praėjusių metų tuo pačiu mėn., sumažėjo 19 %. Taip pat ištirta, kad labiausiai elektros energijos paklausa sumažėjo savaitgaliais (34,7 %), lyginant su tais pat laikotarpiais 2019 m.

Ekonometrinių modelių kūrimas, skirtų elektros energijos kompanijoms tinkamai pasiruošti panašaus tipo šokams yra išskirtinai svarbus tam, kad valstybės turėtų galimybę išmokti pamokas ir išlaikyti tinkamą vyriausybinių kontrolę vienos jautriausių valstybės suteikiamų viešųjų gėrybių sąskaita.

Sanches-Lopes et al. (2022) moksliniame darbe analizuodami COVID-19 poveikį elektros paklausai Čilėje teigia, kad yra išskirtinai svarbu analizuoti elektros paklausos pokyčius dėl kelių esminių priežasčių: pirma, iš techninės perspektyvos paklausos pokyčiai sistemos operatoriams kėlė iššūkius susijusius su įtampos ir dažnių kontrole, kadangi dėl beprecedentiškai sumažėjusios paklausos staigiai pasikeitė elektros energijos gamybos kompozicija (didesnę dalį elektros energijos gamybos sudarė atsinaujinantys energijos šaltiniai). Taip pat, Čilėje nemažą įtampą ir pokytį sukėlė tai, kad didelė dalis namų ūkių, uždarius paslaugų ir pramonės sektoriaus įmones, prarado didžiąją dalį namų ūkio pajamų, kai tuo pat metu buitinis elektros energijos vartojimas ir sąskaitos už tai padidėjo.

Sanches-Lopes et al. (2022) savo tyrime atskleiddami skirtingus paklausos mažėjimo poveikio pjūvius, vienu svarbiausiųjų akcentų pažymi sumažėjusias anglies dvideginio emisijas pasaulyje. Dėl judėjimo ribojimų, sumažėjusios visų rūšių energijos vartojimo ir transportavimo poreikių, buvo pastebėtas ženklus anglies dvideginio emisijų sumažėjimas ne tik skirtinguose sektoriuose, tačiau taip pat ir išmetimo šaltiniuose. Pirmaisiais keturiais 2020 m. mėnesiais pasauliniu mastu CO₂ emisijos sumažėjo 8 %, o tokios šalys kaip Kinija, JAV, ES, Indija, Rusija dėl su COVID-19 apribojimais susijusių priežasčių emisijas sumažino atitinkamai 315 mln., 138 mln., 145 mln., 65 mln., 24 mln., tonų CO₂. Analizuojant tam tikrų ES šalių CO₂ emisijų ataskaitas pastebėtina, kad kai kuriuose bendrijos šalyse 2020 m. balandžio mėn., lyginant su 2019 m. balandžio mėn., CO₂ emisijos sumažėjo 20 %. Kada CO₂ emisijų duomenys yra išskirtinai džiuginantys, sekant istoriniais pavydžiais, netikslinga daryti skubias išvadas, kadangi 2008-2009 metų didžiosios ekonominės krizės metu pasaulinis CO₂ išmetimas taip pat sumažėjo beveik 2 %, bet ekonominio atsigavimo laikotarpiu CO₂ emisijų rodikliai padidėjo net 6,4 %. Deja, bet COVID-19 poveikis aplinkosaugai ir klimato kaitai yra visiškai atskira tema, vis dar turinti didelę plotmę detalesnei analizei.

Elektros energijos paklausos sumažėjimas dėl įvestų ribojimo priemonių taip pat sukėlė ir elektros energijos kainų šoką. Kaip žinoma, net esant 0 Eur kainai už MWh, šis pokytis galutiniam vartotojui (o ypač turinčiam visuomeninio tiekimo sutartį) neatsispindi jo elektros energijos sąskaitose (Fezzi, 2020). Reikšmingesnę įtaką elektros žaliavos nuvertėjimas daro elektros gamybos rinkos kompozicijai trumpuoju, o COVID-19 pandemijos ir ilgų karantinų laikotarpiu netgi vidutiniuoju ir

ilgaisiais laikotarpiais. Ghiani et al. (2020) straipsnyje teigia, kad elektros energijos gamybos rinkoje globaliu mastu daug didesnę dalį užėmė atsinaujinančių elektros energijos išteklių elektrinės. Tai aiškinama tuo, kad šių jėgainių ribiniai kaštai yra ypatingai žemi, kadangi jų išlaikymui nereikalingas kuras, o vienintelės išlaidos yra susijusios su operacijomis ir jų palaikymu. COVID-19 pandemijos atveju dėl didelės nežinomybės žaliavų rinkose, atpigus dujų žaliavai, pagrindinė žaliava, susilaukianti daugiausiai kritikos dėl taršos, kuri labiausiai iškrito iš elektros energijos gamybos konteksto, buvo anglis. Pavyzdžiui, visoje Europos Sąjungoje elektros energijos gamyba iš anglies, gamtinių dujų ir branduolinių jėgainių sumažėjo atitinkamai 35 %, 25 %, 20 % per karantino laikotarpius 2020 m., lyginant su 2019 m. (Ghenai ir Bettayeb, 2021). Karantinų laikotarpiu Ispanijoje elektros gamyba iš neatsinaujinančių išteklių sumažėjo, kai tuo tarpu gamyba iš atsinaujinančių šaltinių, kaip saulės energija, ženkliai padidėjo. Italijos atveju atsinaujinančių išteklių elektros gamybos dalis tam tikromis karantino dienomis siekė 40 %, kada vidutinė sezoninė to vertė padidėjo iki 23 %. Ukrainoje 2020 m. kovą, lyginant su 2019 m. kovo mėn., elektros generacija iš saulės ir vėjo jėgainių padvigubėjo. Ženklius padidėjimai taip pat buvo stebimi Belgijoje, Italijoje, Vokietijoje, Vengrijoje, rytinėje dalyje JAV. Taip pat pastebėtina, kad kitose pasaulio valstybėse, kur gerokai didesnę elektros generacijos dalį užima šiluminės elektrinės, elektros generacijai, naudojančios anglį, taip pat buvo stebimi ženklius pokyčiai. Pavyzdžiui Indijoje, diennė elektros energijos pasiūla iš šiluminių, anglimi varomų jėgainių karantino laikotarpiu 2020 m. sumažėjo 26 %. JAV rytinių valstijų PJM elektros rinkoje (Pensilvanija, Niu Džersis, Merilandas), anglimi varomų jėgainių generacija 2020 m. balandį, lyginant su 2019 m. tuo pačiu mėn., sumažėjo 38 %. Vidurio valstijų rinkoje MISO, anglies varomų jėgainių generacija sumažėjo net 38 %, kada tuo metu vėjo jėgainių generacijos dalis buvo 10 % didesnė. Galų gale pietų Azijos valstybėje Bangladeše, kur atsinaujinančių elektros šaltinių generacija yra ypač nereikšminga, saulės elektrinių generacija karantino laikotarpiu pasiekė didžiausias istorines vertes, kada Izraelyje 2020 m. balandžio mėnesį buvo užfiksuoti 2 šalies elektros energetikos rekordai, kai saulės jėgainių generacija bendroje elektros generacijoje siekė 27 %, o vėliau ir 29 % visos šalies elektros energijos generacijos. Iš esmės galima teigti, kad toks globalus poslinkis ir pozityvus požiūris į atsinaujinančių elektros išteklių generaciją buvo ypatingai reikšmingas istorinis įrodymas, kad atsinaujinanti energetika yra ypač tvari, bei kovos su klimato kaita idėjos yra praktiškai įgyvendinamos. Watts ir Ambrose (2020) straipsnyje netgi teigė, kad anglies pramonė galimai niekada neatsigaus į priešpandeminį lygmenį, kadangi atsinaujinanti energetika įrodė tvarumo idėjų prasmę ir yra pigesnė bei saugesnis variantas investuotojams. Taip autoriai teigė, kad COVID-19 krizė yra galimai istorinis lūžio taškas, ateities energetiką neišvengiamai nukreipiantis į vandenilio amžių, kada anglies amžius jau baigiasi. Galima teigti, kad įvairių autorių darbuose analizuojamas elektros energijos vartojimo sumažėjimas, dėl COVID-19 padarinių taip pat konstatuoja išvadas ir piešia futuristinius scenarijus ateities elektros energijos gamybos rinkų struktūroms.

Nepaisant reikšmingos įtakos valstybių makroekonomiams rodikliams ir žmonių elgsenai, sumažėjęs elektros energijos vartojimas turėjo reikšmingą įtaką socio-ekonominiams, finansiniams faktoriams ir mikroekonominiu lygmeniu (Trpatec ir Šantič 2020). Visų pirma, pastebėtina, kad nepaisant sumažėjusių elektros energijos gamybos įmonių pelnų, didelį iššūkį kelė padidėję kaštai, susiję su pasunkėjusiomis sąlygomis optimizuoti ir išlaikyti stabilią elektros energijos gamybą. Taip pat, dėl judumo apribojimų reikšmingą įtaką elektros gamybos įmonėms darė ateities sandorių, dėl gamybinių pajėgumų plėtros, mažėjimas iki minimalaus, taip pat artimos ateities statybų projektų atšaukimas, statybinių, remonto medžiagų logistinių grandinių vėlavimas, arba atšaukimas, taip pat apsunkinta galimybė keliauti tarp valstybių (Madurai Elavarasan 2020). Trečia, daugumos pasaulio valstybių

gyventojams kilo ekonominių sunkumų, susijusių su jų galimybėmis apmokėti elektros sąskaitas. Ženkliai sumažėjusi ekonominė veikla, padidėjęs nedarbo lygis ir sumažėję vidutiniai darbo užmokesčiai lėmė padidėjusį energetinį skurdą pasaulyje, išskiriant šalis, kuriose nuolatinis elektros tiekimas reikalingas dėl klimato (ekstremalūs šalčiai arba šiluma). Daugumoje valstybių vyriausybės, arba elektros energijos reguliuotojai priėmė ryžtingus sprendimus atidedami, subsidijuodami arba netgi suspenduodami mokėjimus už elektros energiją (Haiwang et al. 2020). Visos šios priežastys kėlė įvairių plotmių problemas, susijusias su darbo vietų praradimais, atsinaujinančios energetikos skvarbos spartinimu ir kt. Mastropietro et al. (2020) straipsnyje apžvelgė ir klasifikavo skirtingas pasaulio šalių vyriausybės reakcijas į pokyčius vartosenoje:

1. Įvesti draudimai vartotojo atjungimui nuo elektros tinklo, siekiant išlaikyti elektros energijos tiekimą skurdžiausiam vartotojų segmentui.
2. Mokėjimų pratęsimo galimybės, leidžiančios gyventojams atidėti mokėjimus iki nustos galioti COVID-19 prevencijos priemonės.
3. Energetinės paramos programų skatinimas.
4. Energijos sąskaitų subsidijavimas arba tam tikrais atvejais atšaukimas, kai kuriems namų ūkiams.
5. Poveikio priemonės pramonės ir paslaugų sektoriaus vartotojams.
6. Paramos priemonių visuma elektros energijos gamintojams.

Qarnain, Muthuvel ir Bathrinath (2020) straipsnyje apžvelgė pagrindines vyriausybines trumpojo laikotarpio priemones, kovai su COVID-19 pandemijos padariniais. Apžvelgdamas G20 valstybių vyriausybių priimtas poveikio priemones, autorius išskyrė grupes priemonių, kurios buvo taikytinos tam tikrose valstybėse (žr. 9 lentelę).

9 lentelė. Trumpojo laikotarpio elektros energijos skurdo mažinimo priemonės. (Sudarė autorius, remdamasis Qarnain et al., 2020)

Eil. Nr.	Poveikio priemonė	Valstybės
1.	Draudimas atjungti nuo tinklo	Australija, Kanada, JAV, Indija, Argentina, JK
2.	Mokėjimų laiko pratęsimas	Australija, Indija, Vokietija, Japonija
3.	Sąskaitų sumažinimas	Malaizija, Italija, Kinija, Indonezija
4.	Poveikio priemonės gamintojams	Prancūzija, Indija, JK

Skirtingai, negu valdomos ir tam skirtų valstybių vyriausybių organų sprendimų nustatomos ir mažinamos socio-ekonominės rizikos, techniniai iššūkiai, susiję su sumažėjusia elektros energijos paklausa yra žymiai mažiau nuspėjami ir reikalaujantys nuodugnesnio pasirošimo. Dėl didelio vyriausybių pandemijos valdymo priemonių kaitumo, prognozuoti elektros tinklų pakrovą ir paklausą karantino laikotarpiu tapo ypač sudėtinga, todėl be galios balansavimo iššūkių tinkle taip pat aktualios yra rizikos, susijusios su įtampos reguliavimu. Zhong et al. (2020) teigė, kad kai galutinė elektros energijos paklausa ir generacija sumažėjo, namų ūkiuose, saulės energijos generacija nesumažėjo ir tai sukėlė iššūkius, susijusius su įtampos didėjimu, tam tikrų šalių skirstomuosiuose tinkluose. Šie iššūkiai, lydimi mobilumo, socialinės atskirties, savisaugos reikalavimų sukėlė nemažai problemų, kadangi nemažai įprastinių elektros tinklų palaikymo darbų buvo nukelti arba atšaukti, o masinio darbo iš namų dėka ženkliai padidėjo kibernetinio saugumo rizika visai elektros energijos sektoriaus veiklai.

Daugumoje pasaulio valstybių įvesti griežti apribojimai, susiję su COVID-19 plitimu sukėlė problemas logistinėse tiekimo grandinėse ir tai neišvengiamai veikė saulės ir vėjo atsinaujinančių jėgainių darbą (IRENA, 2020). Mokslinių tyrimų agentūra IRENA straipsnyje „The Post COVID

recovery“ apibrėžia ryšį, tarp sustojusių logistinių grandinių ir to keliamų problemų atsinaujinančios energetikos sektoriui. Pandemija sukėlė didelius iššūkius gamybos, įsigijimų, transporto, logistikos, įrengimo, palaikymo srityse, tačiau projektų planavimo ir operacijų valdymo pusės buvo praktiškai nepalietos. Saulės energijos sektoriaus atžvilgiu, pagrindinės saulės panelių ir jų komponentų šalys eksportuotojos – Kinija, Pietų Korėja, Vietnamas, Singapūras, Malaizija, Tailandas buvo išskirtinai stipriai paveiktos COVID-19 ribojimų. Vėjo elektrinių gamybos pramonė taip pat buvo suvaržyta. Pavyzdžiui, Indijoje dėl lėšų ir gamybos priemonių trūkumo 3 didžiausios vėjo jėgainių komponentų gamintojos „Vestas“, „Siemens Gamesa“, „LM Wind Power“ laikinai sustabdė produkciją, kas iš esmės lėmė 600 MW galios jėgainių statybų projektų nukėlimą 2022 m. Visgi, Europoje vėjo jėgainių produkcija nenukentėjo ir 96 % įmonių toliau sugebėjo tęsti darbus, kada dėl krizės visoje Europoje užsidarė vos 18 gamyklų (dauguma buvo dislokuotos Ispanijoje ir Italijoje).

Kova su klimato kaita ir atsigavimo po COVID-19 idėjos šiuo metu yra vienos populiariausių temų, elektros energetiką tyrinėjančių mokslininkų darbuose. Lazo et al. (2022) teigia, kad tai ypač atsiskleidė, kai COVID-19 ligos apribojimai nulėmė sumažėjusias šiltnamio dujų emisijas, oro taršą. Autoriaus teigimu, nors šis sumažėjimas yra tik trumpuoju laikotarpiu, jis buvo ypač svarbus tuo aspektu, kad pademonstravo žmonijos gebėjimą greitai adaptuotis prie greitai besikeičiančios aplinkos, keičiant nusistovėjusias socialinio bendravimo normas, gyvenimo būdą, persvarstant judumo, elgesio normas, su daugybe galimybių tuos pokyčius išlaikyti ilgesniam laikotarpiui. Naujos normos kaip darbo skaitmenizacija, nuotolinio mokymo galimybės, nuotolinių susirinkimų galimybės, iki COVID-19 pandemijos netgi nebuvo svarstomos kaip galimos alternatyvos nusistovėjusiai santvarkai. Iškilus visų minėtų priemonių poreikiui ir valstybių vyriausybėms parodžius didelį polinkį valdyti krizę, buvo sukurti precedentai, skirti klimato kaitos aktyvistams, įrodantys, kad žmonija gali adaptuotis prie mažiau aplinką teršiančių ir eikvojančių alternatyvų.

Iš esmės, elektros energijos vartojimo sumažėjimas ir popandeminis ekonominis atsigavimas yra siejamas su dviem skirtingais scenarijais. Pozityvusis scenarijus teigia, kad visa pandeminė situacija sudarė beprecedentes sąlygas atsisakyti labiausiai teršiančių iškastinio kuro rūšių ir ekonomikos atsigavimui skirtas lėšas prioriteto tvarka skirti atsinaujinančių elektros išteklių plėtrai. Antruoju scenarijumi, kuris, beje, yra labiau tikėtinas, atsižvelgiant į šiame darbe jau minėtas problemas, susijusias su atsinaujinančių elektros energijos šaltinių inovacijomis ir šių šaltinių plėtros vėlavimo problemomis, galima tikėtis, kad COVID-19 pandemijos išdava bus daugiau susijusi su moralinėmis paskatomis ateityje labiau kovoti dėl klimato kaita, negu realiais ir greitais sprendimais.

