



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Atsinaujinančių energijos išteklių akcijų indeksų ryšys su ekonominiais rodikliais

Baigiamasis magistro studijų projektas

Monika Praniauskaitė

Projekto autorė

Prof. dr. Evaldas Vaičiukynas

Vadovas

Prof. dr. Rytis Krušinskas

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Atsinaujinančių energijos išteklių akcijų indeksų ryšys su ekonominiais rodikliais

Baigiamasis magistro studijų projektas

Didžiųjų verslo duomenų analitika (6213AX001)

Monika Praniauskaitė

Projekto autorė

Prof. dr. Evaldas Vaičiukynas

Vadovas

Prof. dr. Rytis Krušinskas

Vadovas

Doc. dr. Mindaugas Kavaliauskas

Recenzentas

Prof. dr. Daiva Dumčiuvienė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas
Monika Praniauskaitė

Atsinaujinančių energijos išteklių akcijų indeksų ryšys su ekonominiais rodikliais

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.

Monika Praniauskaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Turinys

Paveikslų sąrašas	7
Lentelių sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Verslo ciklai ir jų reikšmė ekonomikai	12
1.2. Akcijų kainos ir akcijų indeksai	15
1.3. Akcijų rinkos. Jų ryšys su verslo ciklais	18
1.4. Atsinaujinantys energijos šaltiniai.....	24
1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas.....	28
2. Tyrimo metodai ir objektas	29
2.1. GARCH (1, 1) metodas	29
2.2. Vektorinė autoregresija	31
2.3. Granger'io priežastingumas.....	33
2.4. Granger'io priežastingumas pagal TYDL	35
2.5. Granger'io priežastingumas naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais	35
2.6. Tyrimo objektas.....	36
3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas	40
3.1. Atsinaujančių energijos šaltinių akcijų kainų indekų dinamika laike	40
3.2. Bendrojo vidaus produkto ir pramonės kainų indekso dinamika	43
3.3. GARCH (1, 1) metodas duomenų nepastovumui nustatyti	44
3.4. Tiesinis Granger'io priežastingumas su VAR (klasikinis).....	49
3.4.1. Ryšys su ekonominiu rodikliu – bendruoju vidaus produktu (BVP)	49
3.4.2. Ryšys su ekonominiu rodikliu – pramonės kainų indeksu (PPI).....	49
3.5. Tiesinis Granger'io priežastingumas pagal TYDL.....	50
3.5.1. Ryšys su ekonominiu rodikliu – bendruoju vidaus produktu (BVP)	50
3.5.2. Ryšys su ekonominiu rodikliu – pramonės kainų indeksu (PPI).....	51
3.6. Granger'io priežastingumo pagal TYDL impulsų atvaizdavimas.....	52
3.7. Netiesinis Granger'io priežastingumas naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais.....	54
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58
Priedai.....	63

Praniauskaitė Monika. Atsinaujinančių energijos išteklių akcijų indeksų ryšys su ekonominiais rodikliais. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Evaldas Vaičiukynas; Kauno technologijos universitetas, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Taikomoji matematika.

Reikšminiai žodžiai: Atsinaujinantys energijos išteklių akcijų indeksai; Granger'io priežastingumas; JAV; Bendrasis vidaus produktas; Pramonės kainų indeksas.

Vilnius, 2022. 66 p.

Santrauka

Šio baigiamojo darbo tikslas – ryšio tarp atsinaujinančios energijos akcijų indeksų ir pasirinktos šalies ekonominių rodiklių nustatymas. Pirmame darbo skyriuje yra aptariama su baigiamuoju darbu susijusios atliktos literatūros apžvalga. Aptariami, kokie metodai buvo taikomi kituose moksliniuose darbuose, kokie rezultatai buvo gauti. Antrame skyriuje pristatomi baigiamajame darbe pasirinkti skaičiavimo metodai bei šio skyriaus pabaigoje nurodomi, kokie duomenys tyrime naudojami. Tyrimui buvo pasirinkti Jungtinių Amerikos Valstijų ekonominiai rodikliai – bendrasis vidaus produktas (BVP) ir pramonės kainų indeksas (PPI). Darbe pasirinkti atsinaujinančios energijos akcijų indeksai – „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“. Trečiajame skyriuje yra aptariami gauti tyrimo rezultatai bei pateikiamos išvados.

Nustatant ryšį tarp minimų kintamųjų buvo naudojamas pasiklivimo lygmuo $\alpha=0,05$. Darbe pritaikytas GARCH(1, 1) metodas akcijų indeksų nepastovumui ištirti. Ryšiui ištirti pasitelkti Granger'io priežastingumo metodai. Pasiklivimo lygmuo buvo lyginimas su gautomis F-testo p reikšmėmis.