Abejais atvejais, didelis ekonominio atsigavimo dėmesys kryptų į nacionalines arba virš nacionalines institucijas, kaip Europos komisija ir kt. Išsivysčiusių valstybių, ar jų grupių atžvilgiu, šiuo metu plėtojamos žaliosios energetikos idėjos privalo išlaikyti esamą kursą. ES atveju, lyginant su prieš pandeminiu laikotarpiu, ši krizė sukėlė papildomą politinį spaudimą paspartinti aplinkai draugiškų elektros energijos išgavimo idėjų generavimo būdą (Crnec, 2020). Europos žaliojo kurso prioretizavimas, privataus kapitalo skatinimas investuoti į atsinaujinančius išteklius, bei vyriausybės biudžetų peržiūras gali paskatinti daugumoje išsivysčiusių šalių įvykdyti optimistinį scenarijų. Šalys kaip Vokietija, Prancūzija, Kinija, JK COVID-19 pandemijos metu skyrė 10 milijardų švarios energetikos investicijoms atsigavimo nuo pandemijos programose. Pietų Korėjoje, kitose Azijos šalys Žaliojo kurso planai, vietoje planuotų tvirtinti po pandemijos, buvo patvirtinti gerokai anksčiau ir jiems yra numatomi vyriausybės asignavimai. Deja, skirtingas ekonominis išsivystymas mažiau išsivysčiusiose šalyse gali nutolinti optimistinio atsigavimo scenarijaus siekį. Iš esmės, sumažėjusios biudžeto pajamos dėl sumažėjusių gyventojų pajamų, padidėjusių nedarbo ir kt. išmokų ženkliai

apribos šalių vyriausybės skolos tvarumą ir gali lemti dideles finansines problemas, susijusias su padidėjusiomis palūkanų normomis ar galbūt net vietinės valiutos devalvavimu.

Siekiant ekonominio atsigavimo ir žaliosios energetikos skatinimo Lazo et al. (2022) nuomone, galima pasiekti „win-win“ situaciją. Tokiu atveju, kai vyriausybės vykdys dideles investicijas į žaliosios energetikos sektorių yra didelė galimybė sukurti ypač daug naujų darbo vietų. 2018 m. visame pasaulyje 11 milijonų gyventojų dirbo atsinaujinančios energetikos sektoriuje ir yra tikėtina kad 2050 m. tokių gyventojų jau bus daugiau negu 84 milijonai. Visgi, tokia greita transformacija yra reali ir aktuali valstybėms, kurių visuomenės yra išsilavinusios, o pačios vyriausybės yra linkusios atlikti tokio masto investicijas.

Apibendrinant galima teigti, kad esminės elektros energijos paklausos sumažėjimo išdavos, iš esmės buvo ypač ženklus šiltnamio dujų emisijų sumažėjimas, elektros energijos kainų sumažėjimas, atsinaujinančių energijos išteklių dalies padidėjimas, padidėję elektros gamybos sektoriaus įmonių kaštai, skirti stabilizuoti elektros tiekimą, vėluojantys ir apsunkinti tiek žaliųjų technologijų spartinimo, tiek esančių jėgainių išlaikymo procesai. Pagrindinis teorinis aspektas, yra susijęs su ekonominiu atsigavimu ir žaliosios energetikos skatinimu, kadangi pasauliui įrodžius beprecedentę galimybę transformuoti egzistuojančius įpročius į naujas socialinio ir kt. bendravimo, sąveikos normas, leidžia tikėtis, kad šalių vyriausybės bus linkusios edukuoti visuomenę žaliosios energetikos revoliucijos idėjomis, skatinant investicijas, švietimą ir taip sukurti „win-win“ situaciją abiejų, iš esmės skirtingų, idėjų atžvilgiu.

2.3 Elektros energijos pasiūlos pokyčiai COVID-19 pandemijos laikotarpiu

Praėjusiam poskyryje analizavus koronaviruso pandemijos padarinių sukulto paklausos šoko įtaką makroekonominiu ir mikroekonominiu lygmeniu, toliau naudinga analizuoti tiesiogines šio egzogeninio šoko pasekmes endogeniniam šokui – pasiūlos pokyčiams elektros energijos rinkoje. Kai praėjusiam poskyryje į tai buvo kreiptas dėmesys, analizuojant atsinaujinančių energijos išteklių kompozicijas, šiame poskyryje didesnis dėmesys skiriamas ekonominiam pasiūlos sumažėjimo veiksmui ir teoriniams sprendimams, galintiems sumažinti šį šoko efektą.

Analizuojant mokslinę literatūrą ir autorių, nagrinėjusių elektros energijos rinkų darbą COVID-19 pandemijos laikotarpiu galima suprasti, kad sumažėjusi elektros energijos paklausa yra kritinis veiksnys ir turi nepaprastai didelę reikšmę elektros tinklo apkrovai, pasiūlos veiksmams (Carmon et al, 2020). Autorių teigimu, elektros sistemos operatoriai privalo turėti daugiau įrankių, skirtų kontroliuoti įvykius, susijusius su neįprastai mažu elektros vartojimu, tokių kaip energijos kaupikliai, galimybė kontroliuoti skirtingus atsinaujinančius energijos šaltinius ir sėkmingiau reguliuoti skirstomųjų tinklų dažnius. Pažymėtina, kad koronaviruso pandemija parodė, kad lankstumas yra kritinė elektros gamintojų ir skirstytojų savybė ir ilgalaikis saugumas gali būti svarbiau už trumpalaikius ekonominius prioritetus.

Noorazar et al. (2021) straipsnyje analizuoja ekonominę pasiūlos šokų įtaką šalių ekonomikoms, akcentuodamas atsparumą didinančių priemonių ir pasirengimo nenumatytoms situacijoms svarbą. Autorius teigia, kad nepaisant planų, skirtų galimiems katastrofiniams atvejams gausos, nuo 1980 metų JAV vis tiek įvyko 246 incidentai, susiję su oro ir klimato anomalijomis, lėmusiais 1,6 trilijono JAV dolerių nuostolius. Planai katastrofiniams atvejams, susijusiais su pandemijomis taip pat buvo išleisti tokioms pandemijoms kaip Ispaniškasis gripas, „Influenza“ pandemija, SARS pandemija, H1N1 pandemija. Visgi, COVID-19 pandemija, pasauliui parodžiusi neįtikėtiną ligos plitimo mąstą, vis tiek padarė didžiulius nuostolius viešųjų paslaugų pramonėje. Noorazar et al. (2021) teigimu,

beveik visa mokslinė literatūra, analizuojanti elektros energijos sektoriaus atsparumą pasiūlos šokams yra akcentuota į grėsmes, susijusias su ekstremaliomis orų sąlygomis arba kibernetinėmis atakomis, kurios grasina fiziniams elektros energijos tinklo saugumui. Kai COVID-19 pandemija lėmė veiksnius, kurie privertė elektros sistemų darbuotojus, operatorius dirbti nuotoliniu būdu, izoliuotis, planai tam nebuvo paruošti ir mokslinėje literatūroje beveik neįmanoma rasti pavyzdžių, analizuojančių ir tiriančių žmogiškojo faktoriaus pokyčius ir reikšmingą to įtaką elektros sistemų darbui. Toliau autorius darbe analizuoja veiksmus, priimtus elektros energijos gamintojų, siekiant mažinti minėtas rizikas:

1. Atsarginių valdymo centrų aktyvavimas, svarbiausiųjų darbuotojų atskyrimas, griežtas patalpų vėdinimas ir išvalymas.
2. Maisto ir kitų atsargų sandėliavimas nenumatytiems atvejams pačioje elektros jėgainėje.
3. Pasiruošimas blogiausiems scenarijams, numatant minimalų žmonių skaičių, galinčių palaikyti elektros energijos tiekimą.
4. Nuotolinio darbo taikymas.
5. Remonto ir aptarnaujančio personalo minimalus rotavimas tarp elektros jėgainių.
6. Nekritinio aptarnavimo perkėlimas į tolimesnį laikotarpį.
7. Reguliarus sveikatos stebėjimas ir testavimas.
8. Skirtingų elektros gamybos darbuotojų pamainų sudarymas, atskyrimas.

Apibendrinamas autorius teigia, kad paskutiniųjų metų statistikos duomenimis žmogaus nekontroliuojamų katastrofų dažnumas ir intensyvumas yra žymiai padidėjęs. Visgi, dėl didelių investicijų į išmaniuosius tinklus, elektros energijos tinklai sistemingai siekia didelio kiekio jutiklių ir automatikos sistemų integravimo. Tuo pat metu, padidėjus skaitmenizacijai, surenkamų duomenų kiekis yra gerokai viršijantis žmogaus galimybes jas analizuoti, naudoti ir pritaikyti tokių ekstremalių situacijų kaip COVID-19 atveju. Duomenų mokslu besinaudojančios mašininio mokymo, dirbtinio intelekto sistemos, leidžiančios pakankamą žmogaus ir kompiuterio sąryšį yra patys tinkamiausi sprendimai ateities iššūkiams ir panašaus tipo katastrofoms.

Paaso et al. (2020) elektros ir elektros inžinierių instituto pranešime teigė, kad elektros energijos gamybos skirstymo ir tiekimo bendrija sureagavo itin greitai į koronaviruso pandemijos padarinius, suprantant, kad elektros energijos tiekimas yra būtina viešoji paslauga ir sutrikimai turi didžiulę įtaką visuomenei, todėl privalo turėti atsarginio veikimo galimybes, atsarginius planus. Autoriai darbe apžvelgė pagrindines elektros energijos tiekėjų visam pasaulyje imtūsi priemonių, skirtų mažinti koronaviruso protrūkių tendencijas:

1. Didelė dalis personalo dirbantys nuotoliniu būdu, tam tikrose šalyse pasiekiant 70 % nuotoliniu būdu dirbančiųjų lygį.
2. Dauguma įmonių atlieka tik esmines užduotis, kada neesminės užduotys yra nukeliamos arba atšaukiamos.
3. Dauguma tiekėjų ir įstatymų leidėjų neleidžia vartotojams atsijungti nuo tinklo.
4. Tam tikri segmentai gamintojų stebi visiškai nepakitusią paklausą, kada dalis gamintojų fiksuoja 15-20 % pokyčius.

Taip pat darbe išskirtas elektros energijos gamybos rinkos atsakas į COVID-19 grėsmes. Kadangi, būtent gamintojai yra pirmoji šios pramonės šakos ir komunalinės paslaugos dalis, klaidos kaina yra didžiausia būtent šioje grandinėje, būtent dėl to ypač svarbu analizuoti priemones, kurių buvo imtasi

siekiant sumažinti grėsmę elektros gamybos sektoriuje. Toliau Paaso et al. (2020) detalizuoja, kokios poveikio priemonės buvo taikomos skirtingose elektros energijos gamybos įmonių plotmėse: elektrinių valdymo centruose, lauko operacijose, klientų operacijose, tiekimo grandinėse. Elektrinių valdymo centrų atveju, autorių teigimu, kadangi tai yra iš esmės svarbiausias elektros energijos valdymo organas ir čia buvo taikomos griežčiausios priemonės, tiek sistemos operatorių, tiek tiekėjų atžvilgiu. Beveik visame pasaulyje, įmonių būdinga taktika buvo didinti pamainų trukmes, mažinant žmonių esančių vienoje vietoje skaičių, taip pat padidinant aktyvių valdymo centrų skaičių tam, kad veiklos perdavimas būtų nuotolinis. Lauko operacijų atžvilgiu taikytina specifinė praktika, numatant ribojimus dėl keleivių esančių viename automobilyje, sraigtasparnių, bepiločių orlaivių naudojimas atliekant kasdienes patikras, individualios apsaugos priemonių išdalinimas, nuotolinis personalo mokymas, remonto grupių atskyrimas, taip pat visų apsaugos priemonių taikymas subrangovų įmonėms. Klientų operacijų atveju, taikytinas nuotolinio darbo principas, taip pat daugumoje šalių taikyta praktika išleisti moratoriumus, draudžiant atjungti elektros vartotojus nuo elektros tinklo. Visgi, didžiausią finansinę ir stabilumo riziką ilgalaikiai perspektyvai kėlė pokyčiai susiję su tiekimo grandinėmis, kuomet didžioji dalis remonto ar plėtros darbų buvo nukeliama į tolesnius periodus.

Techniniai iššūkiai, susiję su elektros energijos tiekimu, Paaso et al. (2020) teigimu, buvo sėkmingai sprendžiami, nors pandemijos metu išskirtinai padidėjo rizika didesnių gamtos katastrofų suvaldymui, kai nemaža dalis personalo dirba nuotoliniu būdu. Galima teigti, kad sumažėjusi elektros apkrova, lėmusi didelius įtampos svyravimus buvo sprendžiama išjungiant automatines įtampos kontrolės mechanizmus ir paprasčiausiai išjungiant perteklinius reaktorių. Vietovėse su didele saulės jėgainių generacija, paklausos sumažėjimas kėlė itin didelius iššūkius, susijusius su įtampos valdymu. Tam tikrose pasaulio vietose elektros skirstomieji tinklai netgi atjungdavo vartotojus nuo skirstomųjų tinklų, su tikslu išlaikyti stabilų elektros energijos tiekimą pramonės vartotojams. Taip pat sistemingai diegiant mašininio mokymosi ir dirbtinio intelekto sistemas sėkmingai išbandyti ir taikyti apkrovos prognozavimo modeliai ir ateities problemų ir su jomis susijusių rizikų mažinimas. Apibendrinant iššūkius susijusius su elektros energijos pasiūla ir endogeniniais šokais Paaso et al. (2020) teigia, kad ilgalaikėje perspektyvoje valstybių vyriausybės ir energetikos reguliavimo tarnybos, ministerijos privalo toliau plėsti elektros energijos tinklus didinant jų pasiekiamumą ir prieinamumą visiems vartotojams, taip pat didinti elektros energijos paslaugų teikimo patikimumą ir atsparumą, akcentuojant su orais ir klimatu susijusias nelaimes ir galimas pandemines situacijas bei mažinant orą teršiančias emisijas tęsiant dekarbonizaciją.

Apibendrinant elektros energijos pasiūlos pokyčius ir tam siūlomus teorinius sprendimus galima teigti, kad esminiai pasiūlos pokyčiai buvo tiesiogiai susiję su elektros energijos paklausos pokyčiais, kada ne tik ženkliai sumažėjo jos paklausa, bet ir vartojimo įpročiai, vartotojų grupių apimtys, pasiskirstymas jose. Elektros energijos pasiūlos šokai iš esmės buvo susiję su ženkliai padidėjusia atsinaujinančios elektros energetikos reikšme ir praktiniu vartojimu, dideliais techniniais iššūkiais elektros energijos rinkos veikėjams, susijusiais su tinklų apkrovos prognozavimu, įtampos elektros tinkle valdymu ir kontrole, tiekimo grandinių sustojimu ir reikšmingų atsinaujinančios energetikos projektų atšaukimu arba nukėlimu, iššūkiais, susijusiais su elektros tinklų priežiūra dėl judėjimo ribojimo priemonių, rizikomis dėl kibernetinio elektros energijos tinklų saugumo. Galima teigti, kad skirtingose pasaulio valstybėse pastebėti iššūkiai buvo iš esmės reikšmingi ir reikalingi žinoti viso pasaulio valstybių energetikos institucijoms. Išlikusios didelės rizikos dėl gamtinių katastrofų, 2022 m. prasidėjęs karas Ukrainoje ir tolesnis neaiškumas, susijęs su logistinėmis grandinėmis, gamtinių dujų, kitų žaliavų kainomis, toliau privers už elektros energijos pasiūlą atsakingus asmenis ieškoti

sprendimų, atlikti reikalingas palaikymo, aptarnavimo užduotis, kurių dauguma buvo perkelta arba atšaukta dėl karantino ribojimų, įvestų visose pasaulio valstybėse.

3. COVID-19 įtakos elektros energijos kainoms Lietuvoje tyrimo metodologija

Toliau darbe bus pristatoma tyrimo metodologija, kuria bus naudojamosi siekiant išanalizuoti veiksniai, galimai darančius įtaką elektros energijos kainoms, o vėliau ir tiriant koronaviruso pandemijos poveikį elektros energijos kainoms. Tyrimo metodologiją papildant skaičiavimo metodika, duomenų atrankos principais ir regresijos modelio sudarymo eiga siekiama pristatyti kaip bus atliekamas tyrimas.

Tyrimo metu analizuojant koronaviruso pandemijos poveikį elektros energijos kainoms svarbu išrinkti dažniausiai mokslinėje literatūroje minimus elektros energijos kainą veikiančius veiksniai. Remiantis teorinės dalies medžiaga, anksčiau atliktais tyrimais, siekiant nustatyti COVID-19 poveikį elektros energijos kainoms Lietuvoje tyrimui pasirinkti šie nepriklausomi kintamieji:

1. Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje, MWh;
2. Brent naftos barelio kaina, dol/barelis;
3. Metinė infliacija, proc.;
4. Vidutinė mėnesio temperatūra Lietuvoje, C⁰;
5. Dujų importo kaina Eur/MWh;
6. EUR/USD valiutų kursas;

Tyrimo atlikimo laikotarpis yra nuo 2019 m. sausio mėn. – 2021 m. birželio mėn. (imtinai). Tyrimo stebinių periodiškumas – 1 mėnesis. Pradiniai tyrimo duomenys pateikiami 1 priede. Tyrimo duomenys pradėti rinkti nuo 2019 m. sausio mėn., kadangi 2019 m. buvo paskutiniai, prieš COVID-19 pandemiją. 2019 m. duomenys naudojami siekiant iliustruoti praėjusio laikotarpio ekonomines tendencijas, atsižvelgiant į vartojimą, gamybą, ekonominį augimą. Šio laikotarpio duomenys ypač aktualūs, siekiant tinkamai nubrėžti slenkstį, kuris įvyko 2020 m. kovo mėn., paskelbus pirmąjį visuotinį karantiną Lietuvoje. Tyrimo galutine data laikoma 2021 m. birželio 31 d., kada oficialiai Lietuvoje buvo atšauktas visuotinis karantinas. Nors jau nuo 2021 m. pradžios koronaviruso pandemijos valdymo priemonės iš esmės nesikeitė, galima rinktis būtent 2021 m. birželio 31 d. taip siekiant turėti pakankamai reikšmingą duomenų imtį.