Pirmasis tyrimo metodas – tiesinis (klasikinis) Granger'io priežastingumas pagal VAR. Atlikus skaičiavimus buvo gauti abipusiai ryšiai, tiek ekonominiai rodikliai veikia atsinaujinančios energijos akcijų indeksus, tiek patys indeksai veikia ekonominius rodiklius. Ištyrus antruoju metodu – Granger'io priežastingumu pagal TYDL, gauti rezultatai šiek tiek skyrėsi. Su ekonominiu rodikliu gauti abipusiai ryšiai, tačiau su PPI gauti ryšiai tik vienusiapusiai. Kitaip tariant, ekonominis rodiklis PPI turi priežastinį ryšį su atsinaujinančios energijos akcijų indeksais. Tačiau akcijų indeksai neveikia pramonės kainų indekso. Trečiasis šiame darbe išbandytas metodas buvo netiesinis Granger'io priežastingumas naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais. Gauti rezultatai visiškai priešingi nei buvo gauti tiriant ryšį tiesiniu būdu.

Praniauskaitė Monika. Relationship between renewable energy stock indices and economic indicators. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Evaldas Vaičiukynas; Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Applied Mathematics.

Keywords: Renewable energy stock price; Granger causality; US; Gross domestic product; Producer price index.

Vilnius, 2022. 66.

Summary

The aim of this final project is to investigate the relationship between renewable energy stock indices and selected country's economic indicators. In the first chapter discusses the review of the literature which is related with the final project. In this chapter are discussed what methods have been used in researches and what results have been obtained. The second chapter presents the calculation methods chosen in the final project and at the end of this chapter presents the data which was used in project. The United States Economic Indicators - Gross Domestic Product (GDP) and Industrial Price Index (PPI) were selected for the research. The renewable energy stock indices „S&P Global Clean Energy“ and „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ were selected in this final project. The third chapter presents the results of the study and the conclusions.

A confidence level of $\alpha = 0.05$ was used to determine the relationship between the mentioned variables. Method GARCH (1, 1) was used to look and investigate the volatility of stock indices. Granger causality methods were used to investigate the relationship. The confidence level was compared with the p-values of the F-test.

The first method was linear (classical) Granger causality according to VAR. The calculations showed a reciprocal relationship with both economic indicators affecting renewable energy stock indices and the indices themselves affecting economic indicators. The results of the second method, Granger causality according to TYDL were slightly different. Reciprocal relationships were obtained with the economic indicator, but relationship with PPI were only one-sided. In other words, the economic indicator PPI has a causal relationship with renewable energy stock indices. However, stock indices do not affect the industrial price index. The third method tested in this project was the nonlinear causality of Granger using artificial neural networks. The results obtained are completely opposite to those obtained by investigating the relationship in a linear method.

Paveikslų sąrašas

1 pav. Verslo ciklas.....	14
2 pav. JAV BVP 2012-2021 metais.....	15
3 pav. „S&P 500“ indekso dinamika 1982–2022 metais.....	16
4 pav. „Dow Jones“ indekso dinamika 1982–2022 metais.....	17
5 pav. „Euro Stoxx 50“ indekso dinamika 1998–2022 metais.....	17
6 pav. „DAX“ indekso dinamika 1998–2022 metais.....	17
7 pav. Išsivystančių šalių žemėlapis.....	18
8 pav. Besivystančių šalių žemėlapis.....	19
9 pav. „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ indeksų kitimas laike.....	40
10 pav. „S&P Global Clean Energy“ dienos gražos.....	41
11 pav. „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ dienos gražos.....	41
12 pav. „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ mėnesinės gražos.....	42
13 pav. Stacionarumo tikrinimo rezultatai (Pirmoji lentelė „S&P Global Clean Energy“, antroji – „Nasdaq Clean Edge Green Energy“)......	42
14 pav. Pradiniai BVP duomenys prieš įvykdant glodinimą.....	43
15 pav. JAV bendrojo vidaus produkto dinamika laike.....	43
16 pav. JAV pramonės kainų indekso dinamika laike.....	44
17 pav. GARCH(1, 1) metodo rezultatai su normaliuoju pasiskirstymu.....	44
18 pav. ACF tikrinimo rezultatai ir Q-Q atvaizdavimas.....	45
19 pav. GARCH(1, 1) su Stjudent'o pasiskirstymu.....	46
20 pav. GARCH(1, 1) su Stjudent'o pasiskirstymu.....	47
21 pav. „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ conditional volatility...48	
22 pav. Kairėje „S&P Global Clean Energy“ teigiamas atsakas, jei BVP rodiklis staiga padidėtų. Dešinėje BVP silpnai teigiamas atsakas, jei „S&P Global Clean Energy“ kainos staiga padidėtų.....	52
23 pav. Kairėje „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ teigiamas atsakas, jei BVP rodiklis staiga padidėtų. Dešinėje BVP neigiamas atsakas, jei „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ staiga padidėtų.....	53
24 pav. Kairėje „S&P Global Clean Energy“ silpnai teigiamas atsakas, jei PPI rodiklis staiga padidėtų. Dešinėje „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ atsakas, jei PPI rodiklis staiga padidėtų.....	54
25 pav. BVP ir „S&P Global Clean Energy“ Granger'io priežastingumo naudojantis neuroniniais tinklais rezultatai.....	54
26 pav. BVP ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ Granger'io priežastingumo naudojantis neuroniniais tinklais rezultatai.....	55
27 pav. PPI ir „S&P Global Clean Energy“ Granger'io priežastingumo naudojantis neuroniniais tinklais rezultatai.....	55
28 pav. PPI ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ Granger'io priežastingumo naudojantis neuroniniais tinklais rezultatai.....	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Verslo ciklo ir akcijų kainų/indeksų ryši analizavusių tyrėjų darbų apžvalga.....	19
2 lentelė. Penkios didžiausios atsinaujinančios energijos išteklių įmonės JAV 2022-aisias metais.....	27
3 lentelė. Kokie klausimai įvairiose srityse nagrinėjami pasitelkiant vektorinę autoregresiją.....	32
4 lentelė. TOP 10 „S&P Global Clean Energy“ indeksą sudarančių įmonių.....	37
5 lentelė. TOP10 „NASDAQ Clean Edge Green Energy“ indeksą sudarančių įmonių.....	38
6 lentelė. Log-Likelihoods rodiklių rezultatai.....	47
7 lentelė. BVP ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo su VAR rezultatai.....	49
8 lentelė. PPI ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo su VAR rezultatai.....	50
9 lentelė. BVP ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo pagal TYDL rezultatai.....	50
10 lentelė. PPI ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo pagal TYDL rezultatai.....	51

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

AIC – Akaike kriterijus;

ARCH - autoregresinis sąlyginis heteroskedastiškumas;

BVP – bendrasis vidaus produktas;

Dr. – daktaras;

GARCH – apibendrintas autoregresinis sąlyginis heteroskedastiškumas;

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos;

PPI – pramonės kainų indeksas;

Prof. – profesorius;

TYDL - Toda-Yamamoto & Dolado-Lütkepohl'o metodas;

VAR – vektorinė autoregresija.

Įvadas

Šiandieninio pasaulio ekonomikoje svarbią vietą užima verslo ciklai ir akcijų rinkos. Bėgant metams pastebima, kad verslo ciklai, kitaip dar vadinami ekonominiais svyravimais, turi tendenciją kartotis. Tačiau nors jie ir kartojasi, kiekvieną kartą jų ciklo trukmė yra skirtinga. Verslo ciklus veikia įvairūs ekonominiai faktoriai, pavyzdžiui, bendrojo vidaus produkto (BVP) dydis, nedarbo rodikliai, akcijų kainų indeksai, infliacija ir kiti. Šis ciklas atsiranda, kai pradeda augti ekonomika, tuomet vartotojų ir gamintojų pasitikėjimas pačia ekonomika taip pat auga. Jie vis daugiau perka, ima paskolas todėl po truputį pradeda kilti kainos. Praėjus šiek tiek laiko, dėl kainų kilimo pradeda atsirasti įvairūs turto „burbulai“ (pavyzdys statybų sektorius). Laikui bėgant, kai tiek vartotojai, tiek gamintojai ima pasitikėti ekonomika, staiga įvyksta viską pakeičiantis įvykis, sąlygojantis bankrotus, pakitusį vartotojų ir gamintojų pasitikėjimą ekonomika. Tuo metu ekonomikoje prasideda naujas ciklas, o senasis pasibaigia. Verslo ciklai pagal savo svyravimų trukmę yra skirstomi į ilgalaikius, vidutinės trukmės ir trumpalaikius verslo ciklus.