10 lentelėje pateikiami pagrindiniai šaltiniai, kuriais buvo naudojamosi siekiant surinkti empirinius duomenis, taip pat pateikiamos pagrindinės surinktų duomenų skaitinės charakteristikos.

10 lentelė. Pagrindinės tyrime naudojamų kintamųjų skaitinės charakteristikos

Kintamasis	Vidurkis	Mediana	Matavimo vienetas	Šaltinis
Didmeninė elektros energijos kaina Lietuvoje	42,73	44,11	Eur/MWh	Nordpoolgoup.com
Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje	1362	1333	MWh	Litgrid.Eu
Brent naftos barelio kaina	54,37	60,23	dol/barelis	Tradingeconomics.com
Metinė infliacija	1,78	1,70	Proc.	Osp.stat.gov.lt
Vidutinė mėnesio temperatūra	8,99	9,30	C ⁰	Meteo.lt
Dujų importo kaina	12,96	12,96	Eur/MWh	Regula.lt Getbaltic.com
EUR/USD valiutų kursas	1,14	1,12	Eur/USD	Tradingeconomics.com

Tyrimas 4-ojoje darbo dalyje bus atliekamas šiais 3 etapais: 1. Pasirinktų rodiklių stebinių analizė ir įvertinamas tinkamumas empiriniam tyrimui atlikti, kintamųjų stacionarumo įvertinimas. 2. Kintamųjų koreliacinė analizė ir priežastinių ryšių tarp kintamųjų vertinimas. 3. COVID-19 įtakos kintamiesiems įvertinimas, regresinė analizė. Tyrimo etapai detalizuojami 11 lentelėje.

11 lentelė. Pagrindiniai tyrimo etapai

Etapo Nr.	Aprašymas	Kas atliekama
1 etapas	Pasirinktų rodiklių stebinių analizė ir įvertinamas tinkamumas empiriniam tyrimui atlikti, kintamųjų stacionarumo įvertinimas	Rodiklių pasiskirstymo pagal normalųjį skirstinį vertinimas, išskirčių nustatymas, išskirčių šalinimas, vienetinių šaknų metodo taikymas.
2 etapas	Kintamųjų koreliacinė analizė ir priežastinių ryšių tarp kintamųjų vertinimas	Pirsono koreliacijos koeficiento vertinimas, Granger priežastingumo testo atlikimas.
3 etapas	COVID-19 įtakos kintamiesiems įvertinimas, regresinė analizė	Kointegracijos tarp kintamųjų nustatymas, trumpojo ir ilgojo laikotarpio poveikio vertinimas, regresijos modelio kūrimas.

Tyrimo metu bus naudojamas 0,05 pasiklivimo lygmuo – α . Tai reiškia, kad tiriant gali egzistuoti 5 % statistinė klaidos tikimybė. Tyrimas atliekamas naudojant eViews 12 programinę įrangą.

Pirmojo etapo metu, prieš naudojant empirinius duomenis tikslinga patikrinti, ar visų rodiklių stebiniai yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Darbo eigoje, norint gauti patikimą regresijos modelį, visi kintamieji jame turi būti pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Jeigu taip nėra, tuomet kintamojo reikšmės būtina priartinti prie normaliojo skirstinio ir yra atliekamas jo funkcinis keitimas (Balabonienė, Bliekienė ir Stundžienė, 2013) Stebinių pasiskirstymas pagal normalųjį skirstinį analizuojamas apskaičiuojant Jarque ir Bera kriterijaus tikimybės *probability* (p) reikšmę. Apskaičiuotoji yra lyginama su pasiklivimo lygmenio α reikšme, kuri yra 0,05. Jeigu tikimybė p yra didesnė už α , yra priimama H_0 hipotezė. Naudojant Jarque ir Bera kriterijų, hipotezės yra formuluojamos taip:

H_0 : kintamojo reikšmės pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį;

H_1 : kintamojo reikšmės nėra pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį.

Kažkurio kintamojo reikšmėms nesant pasiskirsčius pagal normalųjį skirstinį atliekamas kintamojo išskirčių šalinimas, arba funkcinis keitimas tol, kol kintamojo reikšmės bus pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Priėmus H_0 hipotezę, toliau atliekamas stacionarumo įvertinimas.

Siekiant patikrinti, ar stebinių laiko eilutės neturi nei trendo nei sezoniškumo toliau atliekamas stacionarumo patikrinimas, analizuojantis, kaip skirstiniai pasiskirstę kiekviename laiko eilutės taške. Laiko eilutės stacionarumas yra įvertinamas vienetinių šaknų metodu, vertinant išplėstojo Diko ir Fulerio kriterijaus tikimybę. Jis tiriamas išbandant tris modelius – modelį be poslinkio ir trendo (3.1), modelį su poslinkiu, bet be trendo (3.2) ir modelį su poslinkiu ir determinuotu trendu (3.3).

$$1. \Delta y_t = \theta y_{t-1} + U_t \quad (3.1)$$

$$2. \Delta y_t = \beta_0 + \theta y_{t-1} + U_t \quad (3.2)$$

$$3. \Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \theta y_{t-1} + U_t \quad (3.3)$$

čia y_{t-1} – laiko eilutės reikšmė momentu $t-1$;

Δy_t – diferencijuotas priklausomas kintamasis;

β_0, β_1, θ - koeficientai, U_t – atsitiktinė paklaida.

Iš esmės išplėstojo Diko ir Fulerio testo tikimybei viršijus α , laikoma, kad H_0 hipotezė, teigianti, kad procesas nėra stacionarus, yra atmetama. Jeigu įvertinus pradinį procesą yra gaunama, kad jis nėra stacionarus, procesas yra diferencijuojamas d kartų ir yra vadinamas $I(d)$ (Balabonienė, Bliėkienė ir Stundėzienė, 2013).

Antrojo etapo metu atliekama kintamųjų koreliacinė analizė, apskaiėiuojant Pirsono tiesinės koreliacijos koeficientą. Šio koeficiento reikėmės svyruoja nuo -1 iki +1. Jeigu koeficiento reikėmės yra didesnės už 0 – priklausomybė teigiama, jeigu mažiau už 0 – priklausomybė neigiama. Nors Pirsono koreliacijos koeficientas neparodo, kodėl atsirado priklausomybė, jis yra tinkamas įvertinti, kiek kartų pakitus nepriklausomo kintamojo reikėmei pasikeis priklausomojo kintamojo reikėmė. Naudojantis koreliacijos koeficiento įvertinimo skale taip pat galima įvertinti šio koeficiento įverėius: kai r reikėmė pasiskirsto tarp 0,9 ir 1 (taip pat ir su neigiamu ženkle), vertinama, kad egzistuoja labai stipri tiesinė koreliacija, r reikėmei esant tarp 0,7 ir 0,9 vertinama, kad egzistuoja stipri tiesinė koreliacija, tarp 0,5 ir 0,7 teigiama, kad egzistuoja vidutinė tiesinė koreliacija, o tarp 0,3 ir 0,5 yra silpna tiesinė koreliacija, kai galų gale tarp -0,3 ir 0,3 interpretuojama, kad yra labai silpna arba nėra tiesinės koreliacijos (Rudzėkienė, 2003). Pirsono tiesinės koreliacijos koeficientas yra apskaiėiuojamas pagal (3.4) formulę:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}; \quad (3.4)$$

čia r_{xy} – imties koreliacijos koeficientas;

x – kintamojo reikėmė;

y – priklausomo kintamojo reikėmė.

Toliau darbe atliekamas Granger prieėastingumo testas, kurio pagalba analizuojama, ar nepriklausomi kintamieji lemia priklausomą kintamąjį (elektros kainas). Kvedaro (2005) teigimu, Granger prieėastingumas nedemonstruoja loginio prieėastingumo, taėiau jei kintamasis x_t yra naudingas prognozuojant kintamojo y_t ateitį, tai x_t yra vadinamas kintamojo y_t Granger prieėastimi.

Šiuo atveju, toliau bus analizuojama, kaip nepriklausomi kintamieji lemia priklausomąjį kintamąjį, taigi iš esmės bus sprendėžiama viena lygtis pagal formulę (3.5) ir tikrinama hipotezė:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_i y_{t-i} + \beta_1 x_{t-1} + \dots + \beta_i x_{t-i} + U_t, \quad (3.5)$$

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_i = 0.$$

čia y_t ir x_t – laiko eilutės reikėmė momentu t ;

$\alpha_1, \alpha_i, \beta_1$ – koeficientai;

U_t – atsitiktinė paklaida.

Jeigu Granger prieėastingumo testo prie skirtingų vėlinimų tikimybė virėija pasiklovimo lygmenį α , priimama H_0 hipotezė, teigianti, kad kintamieji neturi statistinio prieėastinio ryėio.

Treėiojo etapo metu atliekamas kointegracijos tarp kintamųjų vertinimas. Ekonometrijoje daėnai susiduriant su nestacionariomis laiko eilutėmis, tikėtina, kad nestacionarių laiko eiluėių regresija gali bėti „netikra“. Anot Boguslausko ir Bliėkienės (2012) kuriant tokį regresijos modelį susiduriama su dviem problemomis:

1. Specifikavus modelio lygtį ir išdiferencijavus kintamuosius yra išdiferencijuojamos ir modelio liekamosios paklaidos. Todėl gaunasi, kad liekamųjų paklaidų eilutė gali būti nesimetrinė slankiojo vidurkio atžvilgiu.
2. Išdiferencijavus kintamuosius sudarytas modelis neužtikrina vienareikšmiško ilgojo laikotarpio sprendimo.

Dėl šių priežasčių tarp dviejų laiko eilučių įprastai sukuriama porinis regresijos modelis, kurio liekamosios paklaidos turi būti stacionarios. Liekamųjų paklaidų stacionarumui neegzistuojant – laikoma, kad kintamieji nėra kointegruoti ir tarp jų nėra ilgalaikio ryšio, todėl atlikti ilgojo laikotarpio prognozės negalima. Toliau gali būti atliekama trumpojo laikotarpio prognozė, naudojant diferencijuotas laiko eilutes. Sukūrus tam tinkamą regresijos modelį įtraukiamas netikras kintamasis (angl. *dummy variable*), skirtas parodyti laiko lūžį, įvykusį 2020 m. kovo mėn., kuomet buvo įvestas visuotinis karantinas. Tokiu būdu gali būti lyginami modeliai, su COVID-19 poveikiu ir be COVID-19 poveikio.

Nustačius trumpojo laikotarpio poveikį elektros energijos kainoms, įvertinamas modelio tinkamumas. Paklaidos yra vertinamos pagal Gauso-Markovo prielaidas:

1. Paklaidų vidurkis yra lygus 0;
2. Paklaidos pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį;
3. Paklaidų dispersija pastovi (egzistuoja homoskedastija);
4. Tarp paklaidų nėra autokoreliacijos.

Įvertinus laiko eilučių kointegruotumą ir nustatant, kad jos yra kointegruotos, siekiant įvertinti trumpojo laikotarpio vieno kintamojo poveikį kitam gali būti kuriamas ECM modelis. ECM modelis yra užrašomas ir apskaičiuojamas pagal formulę (3.6):

$$\Delta y_t = \mu + \omega_0 * \Delta x_t + \lambda * U_{t-1} + e_t; \quad (3.6)$$

čia Δy_t – diferencijuotas priklausomas kintamasis;

μ, ω_0, λ – koeficientai;

Δx_t – diferencijuotas nepriklausomas kintamasis;

U_{t-1} – regresijos modelio paklaidos, e_t – ECM modelio paklaidos;

Anot Boguslauskos ir Bliedienės (2012) parametras ω_0 įvertina trumpojo laikotarpio poveikį, kaip x_t pokytis įtakoja y_t pokytį einamuoju laikotarpiu. Parametras λ , yra grįžtamojo ryšio parametras, parodantis kaip yra koreguojamas pusiausvyros nebuvimas. Jeigu λ įgyja reikšmę artimą -1, teigiama, kad 100 % koregavimo įvyksta per einamąjį laikotarpį. Jeigu λ įgyja reikšmę artimą -0,5, teigiama, kad 50 % koregavimo įvyksta per einamąjį laikotarpį, o į pusiausvyrą kintamieji grįžta per 2 mėnesius. Jeigu λ yra lygus 0, teigiama, kad koregavimas nevyksta.

Siekiant nustatyti ilgojo laikotarpio poveikį, kuriamas autoregresijos paskirstyto vėlinimo (toliau – ARDL) (p, q) modelis. Visų pirma yra nustatomi ARDL (p, q) modelio laipsniai, t.y. kiek vėlinimų yra tikslinga įtraukti į modelį. P šiame modelyje – priklausomojo kintamojo vėlinimų reikšmė, q – nepriklausomojo kintamojo vėlinimo reikšmės. Tai yra analizuojama, naudojant Akaikės informacinį kriterijų, kurio mažiausia reikšmė yra tinkamesnė modelio kūrimui. ARDL (p, q) modelis užrašomas pagal (3.7) formulę:

$$y_t = c + p_1 * y_{t-1} + \dots + p_p * y_{t-p} + \beta_0 * X_t + \beta_1 * X_{t-1} + \beta_q * X_{t-q} + U_t \quad (3.7)$$

čia y_t – priklausomas kintamasis;

$c, p_1, p_p, \beta_0, \beta_1, \beta_q$ – koeficientai;

X_t – nepriklausomas kintamasis; U_t – modelio paklaidos.

Pagal jau minėtas Gauso – Markovo paklaidas įvertinus modelį, naudojant (3.8) formulę apskaičiuojamas ilgojo laikotarpio nepriklausomojo kintamojo poveikis priklausomam kintamajam:

$$\frac{\beta_0 + \beta_1 + \dots + \beta_q}{1 - (p_1 + \dots + p_p)} \quad (3.8)$$

Apskaičiavus trumpojo ir ilgojo laikotarpio poveikius ir įvertinus COVID-19 įtaką atliekamas tyrimo apibendrinimas.

4. COVID-19 įtakos elektros energijos kainoms Lietuvoje empirinis tyrimas

Magistro baigiamajame projekto 1 ir 2 dalyse analizuojami ir teoriniais pagrindais grindžiami tyrimo dalyje naudojami makroekonominiai rodikliai, kurių skaitinės reikšmės skirtingose socialinių mokslų studijose yra naudojamos, kaip nepriklausomieji kintamieji, galimai lemiantys elektros energijos kainą didmeninėje rinkoje. Siekiant sudaryti ekonometrinius prognozavimo modelius, darbe atliekamas kintamųjų tikrinimas, ar jie yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį, tikrinamas kintamųjų stacionarumas. Dėl šių priežasčių naudojama 3 metų mėnesinė statistika: nuo 2019 metų sausio mėn. iki 2021 metų birželio mėn., kada buvo atšauktas visuotinis karantinas Lietuvoje.

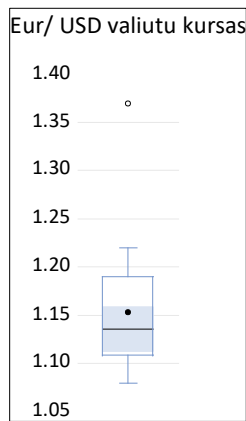
4.1 Rodiklių tinkamumo tyrimui, stacionarumo įvertinimas

Prieš pradėdant pasirinktų kintamųjų laiko eilučių naudojimą sudarant ekonometrinius duomenis, labai svarbu nustatyti ar duomenys tenkina svarbiausius reikalavimus statistiniams duomenims. Tokiu tikslu darbe atliekamas duomenų normalumo įvertinimas. Anot Balabonienės, Bliekienės ir Stundžienės (2013), dauguma klasikinių statistinių teiginių galioja tada, kai atsitiktinis kintamasis yra normalus arba beveik normalus. Normaliuoju skirstiniu yra laikomas intervalinis rodiklis, pasiskirstęs pagal Gauso dėsnį. Normaliuoju skirstiniu įprastai laikomas dydis, kurio paskaičiuotoji tikimybė p yra didesnė už pasiklivimo lygmenį $\alpha = 0,05$. Projekte naudojamų kintamųjų tikimybių reikšmės pateikiamos 12 lentelėje:

12 lentelė. Kintamųjų tikimybės

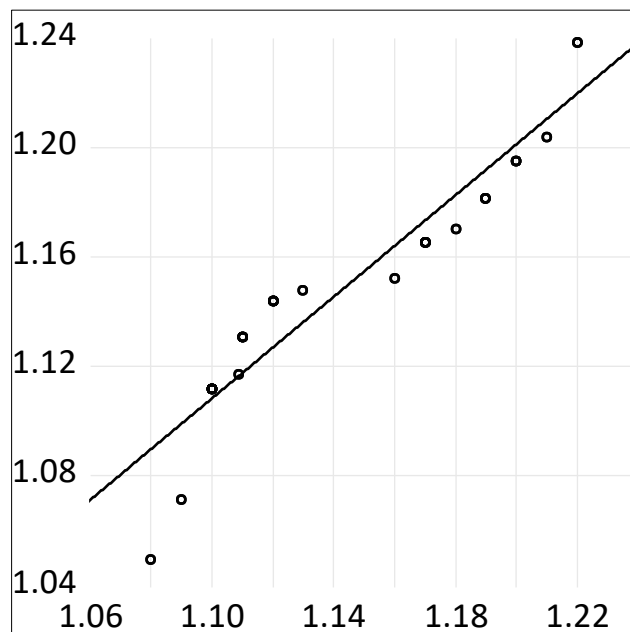
Rodiklis	Elektros energijos kaina Eur/MWh	Galutinis Elektros energijos suvartojimas Lietuvoje MWh	Brent naftos barelio kaina dol/barelis	Metinė infliacija	Vidutinė mėnesio temperatūra	Dujų importo kaina Eur/MWh	EUR/USD valiutų kursas
Jarque-Bera statistikos reikšmė	3,951	1,612	3,444	1,674	1,379	0,901	23,863
Tikimybė, p	0,138	0,446	0,178	0,432	0,501	0,637	0,000

Pagal gautas Jarque ir Bera kriterijaus reikšmes ir tikimybes p , teigtina, kad nepriklausomojo kintamojo Eur/USD valiutų kurso reikšmės nėra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį, kadangi jo $p < \alpha = 0,05$, t.y. Jarque ir Bera kriterijaus tikimybės reikšmė yra mažesnė už pasiklivimo lygmens reikšmę. Visų kitų analizuojamų rodiklių reikšmės yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį ir tenkina duomenų normalumo kriterijų. Vieno iš rodiklių reikšmėms nesant pasiskirsčius pagal normalųjį skirstinį, vienas iš galimų sprendimo variantų yra išskirčių nustatymas. Anot Balabonienės, Bliekienės ir Stundžienės (2013) išskirtys rodo, kad duomenyse yra nereguliarių duomenų arba klaidų, o modelis sudarytas naudojant duomenis turinčius išskirčių nėra patikimas. Anot autorių, nustatyti ar yra išskirčių padeda stačiakampė diagrama, kuri padeda tiriant skirstinio simetriškumą. Išskirtimi įprasta vadinti duomenis, mažesnius už $(Q_1 - 3IQR)$ arba didesnius už $(Q_3 + 3IQR)$. Nepriklausomojo kintamojo Eur/USD dolerio kursas stačiakampė diagrama pavaizduota 11 paveiksle:



11 pav. Eur/USD valiutų kurso išskirtys (Sudarė autorius, naudojant EViews 12)

Apibendrinus stačiakampę diagramą, pastebėtina, kad už trečiojo kvartilio (Q_3) pastebėta išskirtis. Detaliau analizuojant rodiklio stebinių laiko eilutę, pastebėta, kad pirmųjų trijų laikotarpių stebiniai turi žymias išskirtis (reikšmės yra atitinkamai 1,37 ir 1,36), todėl jų šalinimas rodiklio reikšmės galimai priartintų prie normaliojo skirstinio. Toliau pašalinus išskirtis, galima analizuoti kintamojo kvantilių grafiką, parodantį skirstinio kvantilių nuokrypį nuo standartinio normaliojo skirstinio.