Akcijų rinka – tai virtualus mechanizmas, kuriame dalyvauja akcijų pirkėjai, leidėjai, pardavėjai bei kiti rinkos dalyviai.[1] Akcijų rinka sudaro dalį visos finansų rinkos, kurią sudaro, pavyzdžiui, vertybiniai nuosavybės popieriai ir nuo jų nėra priklausoma ar vertybiniais popieriais prekiaujama akcijų biržoje ar neprekiuojama. Akcijų rinką sudaro smulkesnės rinkos: privilegijuotų akcijų rinka ir paprastųjų akcijų rinka. Taip pat dažnu atveju į akcijas investuojantys asmenys šias rinkas skirsto į besivystančių šalių rinkas (angl. *emerging markets*) ir išsivysčiusių šalių rinkas (angl. *developed markets*).

Vis dažniau moksliniuose straipsniuose ir literatūroje yra analizuojamas ryšys tarp akcijų rinkų ir verslo ciklo. Daugelyje mokslinių straipsnių yra rašoma, jog būtent toks ryšys egzistuoja ir jis yra gana stiprus. Viena iš priežasčių yra tokia, kad į akcijų rinkas investuojantys asmenys investuoja į įvairias akcijas tada, kada nori, tiki ir laukia gerų rezultatų, o būtent geri įmonių rezultatai investuotojams parodo, kad ekonomika ir jos padėtis yra gera. Todėl staiga pasikeitus akcijų rinkų padėčiai, pavyzdžiui, joms pradėjus kristi, galima manyti, jog ekonomika elgsis panašiai, taip pat pradės kristi. Analogiška situacija įvyktų, jei akcijų rinkų kainos pradėtų kilti – artimiausiu metu galima būtų laukti ekonomikos augimo. Apibendrinant šią pastraipą, galima sakyti, jog ne viename literatūros šaltinyje atliktame tyrime buvo parodyta, jog egzistuoja ryšys tarp ekonomikos ciklo ir akcijų rinkų [2, 3, 4].

Nagrinėjant mokslinės literatūros straipsnius susijusius su atsinaujinančios energijos rinkų tyrimais yra pasitelkiama įvairiausių metodų šias rinkas tirti ir analizuoti vienokiu ar kitokiu būdu. [5] yra naudojamas GARCH metodas. GARCH modeliai apibūdina finansų rinkas, kurių nepastovumas gali keistis, pavyzdžiui, nepastovesnės jos tampa finansų krizių ar pasaulinių įvykių laikotarpiais ir pastovesnės finansų rinkos būna santykinai ramaus ir stabilaus ekonomikos augimo laikotarpiais.

Granger'io priežastingumo (angl. *Granger causality*) metodas yra statistinės hipotezės metodas, šiuo būdu yra tiriamas priežastinis ryšys tarp dviejų laiko eilučių kintamųjų. Šis metodas yra tikimybinis priežastingumo paaiškinimas. Metodas naudoja empirinius duomenų rinkinius, kad surastų koreliacijos modelius.

Rasti ryšį tarp verslo ciklų ir akcijų rinkų ciklinių svyravimų yra svarbu, nes esant šiam ryšiui galima lengviau interpretuoti, nuspėti ateitį, apsaugoti nuo staigių, nepalankių įvykių, kurie paveiktų šalies ekonomiką.

Temos aktualumas. Šiandieniam pasaulyje, kuriame nuolat keičiasi ekonominė aplinka, akcijų kainos keičiasi kiekvieną dieną, tai kyla, tai krenta, investuotojams, šalies ekonomikai vadovaujantiems žmonėms svarbu žinoti, kokia kryptimi juda ekonomika, kokiame verslo cikle ji yra. Žinant, kad verslo ciklai ir akcijų rinkų ciklinis svyravimas turi ryšį, šie vartotojai gali geriau ir teisingiau įvertinti gresiančius neigiamus padarinius ekonomikai, stengtis jų išvengti.

Tyrimo tikslas. Pagrindinis šio darbo tikslas – ryšio tarp atsinaujinančios energijos akcijų indeksų ir pasirinktos šalies ekonominių rodiklių nustatymas.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros apžvalgą bei nuspręsti, kokie metodai bus naudojami baigiamajame darbe;
2. Pasiruošti tyrimo duomenis: pasirinkti tyrimui reikalingus atsinaujinančios energijos šaltinių akcijų indeksus bei juos palyginti su pasirinktos šalies ekonomiais rodikliais;
3. Atlikti analizę, naudojantis rinkos vertinimo metodais:
 - 3.1. GARCH (1, 1);
 - 3.2. Tiesiniu Granger'io priežastingumu su VAR;
 - 3.3. Tiesiniu Granger'io priežastingumu pagal TYDL;
 - 3.4. Netiesiniu Granger'io priežastingumu naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais;
4. Pavaizduoti atsako į impulsus grafikus, kuriuose būtų matoma, kaip kintamieji veikia vienas kitą;
5. Apibendrinti gautus rezultatus.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Verslo ciklai ir jų reikšmė ekonomikai

Šiame baigiamojo magistro darbo poskyryje pateikiama verslo ciklų ir akcijų rinkų teorijos apžvalga bei tyrime naudojami apibrėžimai.

Verslo ciklai – tai rinkos ekonomikos svyravimai, matuojami bendrojo vidaus produkto (BVP) pokyčio tempu. Šiems svyravimams būdinga kartotis, o jų trukmė yra skirtinga. Verslo ciklą lemia daug indikatorių: BVP dydis, nedarbo rodikliai, akcijų kainų indeksai, infliacija ir kiti [6].

Verslo ciklai pagal svyravimų trukmę yra skirstomi į:

- trumpalaikius verslo ciklus – iki vienerių, dvejų metų. Juos lemia gamybinių atsargų pokyčiai;
- vidutinės trukmės verslo ciklus – kartojasi kas penkerius dvylika metų. Dažniausiai juos sukelia piniginiai ir kreditiniai veiksniai;
- ilguosius verslo ciklus – trunka 50 metų ar ilgiau.

Tačiau standartiškai yra laikoma, kad verslo ciklas gali trukti nuo 7-ių iki 10-ies metų. Kiekvienas ciklas yra skirtingas ir trunka skirtingai, sunku nuspėti jo trukmę.

Verslo ciklo atsiradimą galime trumpai nusakyti taip: ekonomikai augant vartotojų ir gamintojų pasitikėjimas ekonomika pradeda augti. Gyventojai ir įmonės vis daugiau ir drąsiau ima paskolas, po truputį kyla kainos. Tuomet pradeda atsirasti įvairūs turto „burbulai“ (pavyzdžiui, 2008 m. krizės viena iš priežasčių buvo statybų sektorius). Tačiau šis ekonomikos pakilimas negali tęstis nuolatos, turi įvykti viską pakeičiantis įvykis, po kurio prasideda bankrotai, pradeda kristi turto kainos, kinta vartotojų ir gamintojų pasitikėjimas ekonomika.

Verslo ciklai turi indikatorius, kuriais yra prognozuojami cikliniai svyravimai. Šių indikatorių kitimas leidžia numatyti ciklo eigą.

Gerai žinoma tiesa, kad ekonomika negali visą laiką tik augti. Ekonomikai yra būdingi svyravimai, kurie kuria verslo ciklą. Verslo ciklai dar kitaip gali būti vadinami ekonominiais svyravimais. Ekonomikos svyravimai yra skirstomi į ciklo fazes: nuosmukį (recesiją), pagyvėjimą, pakilimą, kritimą [6]. Pagal [6]:

- Nuosmukis (recesija)

Tai rinkos ekonomikos laikotarpis, kurio metu mažėja namų ūkių pajamos, gamyba, kainos, paklausa, ir užimtumas. Kai namų ūkio pajamos ir darbuotojų užimtumas pradeda mažėti, dėl šių priežasčių paklausa taip pat krenta. Krentančios pajamos priverčia paklausą taip pat kristi. Tokiu laikotarpiu vis daugiau įmonių patiria įvairių sunkumų, įmonių vadovai, verslininkai privalo koreguoti arba kardinaliai keisti įmonių pelno planus. Prieš prasidedant recesijai įmonių planuose buvo nemažai įvairiausių naujų investicijų, kurios turėjo būti labai pelningos nešti didelę dalį paklausos, tačiau prasidėjus šiam verslo ciklui, daugelis tokių investicijų tampa nepelningos. Tokiu būdu naujos investicijos pasiekia žemiausią lygį. Mažėjant darbo vietoms, o daugeliui darbuotojų visai prarandant darbo pozicijas, namų ūkiai mažina vartojimą, pradeda daugiau taupyti. Esant tokiam reiškiniui po truputį pradeda mažėti importas, o tai paveikia ir eksportą, jis analogiškai irgi pradeda

mažėti. Valstybės skolinimasis tampa ribotas tiek pačioje šalies viduje, tiek išorėje. Kartais šis verslo ciklo etapas gali pereiti į krizę, kuri gali priklausyti tam tikram regionui, ūkio sektoriui. Krizės metu įvyksta staigus šalies arba pasaulio ekonomikos pasikeitimas į blogąją pusę. Jos metu daug įmonių patiria arba gali patirti bankrotą. Šalių vyriausybės susiduria su sunkumais suvaldant biudžeto deficito augimą. Viena iš geriausiai žinomų krizių buvo – Didžioji depresija 1929 m., kurios metu įvyko gilus ir staigus ekonomikos kritimas. Jungtinėse Amerikos Valstijose (JAV) staiga (per kelis mėnesius) išnyko daugiau kaip 40 mlrd. dolerių turto. Jungtinių Amerikos Valstijų pinigų pasiūla krito iki 28 % per ketverius metus (nuo 1929 m. iki 1933 m.). Didelis skaičius namų ūkių per 1930–1935 m. prarado savo žemės ūkius, nes pačios žemės kaina nuvertėjo per pusę. Lyginant automobilių gamybą, 1929-aisiais metais nuo 4,5 mln. pagamintų automobilių jų skaičius nukrito iki 1,1 mln. 1932-aisiais metais.