12 pav. Eur/USD valiutų kurso kvantilių grafikas (Sudarė autorius, naudojant EViews 12)

Apibendrinus 12 pav., galima teigti, kad dabar nepriklausomojo kintamojo skirstinys yra beveik normalus, kadangi jo kvantiliai yra netoli tiesės su standartiniu normaliuoju skirstiniu. Apskaičiavus šio, be išskirčių esančio, rodiklio reikšmių Jarque-Bera statistikos tikimybę, gaunama, kad $p = 0,256$. Kadangi apskaičiuotoji statistikos tikimybė yra $p > 0$, priimama H_0 hipotezė, darytina išvada, kad skirstinys yra normalus.

Toliau šiame tyrime atliekamas kintamųjų stacionarumo įvertinimas. Anot Boguslausko ir Bliekienės (2012), atsitiktinis procesas yra stacionarus, jei jo vidurkis, dispersija ir autokovariacija išlieka tie patys, nepaisant to, kada jie yra matuojami. Atsižvelgiant į tai, stacionariame procese neturi būti trendo (vidurkis turi būti pastovus), egzistuoja pastovi ir nepriklausanti nuo laiko dispersija, procesas pasižymi autokoreliacine struktūra, kurioje nėra sezoniškumo. Laiko eilučių stacionarumas toliau vertinamas vienetinių šaknų metodu, naudojant išplėstojo Diko ir Fulerio kriterijų ir yra pateikiamas

13 lentelėje. Pastebėtina, kad išplėstojo Diko ir Fulerio kriterijaus tikimybė neturi viršyti pasiklovimo lygmens α , kuris yra 0,05 (žr. 13 lentelę). Detalesni stacionarumo įvertinimo rezultatai pateikiami 2 priede.

13 lentelė. Kintamųjų stacionarumo įvertinimas

Laiko eilutės reikšmės	Modelis			Laiko eilutės integruotumas
	Be poslinkio ir trendo	Su poslinkiu	Su poslinkiu ir trendu	
Elektros energijos kaina				I(1)
Nediferencijuotos	0,76	0,789	0,94	
Diferencijuotos 1 kartą	0,001	-	-	
Galutinis elektros energijos suvartojimas				I(1)
Nediferencijuota	0,32	0,16	0,42	
Diferencijuotos 1 kartą	0,001	-	-	
Brent naftos barelio kaina				I(1)
Nediferencijuota	0,68	0,65	0,94	
Diferencijuotos 1 kartą	0,000	-	-	
Metinė infliacija				I(1)
Nediferencijuota	0,71	0,76	0,91	
Diferencijuotos 1 kartą	0,002	-	-	
Vidutinė mėnesio oro temperatūra				I(1)
Nediferencijuota	0,5	0,37	0,68	
Diferencijuotos 1 kartą	0,009	-	-	
Dujų importo kaina				I(1)
Nediferencijuota	0,53	0,68	0,96	
Diferencijuotos 1 kartą	0,01	-	-	
Eur/USD valiutų kursas				I(1)
Nediferencijuota	0,81	0,67	0,25	
Diferencijuotos 1 kartą	0,000	-	-	

Apibendrinus išplėsto Diko Fulerio testo rezultatus, galima teigti, kad visi kintamieji yra pirmos eilės integruoti procesai. Visoms laiko eilutėms, prie pradinių reikšmių nebus stacionariomis pridėjus ir poslinkį ir trendą, jos buvo diferencijuotos. Visas laiko eilutes diferencijavus ir nepridėjus nei poslinkio nei trendo buvo pasiektas stacionarumas ir išplėstojo Diko ir Fulerio testo tikimybė tenkino stacionarumo sąlygą. Taigi, galima teigti, kad visų darbe naudojamų kintamųjų reikšmių vidurkiai ir dispersijos yra pastovūs dydžiai, o rodikliai yra tinkami tolesnei analizei.

4.2 Kintamųjų koreliacinė analizė ir priežastinių ryšių tarp kintamųjų vertinimas

Toliau darbe siekiant išsiaiškinti darbe naudojamų kintamųjų tiesinio ryšio egzistavimą ir ryšio stiprumą, naudinga apskaičiuoti tiesinės koreliacijos koeficientus.

Pirsono koreliacijos koeficiento reikšmingumas yra vertinamas pagal t (*Stjudento*) kriterijų, įprastai vertinant, kad šio koeficiento Stjudento kriterijaus tikimybės reikšmė yra mažiau arba lygu už reikšmingumo lygmenį $\alpha = 0,05$. Pirsono koreliacijos koeficientai ir jų Stjudento kriterijaus tikimybės pateikiamos 14 lentelėje.

14 lentelė. Kintamųjų koreliacinė analizė

Koreliacijos koeficientas ir Stjudento kriterijaus tikimybė	Elektros energijos kaina Eur/MWh	Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje MWh	Brent naftos barelio kaina dol/barelis	Metinė infliacija	Vidutinė mėnesio temp.	Dujų importo kaina Eur/MWh	Eur/USD valiutų kursas
Elektros energijos kaina Eur/MWh	1,00 -						
Galutinis Elektros energijos suvartojimas Lietuvoje MWh	0,380 0,050	1,00 -					
Brent naftos barelio kaina dol/barelis	0,342 0,086	0,290 0,149	1,00 -				
Metinė infliacija	0,042 0,837	-0,097 0,634	0,284 0,159	1,00 -			
Vidutinė mėnesio temperatūra	0,280 0,165	-0,4387 0,024	0,034 0,868	0,290 0,149	1,00 -		
Dujų importo kaina Eur/MWh	0,311 0,121	0,467 0,015	0,408 0,038	-0,007 0,970	-0,361 0,069	1,00 -	
Eur/USD valiutų kursas	-0,186 0,361	0,066 0,746	0,272 0,178	0,019 0,924	-0,008 0,662	0,097 0,634	1,00 -

Analizuojant Pirsono tiesinės koreliacijos ir jo Stjudento kriterijaus rezultatus, galima teigti, kad labai stiprios, stiprios ar vidutinės tiesinės koreliacijos neegzistuoja nei tarp vienos kintamųjų poros. Apibendrinus priklausomojo kintamojo – elektros energijos kainų koreliacinę matricą, H_0 hipotezę ($p < \alpha$), galima atmesti nagrinėjant silpną ryšį su elektros energijos vartojimu, kada tiesinė koreliacija su kitais nepriklausomais kintamaisiais yra silpna arba labai silpna ir nereikšminė ir H_0 hipotezė yra patvirtinama. Nagrinėjant elektros energijos vartojimo koreliacinę eilutę pastebėtina, kad elektros energijos vartojimo stebiniai silpnai tiesiškai koreliuoja ne tik su elektros energijos kainomis, bet ir neigiamai tiesiškai su vidutine mėnesio oro temperatūra ir teigiamai tiesiškai su dujų kainomis. Tai galimai paaiškintina sezonine oro temperatūros įtaka, kuomet vasaros mėnesiais elektros energijos vartojimas tikėtina, kad sumažėja, o žiemos mėnesiais padidėja. Importuojamų dujų kainos ir elektros energijos koreliacija, esanti pati stipriausia šioje matricoje galimai aiškinama vartotojų nuotaikomis, kadangi šie rodikliai tarpusaviai susiję yra elektros energijos gamybos atžvilgiu. Kadangi ši koreliacinė analizė parodo tiesinio ryšio egzistavimą, ji nėra pakankama priežastingumui nustatyti, todėl toliau darbe atliekamas priežastingumo įvertinimas.

Siekiant vėliau sudaryti reikšminį regresijos modelį ir analizuojant priklausomo ir nepriklausomųjų kintamųjų priežastingumą, yra atliekamas Granger priežastingumo testas, kurio pagalba analizuojama, ar nepriklausomi kintamieji lemia priklausomą kintamąjį (elektros kainas). Granger priežastingumo testas parodo ar yra uždelstas veikimas. Jeigu uždelsto veikimo nėra, laiko eilutėje nėra reikšmingo ryšio. Nors Granger priežastingumo testas rodo tik statistinį informatyvumą, įprastai jis atliekamas į abi puses, siekiant paaiškinti, kuris kintamasis yra naudingas prognozuoti kitą kintamąjį.

Kvedaras (2005) išskiria pagrindinius Granger priežastingumo trūkumus:

1. Granger yra statistinis informatyvumas, o ne loginis priežastingumas, galintis atsirasti, dėl trečios priežasties. Dėl to Granger priežastingumas ekonominėms išvadoms pagrįsti naudojamas atsargiai.
2. Išvados apie Granger priežastingumą yra jautrios aibės struktūrai, t.y. kintamųjų įtraukimui į VAR modelį.
3. Granger priežastingumo išvados yra jautrios duomenų dažnumui ir aibės struktūrai.
4. Vėlavimo eilės parinkimas įtakoja išvadas apie Granger priežastingumą.

15 lentelė. Elektros energijos kainos ir nepriklausomųjų kintamųjų Granger priežastingumo įvertinimas

Sąlyga	Nepriklausomojo kintamojo vėlinimai					
	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6
Elektros energijos vartojimas lemia elektros energijos kainas.	0,53	0,02	0,13	0,29	0,26	0,15
Brent naftos kaina lemia elektros energijos kainas.	0,44	0,63	0,66	0,43	0,44	0,58
Metinė infliacija lemia elektros energijos kainas.	0,94	0,34	0,74	0,8	0,74	0,76
Vidutinė oro temperatūra lemia elektros energijos kainas.	0,61	0,15	0,31	0,17	0,3	0,15
Importuojamų dujų kaina lemia elektros energijos kainas.	0,26	0,22	0,28	0,3	0,6	0,39
Eur/USD valiutos kursas lemia elektros energijos kainas.	0,06	0,11	0,17	0,36	0,54	0,52

Apibendrinus Granger priežastingumo testo rezultatus galima teigti, kad po mėnesio elektros energijos vartojimo statistika reikšmingai lemia didmenines elektros energijos kainas. Dėl didelio reikšmingumo lygmens (95 %), nereikšmine įtaka laikomos dujų kainos, Eur/USD valiutų kursų, vidutinės oro temperatūros duomenys, kurių Granger priežastingumo testo tikimybės yra atitinkamai 0,22, 0,06, 0,15. Detalesni Granger priežastingumo testo įvertinimai pateikiami 3 priede.

Kadangi atlikus koreliacinę analizę buvo pastebėta, kad elektros energijos vartojimo duomenys reikšmingai koreliuoja su importuojamų dujų kainų ir oro temperatūros duomenimis. Tam, kad išnagrinėti ar yra galimas priežastinis ryšys, dar kartą atliktas Granger priežastingumo testas siekiant patvirtinti priežastingumo egzistavimą, arba jį paneigti.

16 lentelė. Importuojamųjų dujų kainos ir nepriklausomųjų kintamųjų Granger priežastingumo įvertinimas

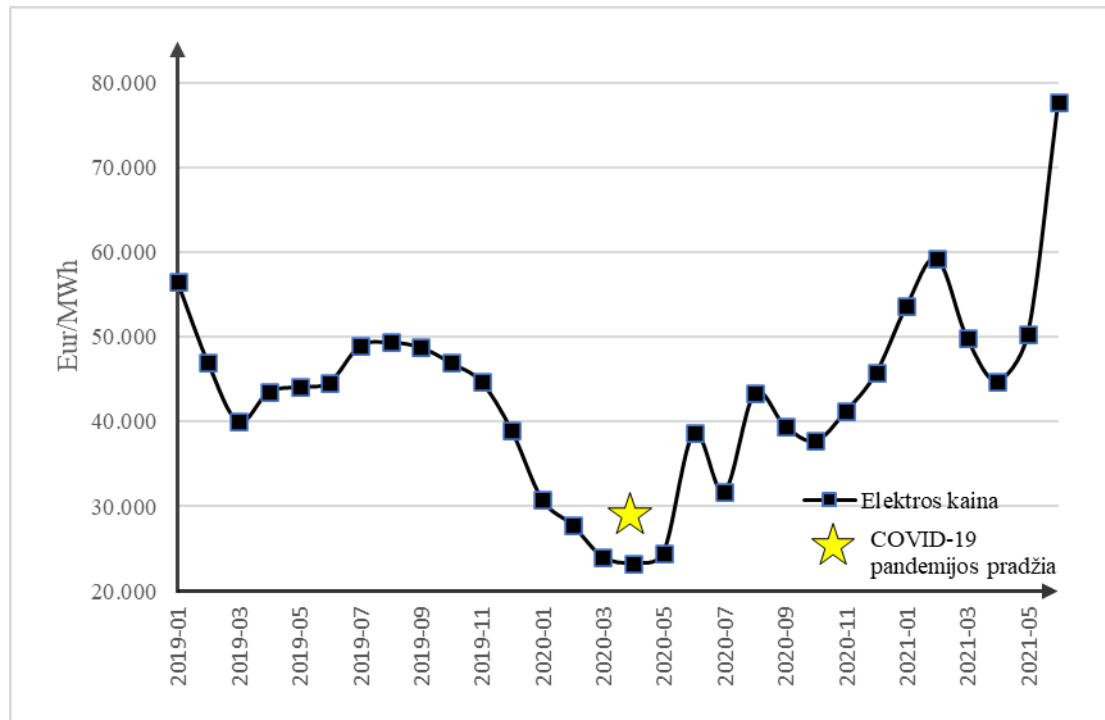
Sąlyga	Nepriklausomojo kintamojo vėlinimai					
	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6
Importuojamų dujų kaina lemia elektros energijos vartojimą.	0,31	0,26	0,11	0,06	0,09	0,26
Vidutinė oro temperatūra lemia elektros energijos vartojimą.	0,29	0,15	0,11	0,22	0,19	0,42

Apibendrinus importuojamųjų dujų kainos, vidutinės mėnesio oro temperatūros Granger priežastingumo testą su elektros energijos vartojimo statistika darytina išvada, kad nėra reikšmingo priežastingumo tarp minėtų nepriklausomų kintamųjų. Galima teigti, kad nors rodikliai koreliaciniėje analizėje reikšmingai koreliavo, priežastingumo ryšio tarp jų nėra.

Granger priežastingumo testas patvirtino, kad elektros energijos vartojimo duomenys reikšmingai koreliuoja ir turi statistinį priežastingumą elektros energijos kainoms. Kadangi į regresijos modelius, skirtus įvertinti koronaviruso pandemijos sukeltą poveikį elektros kainoms, bus įtraukiama tik po 1 nepriklausomąjį kintamąjį (antras kintamasis susijęs su COVID-19 poveikio įrodymu, vadinamas netikrasis kintamasis), kintamiesiems nėra aktuali daugiakolinarumo problema.