Bankų sektorius šios krizės metu taip pat gana skaudžiai nukentėjo, 19,6 mlrd. dolerių nuvertėjo bankų paskolos, o bankų indėlių vertė sumažėjo net 15,6 mlrd. dolerių. Nuvertėjusi bankų paskolų dalis sudarė net apie 19 % 1929-ųjų metų bendrojo vidaus produkto (BVP). Per 1930–1933 metus apie 8 tūkst. bankų, kurių indėliai sudarė daugiau nei daugiau nei 5 mlrd. dolerių, tapo nemokūs.

- **Pagyvėjimas**

Tai rinkos ekonomikos laikotarpis, einantis po nuosmukio. Pagyvėjimo metu pradeda kilti ekonominis aktyvumas, o šį rodiklį padeda kelti didėjantys gyventojų lūkesčiai. Šiame verslo cikle namų ūkiai pradeda mažiau taupyti, daugiau išleisti, žmonių, neturinčių darbo, skaičius po truputį pradeda mažėti. Kadangi bedarbystė mažėja, o gyventojai pradeda mažiau taupyti, tai skatina vartojimo augimą. Vartojimo augimas skatina verslininkus didinti gamybą, siūlyti naujus produktus bei didinti rinkodaros mastus. Nuosmukio metu buvo sumažėjusios kainos, kadangi vartojimas auga, tai skatina eksporto didėjimą ir importo mažėjimą. Šioje ciklo fazėje įvyksta ekonomikos pagyvėjimas, kuriam būdingas gamybos didėjimas, nedarbo mažėjimas, kainų augimas, tai pat ir atlyginimų bei palūkanų normų kilimas. Kai pradeda kilti atlyginimai, keičiasi darbuotojų, o kartu ir jų namų ūkių elgesys – gyventojai pradeda mažiau taupyti ir daugiau išleisti, kas kelia optimistinį požiūrį. Įmonių pelnai auga, o atsargos mažėja, todėl didėja ne tik įmonių pelnai, bet ir naujų darbuotojų poreikis.

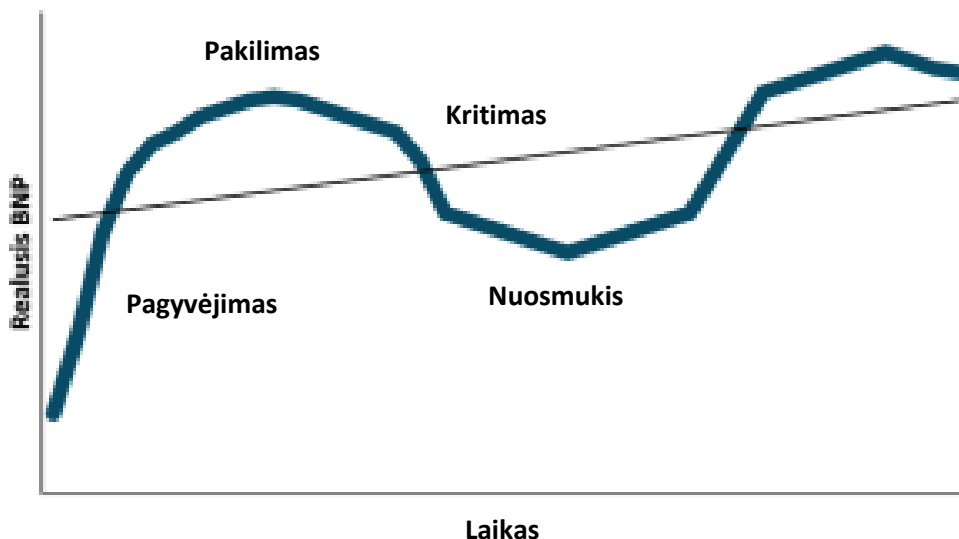
- **Pakilimas**

Tai ekonomikos laikotarpis, kuriam būdingas spartus bendrojo vidaus produkto (BVP) didėjimas, gamybos kaštų augimas bei trūkumas gamybos pajėgumų. Šiame verslo ciklo etape yra pastebimas kainų, gamybos, užimtumo, atlyginimų, pinigų apyvartos, pelno ir palūkanų normos augimas. Kai kyla pardavimų, pelno ir gamybos lūkesčiai, tokia aplinka yra labai palanki plėtrai. Todėl tokiu metu atsiranda vis daugiau naujų investicijų, kurios nuosmukio metu buvo rizikingos. Šios investicijos pakilimo metu pradedamos vykdyti. Pakilimo metu auga gamyba, didėja poreikis papildomos darbo jėgos, norima gamybos pajėgumus išnaudoti iki maksimumo.

- **Kritimas**

Tai ekonominis laikotarpis, kuris eina po pakilimo laikotarpio. Kritimo fazė prasideda, kada yra pasiekiamas aukščiausias pakilimo verslo ciklo taškas. Šiuo metu didėja produktų ir produkcijos kainos, mažėja įmonių pelnai, didėja išteklių kainos. Įmonių vadovams tenka keisti įmonių pelno planus. Gyventojų vartojimas stabilizuojasi arba pradeda mažėti.

1 pav. pateikiamas grafinis verslo ciklo atvaizdavimas.



1 pav. Verslo ciklas

Pasak [7], verslo ciklai yra neišvengiama ekonomikos proceso dalis. Žemiausias verslo ciklo taškas – nuosmukis, kuris gali pereiti į krizę gali kilti dėl finansinės krizės. Pati finansų krizė – tai pakankamai ryškūs ir dideli sutrikimai finansuose, tokie kaip staigus turto kainų kritimas, įmonių bankrotai. Vienodų krizių nebūna, jos visada skiriasi, tiek savo trukme, tiek atsiradimo priežastimi. Prieš tai pristatytas nuosmukio apibrėžimas ir neseniai aptarta finansų krizės sąvoka leidžia pastebėti, jog finansinė krizė gali būti verslo ciklo žemiausio taško dalis.

Šiame, XXI amžiuje, yra įvykusios ir gerai žinomos dvi finansinės krizės. [7] Tai 2000-aisiais metais sprogęs Dot.com „burbulas“ ir 2008-ųjų metų pasaulinė ekonominė krizė. Minėtų krizių atsiradimo vieta – Jungtinės Amerikos Valstijos. Tačiau vien tik šia šalimi krizės nesibaigė, jos taip pat buvo juntamos ir kituose pasaulio žemynuose. Šios krizės prasidėjo dėl turto kainų burbulų.

2000-ųjų metų Dot.com „burbulas“ susidarė dėl mažai prižiūrimos akcijų rinkos. Krizė truko 5-erius metus. Žmonės investavo į internetinių bendrovių akcijas, jų lūkesčiai kilo, tačiau kainos pradėjo kristi žemyn. [7] straipsnyje yra minima, jog dėl šių priežasčių žlugo akcijų rinka. Įvykus šiai krizei, jos padariniai buvo juntami viso pasaulio akcijų biržose. Po „burbulo“ sprogimo pasaulio šalys ėmėsi tvarkyti finansų rinkos klausimus, kurie turėjo padėti išvengti panašių situacijų ateityje, pavyzdžiui, JAV Federalinių atsargų sistema sumažino palūkanų normas. Tačiau ši reforma lėmė kitos krizės susidarymą, kuri buvo siejama su nekilnojamo turto rinka.

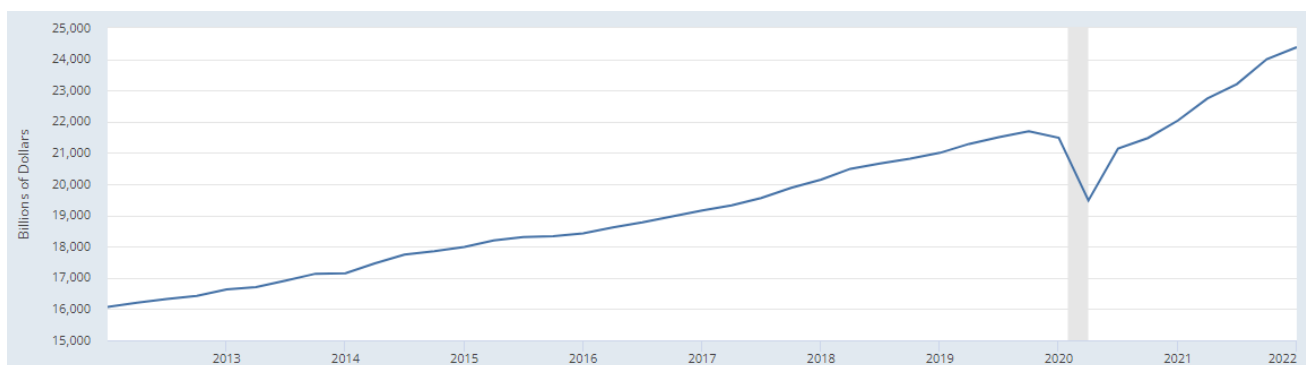
2008-ųjų metų pasaulinė krizė palietė daugelį sektorių bei valstybių ekonomikas. Straipsnyje buvo pastebėta, jog tiriant šios krizės susidarymo priežastis, kiekviena valstybė jas turėjo individualias. Kadangi krizė pradininke laikoma JAV, yra išskirtos kelios pagrindinės priežastys – vertybinių