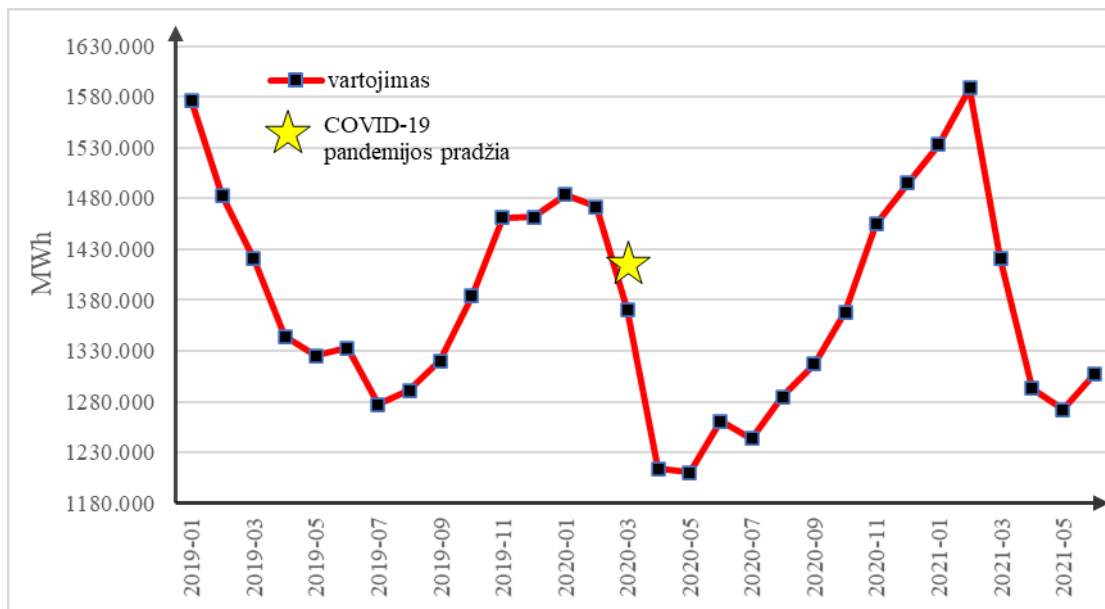
4.3 COVID-19 poveikio elektros kainoms tyrimo rodiklių analizė

Kadangi nustatyta, kad reikšminę tiesinę koreliaciją ir Granger priežastingumą elektros energijos vartojimas ir elektros energijos kainos, prieš tikrinant šių rodiklių kointegraciją ir kuriant regresijos modelius, galima išanalizuoti šių dviejų rodiklių linijinius grafikus.



13 pav. Elektros energijos kaina Lietuvoje 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, remdamasis litgrid.eu)

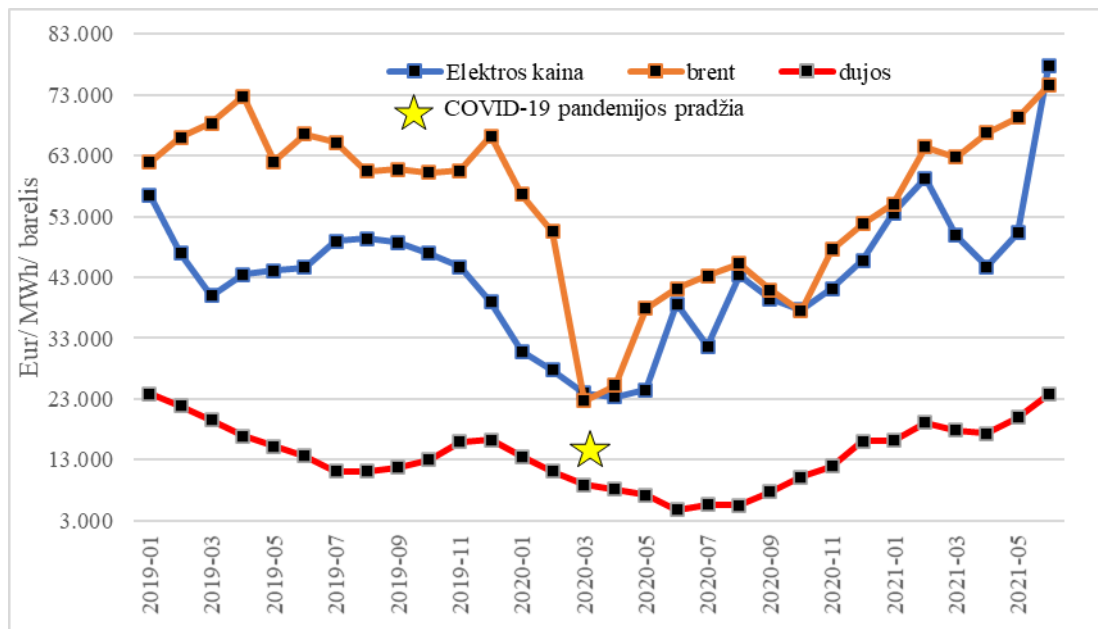
Iš 13 pav. galima teigti, kad elektros energijos kaina Lietuvoje yra reikšmingai susijusi su elektros energijos kainos savybėmis, aprašytoms teorinėje darbo dalyje – elektros kaina yra linkusi grįžti į savo vidurkį. Kadangi darbo tikslas yra analizuoti koronaviruso pandemijos poveikį elektros kainoms, pastebėtina, kad žvaigždute pažymėta COVID-19 pradžia sutapo su šio laikotarpio mažiausiomis elektros energijos kainomis – 2020 m. kovo ir balandžio mėnesiais kaina atitinkamai buvo lygi vidutiniškai 24 Eur/MWh, 23,31 Eur/MWh. Atitinkamai švelnėjant karantino ribojimams ir šalies ekonomikai grįžtant į priešpandeminį lygį, paskutinis pandemijos mėnuo, kuomet buvo įvestas visuotinis karantinas žymėjo vidutiniškai didžiausias kainas visame nagrinėjamame laikotarpyje.



14 pav. Elektros energijos vartojimas Lietuvoje 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)

Analizuojant elektros energijos vartojimo mėnesinę statistiką Lietuvoje (14 pav.), pastebėtina, kad koronaviruso pandemijos sukulto visuotinio karantino pradžia taip pat žymi ryškų grafiko padalijimą į dvi dalis, o sekančius 2 mėnesius po paskelbto karantino (karantinas paskelbtas 2020 m. kovo 11 d.), elektros energijos vartojimas buvo žemiausias per visą nagrinėjamą laikotarpį. Nors karantino paskelbimo mėnesį elektros energijos vartojimas buvo vis dar sąlyginai aukštas, elektros vartojimo kritimas buvo stebimas iš esmės 2 mėnesius, o tai gali reikšti, kad elektros energijos vartojimo įtaka elektros kainoms gali turėti uždelstą poveikį. Analizuojant grafiko pusę, apibūdinančią 2021 metų dinamiką, pastebėtina, kad skirtingai, negu elektros energijos kaina, elektros vartojimo rodikliai ženkliai smuko. Šiuo atveju, tikėtina, kad tam didesnę įtaką darė ženklus infliacijos, brent naftos kainos, importuojamų dujų kainos augimas. Iš esmės galima teigti, kad COVID-19 pandemijos sukeltas visuotinis karantinas padarė reikšminę įtaką abiem rodikliams, todėl, tikėtina bus sukurtas reikšminis regresijos modelis, siekiant nustatyti trumpojo ir ilgojo laikotarpių poveikius.

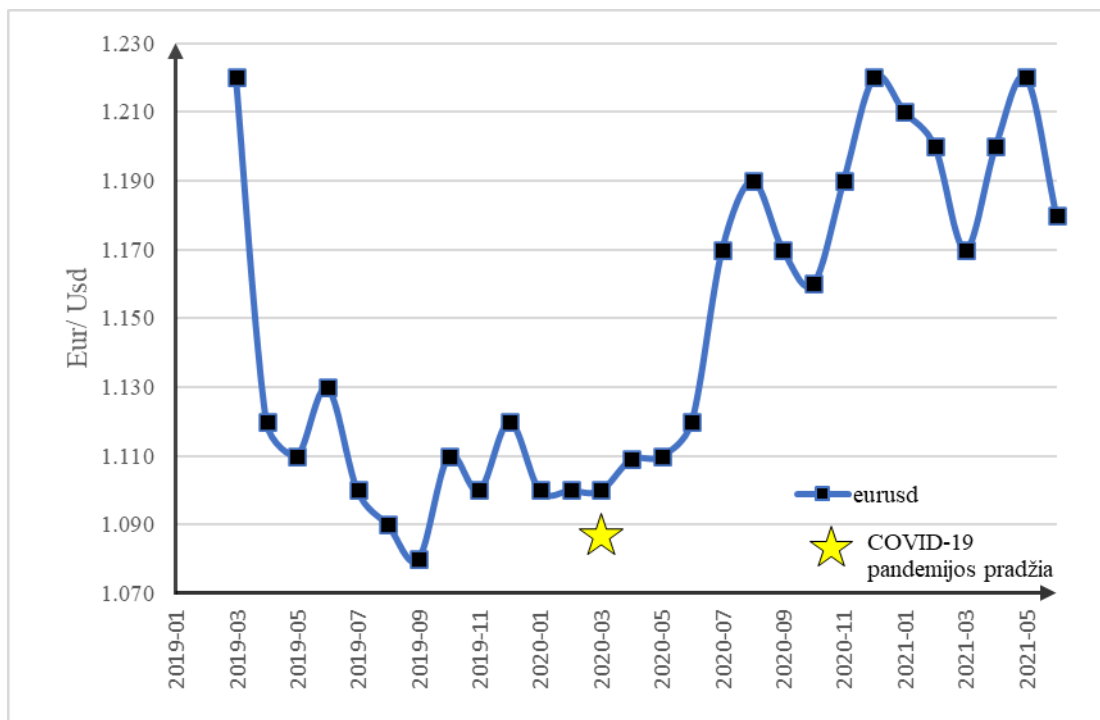
Nors Granger priežastingumas ir koreliacinė analizė neparodė koreliacijos arba priežastinių ryšių tarp brent naftos kainos, importuojamų dujų kainos ir elektros energijos kainų, galima nagrinėti, sąsajas tarp minėtų rodiklių. Analizuojant 15 pav. pastebėtina, kad brent naftos kainos grafikas kinta ypač panašiai, lyginant su elektros energijos kainos kitimo grafiku. Tuo tarpu importuojamų dujų kainos grafikas, neturintis didelių svyravimų ar smailių, iš esmės, turi panašų trendą, kaip ir minėti du grafikai. Nors dujų žaliavos kainos turi daug didesnę tiesioginę įtaką elektros energijos kainoms, brent naftos kaina yra laikoma ne tik paprastos žaliavos kaina, tačiau bendrai tai yra ir vienas svarbiausių pasaulio ekonomiką apibūdinančių rodiklių. Naftos kaina ypač lemia transporto, paslaugų sektoriaus veiklą, o šie sektoriai yra vieni iš esminių iliustruojančių žmonių judumą ir mobilumą.



15 pav. Elektros energijos kainų, brent naftos kainos, importuojamų dujų kainų palyginimas Lietuvoje 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, pagal skirtingus šaltinius)

Apibendrinus 15 pav., galima teigti, kad analizuoti brent naftos kainos, importuojamų dujų kainos, elektros energijos kainos rodikliai, iš esmės turi panašų tendą visos pasirinktos laiko eilutės metu. Toliau tyrimo metu naudinga analizuoti šių kintamųjų porų kointegraciją tam, kad įvertinti šių nepriklausomų kintamųjų poveikį elektros energijos kainoms.

Kadangi Eur/USD valiutų kursas koreliacinėje analizėje taip pat buvo arti reikšminio tiesinio ryšio su priklausomu kintamuoju, svarbu išanalizuoti COVID-19 poveikį šiam nepriklausomam kintamajam žr. 16 pav.:



16 pav. Eur/USD valiutų kurso dinamika 2019 m.-2021 m. birželio mėn. (Sudarė autorius, remdamasis Litgrid, 2021)

Analizuojant 16 pav. duomenis pastebėtina, kad taip pat, kaip ir 13 pav., elektros energijos kainų atžvilgiu pastebėtinas esminis grafiko dalijimas į dvi dalis – iki koronaviruso pandemijos sukeltų karantinų pradžios ir per juos. Iš esmės, nors Eur/USD kursas yra įtakojamas išskirtinai daug skirtingų veiksnių, galima pastebėti, kad Eur/USD kaina į koronaviruso pandemijos lygmenį jau buvo nukritusi lygiai prieš metus ir jos paskutinių, prieš pandemiją metų vidurkis buvo beveik toks pats, koks pirmaisiais koronaviruso pandemijos mėnesiais. Galima teigti, kad nors Eur/USD valiutų kursas turi panašius trendus kaip ir elektros energijos kainos statistika, taip pat svarbu analizuoti šių rodiklių kointegraciją, tam kad sužinoti ar įmanoma sukurti reikšminius regresijos modelius tarp jų.

4.4 COVID-19 įtakos kintamiesiems vertinimas, regresinė analizė

Siekiant įvertinti galimai uždelstą poveikį priklausomam kintamajam, tyrime bus naudojami kintamieji, kurių koreliacija su priklausomu kintamuoju buvo nereikšminė. Dėl tos priežasties, su šiais kintamaisiais bus siekiama sukurti autoregresijos paskirstyto vėlinimo modelius įtraukiant reikšmių vėlinimus. Pabrėžtina, kad, nors Granger priežastingumo testui neparodžius priežastingumo, toliau bus taip pat siekiama sudaryti regresijos modelius ir su kintamaisiais, kurie neturėjo Granger priežastingumo su priklausomu kintamuoju. Kadangi tyrimo tikslas yra įvertinti COVID-19 poveikį elektros energijos kainoms, o ne ištirti priežastinius ryšius tarp kintamųjų, dėl Granger priežastingumo testo negalėjimo parodyti itin trumpo laiko pokyčių, toliau bus naudojami ir kintamieji, neturintys Granger priežastingumo priklausomam kintamajam.

Kuriant regresijos modelius, vertinant jų ryšius ir nepriklausomųjų kintamųjų poveikį priklausomajam kintamajam bus naudojami šie žymėjimai:

17 lentelė. Kintamųjų žymėjimas formulėse

Kintamasis	Žymėjimas formulėse, EViews 12 sistemoje
Didmeninė elektros energijos kaina Lietuvoje	el_k
Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje	vartojimas
Brent naftos barelio kaina	brent
Metinė infliacija	infl
Vidutinė mėnesio temperatūra	temp
Dujų importo kaina Eur/MWh	dujos
EUR/USD valiutų kursas	eurusd

4.4.1 Elektros energijos vartojimo poveikio elektros energijos kainoms analizė

Kadangi iki šiol tyrimo metu nustatyta, kad vienintelė priklausomojo ir nepriklausomojo kintamojo pora, tarp elektros energijos vartojimo ir elektros energijos kainų, turi reikšminę tiesinę koreliaciją ir elektros energijos vartojimas turi Granger priežastingumą, elektros energijos kainų atžvilgiu, toliau kuriami modeliai, siekiant nustatyti trumpojo ir ilgojo laikotarpio rezultatus, įvertinant koronaviruso pandemijos įtaką.

Ekonometrijoje dažnai susiduriant su nestacionariomis laiko eilutėmis, tikėtina, kad nestacionarių laiko eilučių regresija gali būti „netikra“. Anot Boguslausko ir Bliėkienės (2012) kuriant tokį regresijos modelį susiduriama su dviem problemomis: 1. Specifikavus modelio lygtį ir išdiferencijavus kintamuosius yra išdiferencijuojamos ir modelio liekamosios paklaidos. Todėl gaunasi, kad liekamųjų paklaidų eilutė gali būti nesimetrinė slankiojo vidurkio atžvilgiu. 2. Išdiferencijavus kintamuosius sudarytas modelis neužtikrina vienareikšmiško ilgojo laikotarpio sprendimo.

Kadangi laiko eilučių stacionarumo tikrinimo metu nustatyta, kad, tiek elektros energijos kainų, tiek elektros vartojimo laiko eilutės tampa stacionariomis, jas diferencijavus, arba, jos yra pirmos eilės integruoti procesai $\sim I(1)$, toliau reikalinga nagrinėti, ar šios dvi laiko eilutės yra kointegruotos.

Atliekant kointegracijos patikrinimą svarbu nustatyti, ar iš šių dviejų laiko eilučių sukurto porinio regresijos modelio liekamosios paklaidos yra stacionarios. Toliau „EViews 12“ sistemoje kuriamas porinis regresijos modelis:

$$El_k = \beta_0 + \beta_1 * \text{Vartojimas}; \quad (4.1)$$

čia El_k – elektros energijos kaina Lietuvoje;

β_0, β_1 – koeficientai;

Vartojimas – elektros energijos vartojimas Lietuvoje.

Įvertinant gautą porinį regresijos modelį pastebėtina, kad sukurtas modelis netenkina porinės regresijos tinkamumo kriterijų, kadangi jo parametrai nėra reikšminiai (t statistikos tikimybė viršija pasiklovimo lygmenį α), todėl sudarytas regresijos modelis nėra reikšminis (Fišerio statistikos tikimybė yra didesnė už pasiklovimo lygmenį α), determinacijos koeficientas yra itin žemas. Atlikus šio modelio liekamųjų paklaidų analizę vienetinių šaknų metodu, pritaikius išplėstąjį Diko ir Fulerio testą, pastebima, kad šio modelio liekamosios paklaidos nėra stacionarios, todėl, šiuo atveju yra priimama H_0 hipotezė – modelio liekamosios paklaidos nėra stacionarios (žr. 18 lentelė):

18 lentelė. Kintamųjų kointegracijos įvertinimas

Modelio parametrų įverčiai	Modelio parametrų t statistikos tikimybė	Fišerio F statistikos tikimybė	Modelio R^2	Išplėstojo Diko ir Fulerio testo tikimybė
$\beta_0 = 3,793$ $\beta_1 = 0,028$	$\beta_0 = 0,888$ $\beta_1 = 0,150$	0,150	0,072	0,559

Apibendrinus 18 lentelę, galima teigti, kad šiuo atveju, elektros energijos kainos ir elektros energijos vartojimo kintamieji nėra kointegruoti, taigi iš esmės negalima įvertinti ilgalaikio nepriklausomojo kintamojo poveikio priklausomajam kintamajam.

Siekiant įvertinti trumpalaikį elektros energijos vartojimo poveikį elektros energijos kainoms, kuriamas porinis regresijos modelis iš diferencijuotų laiko eilučių. Trumpojo laikotarpio (mėnesio) poveikį šiuo atveju iliustruos koeficientas β_1 , esantis prie diferencijuotos elektros energijos vartojimo laiko eilutės:

$$\Delta El_k = \beta_0 + \beta_1 * \Delta \text{Vartojimas}; \quad (4.2)$$

čia ΔEl_k – diferencijuota elektros energijos kaina Lietuvoje;

β_0, β_1 – koeficientai;

$\Delta \text{Vartojimas}$ – diferencijuotas elektros energijos vartojimas Lietuvoje.

Įvertint diferencijuotą porinį regresijos modelį galima teigti, kad modelio parametrai yra reikšminiai (t statistikos tikimybė mažesnė už pasiklovimo lygmenį α), sudarytas modelis yra reikšminis (Fišerio statistikos tikimybė yra mažesnė už pasiklovimo lygmenį α), tačiau modelis nėra labai tikslus. Įvertinus modelio paklaidas pagal Gauso-Markovo prielaidas, galima sakyti, kad modelio paklaidos tenkina normalumo, homoskedastijos, nulinio vidurkio sąlygas, paklaidos nėra autokoreliuotos (žr. 19 lentelę).

19 lentelė. Autoregresijos modelio be COVID-19 įvertinimas

Modelis	Modelio parametrų įverčiai	Kintamųjų t statistikos tikimybė	Fišerio F statistikos tikimybė	Modelio R^2
Modelis be COVID-19 įtakos	$\beta_0 = 1,170$ $\beta_1 = 0,047$	$\beta_0 = 0,396$ $\beta_1 = 0,024$	0,024	0,173

Analizuojant porinį regresijos modelį ir įvertinant trumpojo laikotarpio poveikį, galima teigti, kad galutiniam elektros energijos vartojimui padidėjus 1 MWh, elektros energijos kaina padidėja 0,047 Eur/MWh.

Kadangi vienas iš magistro baigiamojo projekto tikslų yra įvertinti COVID-19 pandemijos padarinių poveikį elektros energijos kainoms, į regresijos modelį pravartu įtraukti netikrą kintamąjį (angl. *dummy variable*), kuris šiame darbe nagrinėjamą laikotarpį padalins į dvi dalis: nuo 2019 m. sausio mėn. iki 2020 m. vasario mėn. (imtinai), kuomet koronaviruso pandemijos nebuvo ir likusį laikotarpį, kada buvo pradėtos taikyti įvairios pandemijos valdymo priemonės, bei jaučiamas šių priemonių rezonansas. Praktinis šio kintamojo reikšmių pritaikymas atvaizduojamas 20 lentelėje.

20 lentelė. Netikro kintamojo reikšmės

Periodas	Kintamojo reikšmė
2019 m. sausis – 2020 m. vasaris (imtinai)	0
2020 m. kovas – 2021 m. gruodis	1

Toliau yra kuriamas regresijos modelis su 2 nepriklausomais kintamaisiais:

$$\Delta EI_k = \beta_0 + \beta_1 * \Delta Vartojimas + \omega_1 * covid \quad (4.3)$$

čia ΔEI_k – diferencijuota elektros energijos kaina Lietuvoje;

$\beta_0, \beta_1, \omega_1$ – koeficientai;

$\Delta Vartojimas$ – diferencijuotas elektros energijos vartojimas Lietuvoje;

covid – netikras kintamasis.

21 lentelė. Autoregresijos modelio su COVID-19 įtaka reikšmingumo įvertinimas

Modelis	Modelio parametrų įverčiai	Kintamųjų t statistikos tikimybė	Fišerio F statistikos tikimybė	Modelio R^2
Modelis su COVID-19 įtaka	$\beta_0 = -1,824$ $\beta_1 = 0,047$ $\omega_1 = 5,439$	$\beta_0 = 0,344$ $\beta_1 = 0,016$ $\omega_1 = 0,041$	0,010	0,297

Apibendrinus diferencijuotą regresijos modelį su COVID-19 įtaka, galima teigti, kad modelio parametrai yra reikšminiai (t statistikos tikimybė mažesnė už pasikliovimo lygmenį α), sudarytas modelis yra reikšminis (Fišerio statistikos tikimybė yra mažesnė už pasikliovimo lygmenį α), modelis yra **13 % tikslesnis**, negu modelis be COVID-19 įtakos (žr. 20 lentelė). Įvertinus modelio paklaidas pagal Gauso-Markovo prielaidas, galima teigti, kad modelio paklaidos tenkina normalumo, homoskedastijos, nulinio vidurkio sąlygas, paklaidos nėra autokoreliuotos. Galima teigti, kad naudojant šį autoregresijos modelį, galutiniam elektros energijos vartojimui padidėjus 1 MWh, elektros energijos kaina padidėja 0,047 Eur/MWh.

Kadangi 4.3 modelyje iš esmės įvertinta COVID-19 pandemijos laikotarpio įtaka β_0 laisvojo nario kitimui, galima analizuoti, kiek COVID-19 lemia vartojimo įtaką elektros energijos kainoms. Išbandomas regresijos modelis:

$$\Delta El_k = \beta_0 + \beta_1 * \Delta Vartojimas + \omega_1 * covid + \omega_2 * covid * \Delta Vartojimas \quad (4.4)$$

čia ΔEl_k – diferencijuota elektros energijos kaina Lietuvoje;

$\beta_0, \beta_1, \omega_1, \omega_2$ – koeficientai;

$\Delta Vartojimas$ – diferencijuotas elektros energijos vartojimas Lietuvoje;

covid – netikras kintamasis;

Gaunami sukurto regresijos modelio įverčiai:

22 lentelė. Regresijos modelio įverčiai

Modelio parametrų įverčiai	Kintamųjų t statistikos tikimybė	Fišerio F statistikos tikimybė	Modelio R ²
$\beta_0 = -2,178$ $\beta_1 = 0,003$ $\omega_1 = 5,941$ $\omega_2 = 0,058$	$\beta_0 = 0,257$ $\beta_1 = 0,917$ $\omega_1 = 0,026$ $\omega_2 = 0,182$	0,012	0,346

Kadangi kintamasis covid kintamasis yra reikšminis, o kintamasis covid * $\Delta Vartojimas$ nėra reikšminis, galima teigti, kad COVID-19 laikotarpis reikšmingai paveikė elektros energijos dalį, nepriklausančią nuo vartojimo. Šiuo atveju galima teigti, kad vartojimo įtaka elektros energijos kainai reikšmingai nepasikeitė atsiradus COVID-19. Iš esmės, jeigu atsiradus COVID-19 pandemijai elektros energijos vartojimas būtų lygus 0, elektros energijos kaina vis tiek didėtų 5,94 Eur/ MWh ir ją lemtų elektros kainos dalis nepriklausanti nuo elektros energijos vartojimo.

Apibendrinant galima teigti, kad bendroju laikotarpiu elektros energijos vartojimas turi reikšminę įtaką elektros energijos kainoms. Į modelį įtraukus COVID-19 poveikį elektros energijos vartojimui, nustatyta, kad COVID-19 poveikis neturi reikšminės įtakos elektros energijos vartojimui, tačiau reikšmingai lemia ne nuo vartojimo priklausančią elektros energijos kainos dalį. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad įvedus COVID-19 nepriklausomąjį kintamąjį, duomenų imtis buvo padalinta į dvi dalis. Kadangi laikotarpiui po COVID-19 iš esmės lieka tik 16 stebinių, galimai imtis yra per maža ir šiam ryšiui nustatyti reikalingos mažesnio periodiškumo laiko eilutės, arba daugiau stebinių.

Kadangi šiame žingsnyje naudoti kintamieji nėra kointegruoti, neįmanoma nustatyti ilgalaikio ryšio tarp jų, taigi autoregresijos paskirstyto vėlinimo modelis šiuo atveju nebus kuriamas.

Toliau tyrime bus analizuojamos kintamųjų poros, neturinčios nustatytos tiesinės koreliacijos ar Granger priežastingumo su priklausomu kintamuoju. Tam, kad sukurti patikimą autoregresijos paskirstyto vėlinimo modelį (toliau – ARDL modelį) ir įvertinti šių rodiklių dinamiką ir poveikį elektros energijos kainoms COVID-19 pandemijos metu, naudinga įvertinti visų likusių kintamųjų porų kointegraciją su priklausomu kintamuoju. Nustačius, kad kintamieji yra kointegruoti galima kurti ARDL modelį, skirtą įvertinti trumpo ir ilgo laikotarpio poveikius priklausomam kintamajam. Kintamųjų kointegracijos įvertinimas atvaizduojamas 23 lentelėje:

23 lentelė. Kintamųjų kointegracijos įvertinimas

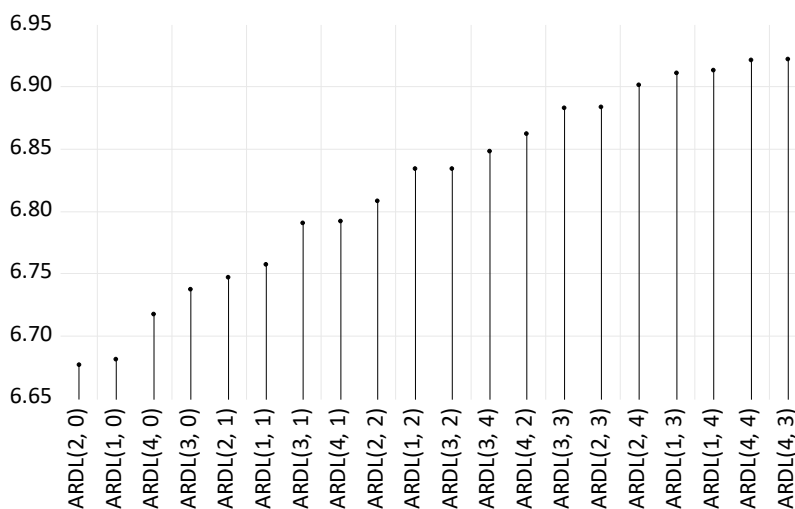
Priklausomas kintamasis	Nepriklausomas kintamasis	Porinės regresijos modelio liekamųjų paklaidų Diko ir Fulerio testo tikimybė	x ir y kointegracija
Elektros energijos kaina Eur/MWh	Galutinis Elektros energijos suvartojimas Lietuvoje MWh	0,559	Nekointegruoti
	Brent naftos barelio kaina dol/barelis	0,010	Kointegruoti
	Metinė infliacija	0,146	Nekointegruoti
	Vidutinė mėnesio temperatūra	0,299	Nekointegruoti
	Dujų importo kaina Eur/MWh	0,041	Kointegruoti
	Eur/USD valiutų kursas	0,189	Nekointegruoti

Apibendrinus kointegracijos įvertinimo rezultatus, galima teigti, kad brent naftos barelio kaina ir dujų importo kaina yra kointegruoti su nepriklausomu kintamuoju, tai reiškia, kad tarp šių kintamųjų porų egzistuoja tikra regresija.

4.4.2 Brent naftos kainos poveikio elektros energijos kainoms analizė

Siekiant įvertinti brent naftos kainos poveikį elektros energijos kainoms Lietuvoje trumpuoju ir ilguoju laikotarpiu, įvertinant COVID-19 poveikį, kuriamas ARDL (p, q) modelis.

Iš pradžių, yra nustatomi ARDL (p, q) modelio laipsniai, t.y. kiek vėlinimų yra tikslinga įtraukti į modelį. P šiame modelyje – priklausomojo kintamojo vėlinimų reikšmė, q – nepriklausomojo kintamojo vėlinimo reikšmės. Tai yra analizuojama, naudojant Akaičės informacinį kriterijų, kurio mažiausia reikšmė yra tinkamesnė modelio kūrimui. Pasirinkus daugiausiai 4 vėlinimus priklausomam ir nepriklausomam kintamajam, pasirinktas ARDL (2, 0) modelis, pagal mažiausią AIC (Akaičės informacinio kriterijaus) reikšmę, žr. 17 paveikslą.



17 pav. Brent naftos kainos, COVID-19 poveikio ir elektros energijos kainų regresijos modelio pasirinkimo rezultatai

Brent naftos kainų ir COVID-19 poveikio elektros energijos kainoms sukurto ARDL (2, 0) modelio rezultatai pateikiami 24 lentelėje:

24 lentelė. ARDL (2,0) modelio rezultatai

Nepriklausomi kintamieji	ARDL (2,0) įverčiai
C	-6,653
El_k(-1)	0,618

El_k(-2)	-0,392
Brent	-0,638
Covid	8,642
Modelio tikslumas (R ²)	0,756
Modelio reikšmingumas (F-statistic tikimybė)	0,000
Paklaidų normalumas (tikimybė)	0,913

Apibendrinus ARDL (2, 0) modelį galima teigti, kad ne visi modelio parametrai yra reikšminiai (El_k(-2) reikšmingumas yra ne 95 %, o 90 %), sudarytas modelis yra reikšminis (Fišerio statistikos tikimybė yra mažesnė už pasikliovimo lygmenį α), modelis yra tikslus 75 %. Įvertinus modelio paklaidas pagal Gauso-Markovo prielaidas, galima sakyti, kad modelio paklaidos tenkina normalumo, homoskedastijos, nulinio vidurkio sąlygas, paklaidos nėra autokoreliuotos.

Įvertinus tokį patį modelį, tačiau be netikro kintamojo „covid“, gaunamas tiek pat reikšmingas, tinkamas prognozavimui (pagal liekamųjų paklaidų prielaidas) modelis, tačiau su „slenksti“ sudarančiu kintamuoju covid modelis yra 10 % tikslesnis. Todėl, galima teigti, kad šis kintamasis turi svarbios įtakos šiam ARDL modeliui. Išanalizavus modelio parametrus, galima teigti, kad **trumpuoju laikotarpiu brent naftos kainai pakilus 1 Eur, elektros energijos kaina už MWh padidėja 0,63 Eur.**

Kadangi brent naftos kaina ir elektros energijos kaina Lietuvoje yra kointegruoti kintamieji, galima įvertinti ilgalaikį naftos kainos pokyčių poveikį elektros energijos kainai. Apskaičiavus ilgalaikį multiplikatorių, galima teigti, kad **ilguoju laikotarpiu brent naftos kainai padidėjus 1 Eur, elektros energijos kaina Lietuvoje padidėja 0,82 Eur/MWh.**

4.4.3 Importuojamų dujų kainos poveikio elektros energijos kainoms analizė

Atlikus importuojamų dujų kainos ir elektros energijos kainų Lietuvoje kointegracijos analizę, nustatyta, kad šie du rodikliai yra kointegruoti. Kointegravimas nustatytas sukūrus porinį regresijos modelį ir įvertinus šio modelio liekamųjų paklaidų stacionarumą. Nustatyta, kad šio modelio liekamosios paklaidos yra stacionarios, todėl egzistuoja reikšminis regresijos modelis tarp šių dviejų rodiklių ir galima nustatyti trumpalaikį ir ilgalaikį importuojamų dujų kainos poveikį elektros kainoms, pridėdant covid poveikio kintamąjį. Kointegracijos tikrinimas atliktas sukūrus regresijos modelį, kurio rezultatai atvaizduojami lentelėje:

$$El_k = \beta_0 + \beta_1 * Dujos; \quad (4.5)$$

čia El_k – elektros energijos kaina Lietuvoje;
 β_0 , β_1 – koeficientai;
dujos – importuojamų dujų kaina Lietuvoje.

25 lentelė. Regresijos modelio tarp importuojamų dujų ir elektros energijos kainos rezultatai

Modelio parametru įverčiai	Modelio parametru t statistikos tikimybė	Fišerio F statistikos tikimybė	Modelio R ²	Išplėstojo Diko ir Fulerio testo tikimybė
$\beta_0 = 23,247$ $\beta_1 = 1,444$	$\beta_0 = 0,000$ $\beta_1 = 0,000$	0,000	0,461	0,041

Importuojamų dujų kaina ir elektros energijos kaina Lietuvoje nėra stacionarūs procesai. Toliau darbe kuriamas ECM modelis, skirtas nustatyti kointegruotų nestacionarių procesų trumpalaikį poveikį:

$$\Delta El_k = \mu + \omega * \Delta dujos + \lambda * dujosresid_{t-1} + e_t \quad (4.6)$$

čia ΔEI_k – elektros energijos kaina Lietuvoje;

μ, ω, λ – koeficientai;

Δ dujos – importuojamų dujų kaina Lietuvoje;

dujosresid_{t-1} – porinio regresijos modelio paklaidos;

e_t – ECM modelio paklaidos.

Įvertinus ECM modelį galima teigti, kad modelio parametrai yra reikšminiai, sudarytas modelis yra reikšminis (Fišerio statistikos tikimybė yra mažesnė už pasiklovimo lygmenį α), modelis yra netikslus (25%) (žr. 26 lentelę).

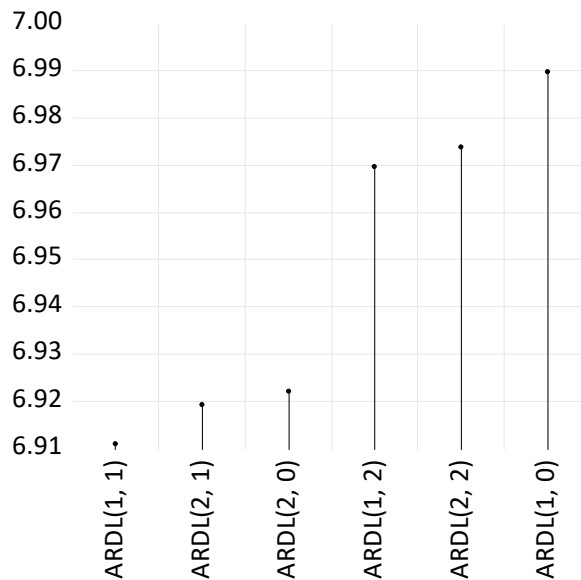
26 lentelė. ECM modelio tarp importuojamų dujų ir elektros energijos kainos rezultatai

Nepriklausomi kintamieji	ECM modelio įverčiai
C	0,420
D(dujos)	2,141
Dujosresid(-1)	-0,453
Modelio tikslumas (R^2)	0,254
Modelio reikšmingumas (F-statistic tikimybė)	0,000

Kadangi ECM modelis yra skirtas trumpalaikio multiplikatoriaus nustatymui, remiantis poveikio multiplikatoriumi ω , galima teigti, kad remiantis šiuo modeliu trumpuoju laikotarpiu importuojamų dujų kainai **pakilus 1 Eur, elektros energijos kaina Lietuvoje turėtų padidėti 2,141 Eur/MWh**. Analizuojant grįžtamojo ryšio parametą λ , galima teigti, kad išėjus iš pusiausvyros prie ilgalaikės perspektyvos grįžtama beveik per 2 mėnesius, o per 1 mėnesį pusiausvyros nebuvimas koreguojamas 45,3 %. Pastebėtina, kad į šį modelį įtraukus netikrą kintamąjį – covid poveikį, modelio tikslumas nepadidėja, tačiau dauguma parametų tampa nereikšminiai. Galima teigti, kad COVID-19 poveikis importuojamų dujų kainos įtakai elektros kainoms nėra reikšminis.

Kadangi buvo įvertintas trumpo laikotarpio ryšys tarp importuojamų dujų kainos ir elektros energijos kainų, galima įvertinti ilgojo laikotarpio nepriklausomo kintamojo poveikį priklausomam kintamajam. Tam yra kuriamas ARDL (p, q) modelis.

Iš pradžių, yra nustatomi ARDL (p, q) modelio laipsniai, t.y. kiek vėlinimų yra tikslinga įtraukti į modelį. Tai yra analizuojama, naudojant Akaikės informacinį kriterijų, kurio mažiausia reikšmė yra tinkamesnė modelio kūrimui. Pasirinkus daugiausiai 2 vėlinimus priklausomam ir nepriklausomam kintamajam, pagal Akaikės informacinį kriterijų, geriausias yra ARDL (1, 1 modelis), žr. 18 paveikslą:



18 pav. Importuojamų dujų kainos ir elektros energijos kainų regresijos modelio pasirinkimo rezultatai
Gauto ARDL (1, 1) modelio parametrų rezultatai pateikiami 27 lentelėje:

27 lentelė. ARDL (1, 1) modelio rezultatai

Nepriklausomi kintamieji	ARDL (1, 1) įverčiai
C	12,161
El_k(-1)	0,540
Dujos	2,113
Dujos (-1)	-1,527
Modelio tikslumas (R ²)	0,639
Modelio reikšmingumas (F-statistic tikimybė)	0,000
Paklaidų normalumas (tikimybė)	0,033

Apibendrinus ARDL (1, 1) modelį galima teigti, kad modelio parametrai yra reikšminiai, sudarytas modelis yra reikšminis (Fišerio statistikos tikimybė yra mažesnė už pasiklivimo lygmenį α), modelis yra tikslus 64 %. Įvertinus modelio paklaidas pagal Gauso-Markovo prielaidas, galima sakyti, kad modelio paklaidos tenkina homoskedastijos, nulinio vidurkio sąlygas, paklaidos nėra autokoreliuotos, tačiau nėra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Dėl šios priežasties šis modelis nėra tinkamas nustatyti ilgalaikį ryšį tarp kintamųjų. Išanalizavus ARDL (2, 1) modelio liekamąsias paklaidas, gauti tinkami rezultatai, modelis yra tinkamas, tikslus ir jo paklaidos tenkina Gauso-Markovo paklaidų prielaidas. Nors dveji modelio parametrai (el_k(-2) ir dujos(-1)) yra nereikšminiai, tai netrukdytų įvertinti ilgalaikio importuojamų dujų kainų poveikio elektros kainoms Lietuvoje. ARDL (2, 0) rezultatai pateikiami 28 lentelėje:

28 lentelė. ARDL (2, 1) modelio rezultatai

Nepriklausomi kintamieji	ARDL (2, 1) įverčiai
C	12,720
El_k(-1)	0,781
El_k(-2)	-0,353
Dujos	1,911
Dujos(-1)	-0,991
Modelio tikslumas (R ²)	0,669
Modelio reikšmingumas (F-statistic tikimybė)	0,000
Paklaidų normalumas (tikimybė)	0,076

Remiantis gautuoju ARDL (2, 1) modeliu, įvertinamas ilgalaikis importuojamų dujų kainų poveikis elektros energijos kainoms. Šiuo atveju ilgalaikis multiplikatorius yra 1,608. Tai iš esmės reiškia, kad

importuojamų dujų kainoms pakilus 1 Eur/MWh, elektros energijos kaina ilguoju laikotarpiu padidėja 1,608 Eur/MWh.

Apibendrinus importuojamų dujų kainų įtaką elektros energijai darytina išvada, kad dėl mažo reikšmingumo, koronaviruso pandemijos poveikis įvertintas nebuvo. Iš esmės COVID-19 pandemiją atvaizduojantis nepriklausomas kintamasis nebuvo naudingas nei modelių, susijusių su importuojamų dujų kainomis ir elektros energijos kaina kūrimui, nei poveikio nustatymui. Darytina išvada, kad trumpuoju laikotarpiu importuojamų dujų kainai pakilus 1 Eur, elektros energijos kaina Lietuvoje turėtų padidėti 2,141 Eur, o ilguoju laikotarpiu elektros energijos kaina padidėja 1,608 Eur/MWh.

Išvados

1. COVID-19 pandemijos sukelti padariniai lėmė staigius paklausos ir pasiūlos pokyčius elektros energijos sektoriuje. Paklausos kitimas iš esmės buvo siejamas su pokyčiais elektros energijos vartojimo kompozicijoje – galutinis elektros energijos suvartojimas 2020 m. II ketv., lyginant su praėjusių metų tuo pačiu ketvirčiu, buvo mažesnis 5,5 %, kai tuo metu elektros energijos vartojimo duomenys pramonės, transporto, paslaugų sektoriuje buvo daugiau nei 10 % mažesni, negu praėjusių metų to pačio ketvirčio metu. 2021 m. II ketv. metu, kai koronaviruso pandemijos valdymo priemonės buvo švelnesnės, buvo stebimas 12 % galutinio energijos suvartojimo padidėjimas, lyginant su praėjusių metų tuo pačiu ketvirčiu. Tuo pat metu pavieniai elektros energijos vartotojų segmentai žymėjo ne mažesnę kaip 6 % prieaugį, išskyrus paslaugų ir transporto sektorius, kurių vartojimas buvo vis dar mažesnis, negu priešpandeminiu laikotarpiu. Elektros energijos pasiūlos pokyčiai iš esmės buvo susiję su atpigusiomis gamtinių dujų žaliavomis, tinkamomis oro sąlygomis, didinant gamybą iš atsinaujinančių energijos išteklių. 2020 m. II ketv. nacionalinė elektros energijos gamyba didėjo net 45 % (lyginant su 2019 m. II ketv.), o didmeninė elektros energijos kaina buvo viena žemiausių nepriklausomos Lietuvos laikotarpiu.
2. Mokslinėje literatūroje atkreipiamas didelis dėmesys COVID-19 pandemijos poveikiui elektros energijos sektoriui. Vienais svarbiausių pandemijos padarinių yra įvardijama ženklus šiltamio dujų emisijos mažėjimas pasaulyje, atsinaujinančių energijos išteklių gamybos didėjimas, padidėję elektros gamybos sektoriaus įmonių kaštai, vėluojantys ir apsunkinti tiek žaliųjų technologijų spartinimo, tiek jau dirbančių jėginių išlaikymo procesai. Koronaviruso pandemijos poveikis elektros energijos kainoms nėra plačiai ištirtas, didesnis dėmesys yra skiriamas kokybiniam elektros energijos vartojimo ir pasiūlos rodiklių sumažėjimo paaiškinimui. Mokslinėje literatūroje dominuoja mašininio mokymo, neuroninių tinklų modeliai, orientuoti į tinkamą elektros kainų prognozavimą. Taip pat mokslinėje literatūroje dominuoja panašūs paklausos ir pasiūlos rodikliai, kuriais remiantis yra analizuojama elektros energijos kaina.
3. Tyrimo metodologijos dalyje išskirti 3 tyrimo etapai, skirti įvertinti koronaviruso pandemijos poveikį elektros energijos kainoms. Pirmiausia nustatyti 6 rodikliai, galimai darantys įtaką elektros energijos kainoms Lietuvoje, atliekama jų analizė ir įvertinamas tinkamumas tyrimui atlikti, taip pat atliekamas jų stacionarumo įvertinimas. 2 etape atliekama kintamųjų koreliacinė analizė bei priežastinių ryšių tarp kintamųjų įvertinimas. Galiausiai, naudojant COVID-19 laikotarpį, kaip netikrą kintamąjį (angl. *dummy variable*) veiksnį, vertinamas pasirinktų rodiklių poveikis elektros energijos kainoms, atliekama regresinė analizė.
4. Tiriamojoje dalyje atliktas COVID-19 poveikio elektros energijos kainoms Lietuvoje empirinis tyrimas. Darbe atlikus koreliacinę analizę, naudojant Pirsono tiesinės koreliacijos koeficientą, nustatyta reikšminė koreliacija tarp elektros energijos kainų ir elektros energijos vartojimo duomenų. Atlikus Granger priežastingumo testą nustatyta, kad elektros energijos vartojimas lemia elektros energijos kainas. Tyrimo metu nustatėms, kad minėtieji rodikliai – elektros energijos kainos ir elektros energijos vartojimo duomenys nėra kointegruoti, buvo įvertintas trumpalaikis elektros energijos vartojimo poveikis elektros kainoms. Sudarius porinį regresijos modelį nustatyta, kad modelis su COVID-19 laikotarpio kintamuoju yra 13 % tikslesnis, negu be COVID-19 įtakos, o iš esmės elektros energijos vartojimui padidėjus 1 MWh elektros energijos kaina po mėnesio padidėja 0,047 Eur/MWh. Tyrimo metu buvo įvertintas ir kitų, neturinčių tiesinės koreliacijos ir Granger priežastingumo, rodiklių poveikis elektros energijos kainoms koronaviruso pandemijos laikotarpiu. Atlikus *brent*

naftos kainos poveikio elektros energijos kainoms analizę nustatyta, kad modelis su COVID-19 kintamuoju taip pat yra tikslesnis, o trumpuoju laikotarpiu *brent* naftos kainai pakilus 1 Eur, elektros energijos kaina padidėja 0,63 Eur/MWh. Atlikus ilgojo laikotarpio *brent* naftos kainos poveikio elektros kainoms analizę nustatyta, kad ilguoju laikotarpiu *brent* naftos kainoms padidėjus 1 Eur, elektros energijos kaina Lietuvoje padidėja 0,82 Eur/MWh.

Tyrimo metu taip pat analizuotas importuojamų dujų kainos poveikis elektros energijos kainoms koronaviruso pandemijos laikotarpiu. Šio tyrimo metu nustatyta, kad COVID-19 dedamoji nėra reikšminė ir nėra tinkama paaiškinti vieno rodiklio poveikį kitam. Iš modelio eliminavus koronaviruso pandemijos kintamąjį nustatyta, kad trumpuoju laikotarpiu importuojamų dujų kainai pakilus 1 Eur, elektros energijos kaina Lietuvoje padidėja 2,141 Eur/MWh, o ilguoju laikotarpiu kaina padidėja 1,608 Eur/MWh.

Literatūros sąrašas/Informaciniai šaltiniai

1. Abadie, L. M. (2021). Energy Market Prices in Times of COVID-19: The Case of Electricity and Natural Gas in Spain. *Energies (Basel)*, 14(6), 1632. <https://doi.org/10.3390/en14061632>
2. Acer (2021) *Didelės energijos kainos, analizė*. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą:https://documents.acer.europa.eu/en/The_agency/Organisation/Documents/Energy%20Prices_Final.pdf
3. Alasali, F., Nusair, K., Alhmoud, L., & Zarour, E. (2021). Impact of the COVID-19 Pandemic on Electricity Demand and Load Forecasting. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 13 (1435). <https://doi.org/10.3390/su13031435>
4. Arya K., Chandrakala K. R. M. (2021). Machine Learning Based Prediction and Forecasting of Electricity Price During COVID-19. *IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON)*. P. 1-6, doi: 10.1109/IPRECON52453.2021.9640701.
5. Balabonienė, I., Bliedienė, R. ir Stundžienė, A. (2013). *Ekonometrija. Praktinis regresijos ir laiko eilučių modelių taikymas*. Kaunas: Technologija.
6. Bahmanyar, A., Estebarsari, A., & Ernst, D. (2020). The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy Research & Social Science*, 68, 101683. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101683>
7. Beigaitė, R., Krilavičius, T., & Man, K.L. (2017). Electricity Price Forecasting for Nord Pool Data. *2018 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, 1-6.
8. Beigaitė, R., Krilavičius, T. (2018). Electricity Price Forecasting for Nord Pool Data Using Recurrent Neural Networks. *CEUR Workshop proceedings: IVUS 2018*. Vol. 2145, p. 75-78.
9. Birol, F. (2020). The coronavirus crisis reminds us that electricity is more indispensable than ever, International Energy Agency, Paris, [žiūrėta 2021-02-13] Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/commentaries/the-coronavirus-crisis-reminds-us-that-electricity-is-more-indispensable-than-ever>
10. Bompard E, Mosca C, Colella P, Antonopoulos G, Fulli G, Masera M, Poncela-Blanco M, Vitiello S. The Immediate Impacts of COVID-19 on European Electricity Systems: A First Assessment and Lessons Learned. *Energies*. 2021; 14(1):96. <https://doi.org/10.3390/en14010096>
11. Bobinaitė, V., Konstantinavičiūtė, I., & Lekavičius, V. (2012). Theoretical model for electricity market price forecasting. *Ekonomika Ir Vadyba (Kauno Technologijos Universitetas)*, 17(3). <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.3.2119>
12. Bobinaitė V., Juozapavičienė A. (2012). Elektros energijos rinkos kainos savybių tyrimas: Lietuvos atvejis. *Lietuvos energijos institutas*. doi:10.3846/btp.2012.13
13. Boguslauskas V., Bliedienė R. (2012). *Ekonometrija. Laiko eilučių modeliai. Laboratoriniai darbai*. Kaunas: Technologija.
14. Carmon, D., Navon, A., Machlev, R., Belikov, J., & Levron, Y. (2020). Readiness of Small Energy Markets and Electric Power Grids to Global Health Crises: Lessons From the COVID-19 Pandemic. *IEEE Access*, 8, 127234–127243. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008929>
15. Ceylan, Z. (2021). The impact of COVID-19 on the electricity demand: a case study for Turkey. *International Journal of Energy Research*, 45(9), 13022–13039. <https://doi.org/10.1002/er.6631>

16. Chen S, Igan D, Pierri N, Presbitero AF. *Tracking the Economic Impact of COVID-19 and Mitigation Policies in Europe and the United States*. Washington, DC: International Monetary Fund (IMF); Working Paper; 2020.
17. Crncec D. (2020) COVID-19 crisis: More EU integration and a step forward for EU energy policy and climate action? *Teorija Praksa*;57:1105–23. [žiūrėta 2022-04-19] Prieiga per internetą: researchgate.net/publication/352410167_COVID-19_CRISIS_MORE_EU_INTEGRATION_AND_A_STEP_FORWARD_FOR_EU_ENERGY_POLICY_AND_CLIMATE_ACTION
18. Česnavičius, M. (2020). Lithuanian electricity market price forecasting model based on univariate time series analysis. *Energetika (Vilnius, Lithuania)*, 66(1). <https://doi.org/10.6001/energetika.v66i1.4297>
19. Deksnys, R., Danilevičius K., Miškinis V., Staniulis R., (2008) *Energetikos ekonomika: mokomoji knyga*. Kaunas : Technologija, 2008. 78 p. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/62/energetikos-ekonomika/>
20. *Dėl karantino Lietuvos Respublikos teritorijoje paskelbimo*, 2020 m. lapkričio 5 d. Nr. 1226. (2020) [žiūrėta 2022-04-18]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/a2b5da801f4a11eb9604df942ee8e443>
21. Escribano, A., Ignacio Peña, J., Villaplana, P. (2011), Modelling Electricity Prices: International Evidence. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 73: 622–650. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2011.00632.x>
22. Europos komisija. (2021) *Electricity price statistics for household consumers*. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers
23. Europos komisija. (2021). ES direktyva dėl vidinių elektros rinkų. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>
24. Eurostat (2019). *Energy database* [žiūrėta 2019-05-12]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
25. Fezzi, C., Mosetti, L. (2020). Size Matters: Estimation Sample Length and Electricity Price Forecasting Accuracy. *The Energy Journal (Cambridge, Mass.)*, 41(4), 231. <https://doi.org/10.5547/01956574.41.4.cfez>
26. Fezzi, C. (2020). Real-Time Estimation of the Short-Run Impact of COVID-19 on Economic Activity Using Electricity Market Data. *Environmental & Resource Economics* (Vol. 76, pp. 885–901). <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00467-4>
27. Geman, H., Roncoroni, A. (2006). Understanding the Fine Structure of Electricity Prices. *The Journal of Business*, 79(3), 1225–1261. <https://doi.org/10.1086/500675>
28. Ghiani, E., Galici, M., Mureddu, M., & Pilo, F. (2020). Impact on Electricity Consumption and Market Pricing of Energy and Ancillary Services during Pandemic of COVID-19 in Italy. *Energies (Basel)*, 13(13), 3357. <https://doi.org/10.3390/en13133357>
29. Ghenai, C., & Bettayeb, M. (2021). Data analysis of the electricity generation mix for clean energy transition during COVID-19 lockdowns. *Energy Sources. Part A, Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1884772>

30. Ghanem S., Fandi G., Krepl V., Husein T., Rzek O., Muller Z., Kyncl J., Tlustý J., Smutka L. (2021) The Impact of COVID-19 on Electricity Prices in Italy, the Czech Republic, and China. *Applied Sciences*. 2021; 11(19):8793. <https://doi.org/10.3390/app11198793>
31. Haiwang, Z., Tan, Z., He, Y., & Kang, C. (2020). Implications of COVID-19 for the electricity industry: A comprehensive review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 6(3), 489–495. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.02500>
32. IRENA (2020). Post-Covid recovery. An agenda for resilience, development and equality. ISBN: 978-92-9260-245-1. [žiūrėta 2022-04-19] Prieiga per internetą: irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery
33. Karpuškieinė, V., Lastauskas P. (2010). Ekonometrinis modeliavimas su EViews: praktinis gidas. Vilnius. [žiūrėta 2022-04-19]. Prieiga per internetą: <http://web.vu.lt/ef/v.karpuskiene/files/2012/11/abEkonometrinis-modeliavimas-su-EViews1.pdf>
34. Kvedaras V. (2005). Taikomosios ekonometrijos kurso konspektų santrumpa. [žiūrėta 2022-04-19]. Prieiga per internetą: http://web.vu.lt/mif/v.kvedaras/files/2013/09/Konspektas_2005.pdf
35. Kvietkauskaitė G. (2021). Electricity price forecasting in Lithuania. Vilniaus Universitetas. [žiūrėta 2021-06-07] Prieiga per internetą: <https://epublications.vu.lt/object/elaba:81590503/>
36. Lazo, J., Aguirre, G., & Watts, D. (2022). An impact study of COVID-19 on the electricity sector: A comprehensive literature review and Ibero-American survey. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 158, 112135–112135. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112135>
37. Litgrid. (2021). *Lietuvos elektros energetikos sistemos 400-110 kV tinklų plėtros planas 2021-2030 m.* [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: https://www.litgrid.eu/uploads/files/dir578/dir28/dir1/3_0.php
38. Litgrid. (2021). *Sistemos duomenys.* [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.litgrid.eu/index.php/sistemas-duomenys/vartojimas/80?lines=3777&filter%5Bfrom%5D=2019-10-28&filter%5Bto%5D=2021-10-01&submit=Vykdyti>
39. Litgrid. (2021). *Mėnesio kainų apžvalgos.* [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.litgrid.eu/index.php/naujienos/naujienos/litgrid-menesio-kainu-apzvalga-lapkriti-vejo-elektrines-pagamino-net-41-proc-visos-lietuvoje-sugeneruotos-elektros/31711> , <https://www.litgrid.eu/?act=search&q=m%C4%97nesio+kain%C5%B3>
40. LR Energetikos ministerija. (2021). *Lietuvos respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030 m.* [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Teisin%C4%97%20informacija/Teis%C4%97s%20aktai/Bendrieji%20energetikos%20strateginiai%20dokumentai/NECP/Lietuvos Respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmu planas.pdf>
41. LRT. (2021). *Atsijungimas nuo BRELL.* [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/1071512/atsijungimas-nuo-rusijos-elektros-tinklu-kokie-zingsniai-laukia-iki-visiskos-nepriklausomybes>
42. Madurai Elavarasan, R., Shafiullah, G., Raju, K., Mudgal, V., Arif, M. ., Jamal, T., ... Subramaniam, U. (2020). COVID-19: Impact analysis and recommendations for power sector operation. *Applied Energy*, 279, 115739–115739. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115739>

43. Mastropietro, P., Rodilla, P., & Batlle, C. (2020). Emergency measures to protect energy consumers during the Covid-19 pandemic: A global review and critical analysis. *Energy Research & Social Science*, 68, 101678–101678. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101678>
44. Noorazar, H., Srivastava, A., Pannala, S., & K Sadanandan, S. (2021). Data-driven operation of the resilient electric grid: A case of COVID-19. *Journal of Engineering* (Stevenage, England), 2021(11), 665–684. <https://doi.org/10.1049/tje2.12065>
45. Nordpool. (2021). *Elektros kaina*. [žiūrėta 2022-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/LT/Daily/?view=table>
46. Olusanya E. O., et al. (2021) Energy Pricing during the COVID-19 Pandemic: Predictive Information-Based Uncertainty Indexes with Machine Learning Algorithm. *Intelligent Systems with Applications*. doi.org/10.1016/j.iswa.2021.200050
47. Paaso, A., Bahramirad, S., Beerten, J. (2020). Sharing Knowledge on Electrical Energy Industry's First Response to COVID-19. IEEE. [žiūrėta 2022-04-18]. Prieiga per internetą: https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/white-papers/PES_TP_COVID19_050120.html
48. Regula. (2021). *Visuomeninio naudojimo elektros kainos, kainos dedamosios*. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/tarifai/elektros-energijos-kainos.aspx>
49. Regula. (2021) *Mėnesinės elektros energijos tiekimo rinkos apžvalgos*. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.regula.lt/Puslapiai/naujienos/2021-metai/2021-bir%C5%BEelis/2021-06-01/VERT-skelbia-elektros-energijos-tiekimo-rinkos-apzvalga.aspx>
50. Rudzkienė V. (2003). Statistinės technologijos teisėje ir valdyme. Praktiniai darbai. Vilnius, Lietuvos teisės universitetas. [žiūrėta 2022-04-19]. Prieiga per internetą: <https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/15466/rudzkiene.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
51. Qarnain, S. S., Muthuvel, S., & Bathrinath, S. (2021). Review on government action plans to reduce energy consumption in buildings amid COVID-19 pandemic outbreak. *Materials Today : Proceedings*, 45, 1264–1268. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.723>
52. Sagaitytė G. (2021). Didesnes sąskaitas už elektrą gavę gyventojai pirštu beda į rinkos liberalizaciją, ekspertai tikina – tai nesusiję. [žiūrėta 2021-06-07] Prieiga per internetą: <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/1370420/didesnes-saskaitas-uz-elektra-gave-gyventojai-pirstu-beda-i-rinkos-liberalizacija-ekspertai-tikina-tai-nesusije>
53. Sánchez-López, M., Moreno, R., Alvarado, D., Suazo-Martínez, C., Negrete-Pincetic, M., Olivares, D., ... Basso, L. J. (2022). The diverse impacts of COVID-19 on electricity demand: The case of Chile. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107883>
54. The World Bank (2019). *Data* [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://data.worldbank.org/>
55. Trputec, Z. & Šantić, N. (2020). The Post Covid-19 Reality and Economic Theory. *Mednarodno Inovativno Poslovanje*, 12(2), 1–12. <https://doi.org/10.32015/JIBM.2020.12.2.1.1-12>

56. Vernengo, M. (2020). The Economic Consequences of COVID-19: The Great Shutdown and the Rethinking of Economic Policy. *International Journal of Political Economy*, 49(4), 265–278. <https://doi.org/10.1080/08911916.2020.1857589>
57. VERT. (2021) *Elektros rinkos liberalizavimas*. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: <https://www.vert.lt/Puslapiai/bendra/Elektros-energijos-tiekimas.aspx>
58. VERT. (2021). *Elektros energijos rinkos stebėsenos ataskaita už 2021 m. I pusmetį*. [žiūrėta 2021-12-27]. Prieiga per internetą: https://www.vert.lt/elektra/SiteAssets/ataskaitos/2021_m_I_pusm_rinkos_stebesenos_ataskaita.pdf
59. Watts J., Ambrose J., (2020) Coal Industry will never recover after coronavirus pandemic. *The Guardian*. [žiūrėta 2022-04-19] Prieiga per internetą: <https://www.theguardian.com/environment/2020/may/17/coal-industry-will-never-recover-after-coronavirus-pandemic-say-experts>
60. Zhong, H., Tan Z., He Y., Xie L., Kang C. (2020) Implications of COVID-19 for the Electricity Industry: A Comprehensive review. *CSEE Journal of power and energy systems*, 6, 3. doi: 10.17775/CSEEJPES.2020.02500.

Priedai

1 priedas. Pradiniai tyrimo duomenys

Mėnuo	Elektros energijos kaina Eur/MWh	Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje MWh	Brent naftos barelio kaina dol/barelis	Metinė infliacija	Vidutinė mėnesio temperatūra	Dujų importo kaina Eur/MWh	Eur/ USD valiutų kursas
2019-01	56,500	1577,000	61,890	1,700	-5,100	23,850	1,143
2019-02	46,970	1483,000	66,030	2,100	-0,200	21,840	1,370
2019-03	39,990	1421,000	68,390	2,600	2,200	19,530	1,220
2019-04	43,520	1344,000	72,800	2,800	7,900	16,900	1,120
2019-05	44,110	1325,000	61,990	2,700	11,500	15,210	1,110
2019-06	44,650	1333,000	66,550	2,500	20,100	13,600	1,130
2019-07	48,940	1277,000	65,170	2,700	16,900	11,160	1,100
2019-08	49,370	1291,000	60,430	2,600	17,800	11,130	1,090
2019-09	48,790	1320,000	60,780	2,200	12,900	11,700	1,080
2019-10	46,960	1384,000	60,230	1,600	9,300	12,960	1,110
2019-11	44,700	1461,000	60,560	1,700	4,900	15,970	1,100
2019-12	38,970	1462,000	66,220	2,700	2,600	16,320	1,120
2020-01	30,820	1484,000	56,620	3,000	2,800	13,570	1,100
2020-02	27,770	1472,000	50,520	2,800	2,400	11,060	1,100
2020-03	24,000	1371,000	22,740	1,800	3,300	8,880	1,100
2020-04	23,310	1214,000	25,270	1,000	6,500	8,190	1,109
2020-05	24,520	1210,000	37,840	0,300	10,200	7,220	1,110
2020-06	38,650	1261,000	41,150	1,000	18,700	4,830	1,120
2020-07	31,700	1244,000	43,300	1,000	17,200	5,670	1,170
2020-08	43,320	1285,000	45,280	1,300	18,200	5,570	1,190
2020-09	39,500	1317,000	40,950	0,700	14,800	7,740	1,170
2020-10	37,720	1368,000	37,460	0,700	10,200	10,190	1,160
2020-11	41,190	1455,000	47,590	0,600	5,400	11,910	1,190
2020-12	45,750	1495,000	51,800	0,200	0,500	16,070	1,220
2021-01	53,640	1533,000	55,040	0,300	-3,400	16,180	1,210
2021-02	59,310	1589,000	64,420	0,600	-5,700	19,100	1,200
2021-03	49,920	1421,000	62,740	1,600	1,600	17,840	1,170
2021-04	44,740	1293,000	66,760	2,500	5,900	17,350	1,200
2021-05	50,350	1272,000	69,320	3,600	11,100	19,970	1,220
2021-06	77,740	1307,000	74,620	3,600	19,200	23,810	1,180

2 priedas. Kintamųjų stacionarumo įvertinimas

Null Hypothesis: EL_K has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=7)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.308294	0.7681
Test critical values:	1% level	-2.647120
	5% level	-1.952910
	10% level	-1.610011
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: EL_K has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=7)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.848474	0.7898
Test critical values:	1% level	-3.679322
	5% level	-2.967767
	10% level	-2.622989
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: EL_K has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=7)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.899319	0.9426
Test critical values:	1% level	-4.309824
	5% level	-3.574244
	10% level	-3.221728
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: D(EL_K) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=7)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.379765	0.0015
Test critical values:	1% level	-2.650145
	5% level	-1.953381
	10% level	-1.609798
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: VARTOJIMAS has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.892000	0.3212
Test critical values:	1% level	-2.647120
	5% level	-1.952910
	10% level	-1.610011
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: VARTOJIMAS has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.353210	0.1632
Test critical values:	1% level	-3.679322
	5% level	-2.967767
	10% level	-2.622989
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: VARTOJIMAS has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.290695	0.4254
Test critical values:	1% level	-4.309824
	5% level	-3.574244
	10% level	-3.221728
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: D(VARTOJIMAS) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.285930	0.0019
Test critical values:	1% level	-2.650145
	5% level	-1.953381
	10% level	-1.609798
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: BRENT has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.024363	0.6825
Test critical values:	1% level	-2.647120
	5% level	-1.952910
	10% level	-1.610011
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: BRENT has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.212170	0.6553
Test critical values:	1% level	-3.679322
	5% level	-2.967767
	10% level	-2.622989
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: BRENT has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.909134	0.9413
Test critical values:	1% level	-4.309824
	5% level	-3.574244
	10% level	-3.221728
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: D(BRENT) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.651434	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.650145
	5% level	-1.953381
	10% level	-1.609798
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: INFL has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.126161	0.7148
Test critical values:	1% level	-2.647120
	5% level	-1.952910
	10% level	-1.610011
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: INFL has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.917019	0.7682
Test critical values:	1% level	-3.679322
	5% level	-2.967767
	10% level	-2.622989
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: INFL has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.509987	0.9771
Test critical values:	1% level	-4.309824
	5% level	-3.574244
	10% level	-3.221728
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: D(INFL) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.213281	0.0023
Test critical values:	1% level	-2.650145
	5% level	-1.953381
	10% level	-1.609798
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: TEMP has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.472100	0.5022
Test critical values:	1% level	-2.647120
	5% level	-1.952910
	10% level	-1.610011
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: TEMP has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.805274	0.3706
Test critical values:	1% level	-3.679322
	5% level	-2.967767
	10% level	-2.622989
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: TEMP has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.792768	0.6821
Test critical values:	1% level	-4.309824
	5% level	-3.574244
	10% level	-3.221728
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: D(TEMP) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.690887	0.0090
Test critical values:	1% level	-2.650145
	5% level	-1.953381
	10% level	-1.609798
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: DUJOS has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.393466	0.5333
Test critical values:	1% level	-2.647120
	5% level	-1.952910
	10% level	-1.610011
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: DUJOS has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.130906	0.6896
Test critical values:	1% level	-3.679322
	5% level	-2.967767
	10% level	-2.622989
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: DUJOS has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.653916	0.9674
Test critical values:	1% level	-4.309824
	5% level	-3.574244
	10% level	-3.221728
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: D(DUJOS) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.563625	0.0124
Test critical values:	1% level	-2.650145
	5% level	-1.953381
	10% level	-1.609798
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: EURUSD has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.477187	0.8112
Test critical values:	1% level	-2.656915
	5% level	-1.954414
	10% level	-1.609329
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: EURUSD has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.164829	0.6737
Test critical values:	1% level	-3.711457
	5% level	-2.981038
	10% level	-2.629906
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: EURUSD has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.683667	0.2505
Test critical values:	1% level	-4.356068
	5% level	-3.595026
	10% level	-3.233456
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Null Hypothesis: D(EURUSD) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=0)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.888300	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.660720
	5% level	-1.955020
	10% level	-1.609070
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

3 priedas. Granger priežastingumo įvertinimas

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:53			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DVARTOJIMAS does not Granger Cause DEL_K	28	0.39880	0.5334
DEL_K does not Granger Cause DVARTOJIMAS		0.03046	0.8629
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:54			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 2			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DVARTOJIMAS does not Granger Cause DEL_K	27	4.21858	0.0281
DEL_K does not Granger Cause DVARTOJIMAS		0.19493	0.8243
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:54			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 3			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DVARTOJIMAS does not Granger Cause DEL_K	26	2.11387	0.1322
DEL_K does not Granger Cause DVARTOJIMAS		0.18973	0.9021
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:54			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 4			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DVARTOJIMAS does not Granger Cause DEL_K	25	1.34970	0.2949
DEL_K does not Granger Cause DVARTOJIMAS		0.25108	0.9048
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:55			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DBRENT	28	0.04632	0.8313
DBRENT does not Granger Cause DEL_K		0.61007	0.4421
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:55			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 2			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DBRENT	27	0.63833	0.5377
DBRENT does not Granger Cause DEL_K		0.45817	0.6383

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:55			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 3			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DBRENT	26	1.45067	0.2596
DBRENT does not Granger Cause DEL_K		0.53710	0.6625
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:56			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 4			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DBRENT	25	0.61273	0.6595
DBRENT does not Granger Cause DEL_K		1.00616	0.4332
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:56			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DINFL	28	1.21674	0.2805
DINFL does not Granger Cause DEL_K		0.00404	0.9498
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:56			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 2			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DINFL	27	3.56704	0.0455
DINFL does not Granger Cause DEL_K		1.11587	0.3455
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:56			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 3			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DINFL	26	0.89369	0.4624
DINFL does not Granger Cause DEL_K		0.42005	0.7407
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:56			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 4			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DINFL	25	0.88779	0.4935
DINFL does not Granger Cause DEL_K		0.40604	0.8016

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:57			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DTEMP	28	0.74174	0.3973
DTEMP does not Granger Cause DEL_K		0.25979	0.6147
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:57			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 2			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DTEMP	27	0.40445	0.6722
DTEMP does not Granger Cause DEL_K		2.00035	0.1592
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:57			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 3			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DTEMP	26	0.49262	0.6916
DTEMP does not Granger Cause DEL_K		1.26241	0.3155
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:57			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 4			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DTEMP	25	0.41164	0.7977
DTEMP does not Granger Cause DEL_K		1.80302	0.1776
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:58			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DDUJOS	28	3.85390	0.0608
DDUJOS does not Granger Cause DEL_K		1.27463	0.2696
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:58			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 2			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DDUJOS	27	1.57445	0.2296
DDUJOS does not Granger Cause DEL_K		1.58839	0.2268

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:58			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 3			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DDUJOS	26	0.77834	0.5205
DDUJOS does not Granger Cause DEL_K		1.36586	0.2834
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:58			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 4			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEL_K does not Granger Cause DDUJOS	25	4.05464	0.0186
DDUJOS does not Granger Cause DEL_K		1.30854	0.3088
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:59			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEURUSD does not Granger Cause DEL_K	25	3.81016	0.0638
DEL_K does not Granger Cause DEURUSD		0.50037	0.4868
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:59			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 2			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEURUSD does not Granger Cause DEL_K	24	2.47846	0.1106
DEL_K does not Granger Cause DEURUSD		0.01878	0.9814
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:59			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 3			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEURUSD does not Granger Cause DEL_K	23	1.89830	0.1706
DEL_K does not Granger Cause DEURUSD		0.52670	0.6702
Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 04/20/22 Time: 15:59			
Sample: 2019M01 2021M06			
Lags: 4			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DEURUSD does not Granger Cause DEL_K	22	1.18618	0.3623
DEL_K does not Granger Cause DEURUSD		0.30296	0.8708