popierių, susijusių su nekilnojamu turto, kainų kritimas bei didelis skaičius bankų suteiktų paskolų būstui įsigyti.

Po šios finansinės krizės pasaulio valstybės ėmėsi veiksmų, užkirsiančių kelią panašioms situacijoms. Šiuo atveju buvo sugriežtinta tvarka ir didesnis dėmesys skiriamas kreditų vertinimų agentūrų veiklų tikrinimui, bankai padidino savo kapitalus, pakeistas likvidumo rodiklis.

Šių, XXI amžiaus, krizių trukmė ir žala buvo skirtinga. Dot.com krizė praėjo greitai ir nepaveikė kitų sričių, tačiau labiausiai nukentėjo investuotojai. 2008-ųjų pasaulinės krizės padariniai truko gana ilgai ir prireikė daug laiko, kad valstybės atsigauntų. Įvykus šiai krizei nukentėjo ne vienas sektorius (nekilnojamo turto sektorius, finansinės institucijos, valstybių ekonomikos) [7].

Dar viena krizė, kuri įvyko neseniai – Covid-19 pandemija. Ši krizė buvo netikėta, susijusi su žmonijos sveikata, tačiau ji paveikė ne tik žmonių sveikatą, tačiau ir viso pasaulio ekonomikas. 2020-aisiais metais prasidėjusi pandemija privertė daugelio pasaulio šalių gyventojus užsidaryti namie. Dėl to, teko užsidaryti prekybos centrams, restoranams, sporto klubams, teatrams ir kitoms įstaigoms. Labiausiai dėl šios krizės nukentėjo viešbučių bei restoranų verslai, maži, privatūs verslai. Daugeliui dėl lankytojų nebuvimo teko užsidaryti. Keisčiausias šios krizės bruožas buvo toks, kad nors daugelis įmonių buvo sustabdę savo darbus, o BVP per tą laikotarpį krito, tačiau namų ūkio pajamos išaugo. Taip atsitiko todėl, kad valstybė vykdė piniginių ir fiskalinę skatinimą. 2 pav. pateikiamas JAV BVP grafikas, kuriame aiškiai matomas ryškus BVP kritimas 2020-aisiais metais, kuomet prasidėjo Covid-19 pandemija.



2 pav. JAV BVP 2012-2021 metais (milijardais dolerių, angl. *billions of dollars*)

1.2. Akcijų kainos ir akcijų indeksai

Akcijos – tai vertybiniai popieriai. Jų turėjimas savininkui suteikia turtines ir neturtines teises, dalyvauti bendrovės veikloje bei jos valdyme. Akcijos yra investicinis vertybinis popierius, kuris suteikia teisę gauti įmonės, kurios akcijas turi investuotojas, pelno dalį dividendais. Taip pat jos suteikia teisę gauti dalį turto, jei įmonė tampa nelikvidi [8].

Akcijos būna dviejų rūšių [8]:

- paprastosios akcijos. Šios rūšies akcijos sudaro didžiąją dalį įmonės akcijų. Tokių akcijų turėtojai įgyja teisę dalyvauti akcininkų susirinkimuose. Dividendai būna didesni nei privilegijuotųjų akcijų turėtojų, jei įmonė uždirba labai didelį pelną, tačiau įprastai šių akcijų turėtojams dividendai

nėra užtikrinami. Jei įmonė bankrutuoja arba yra likviduojama, paprastųjų akcijų turėtojai į turto dalybas yra įtraukiami paskutiniai;

- privilegijuotosios akcijos. Šios rūšies akcijos investuotojui užtikrina dividendus, tačiau galimybės balsuoti, turėdami šias akcijas, investuotojai neturi. Įmonėse yra apibrėžiami dividendų dydžiai, procentais nuo akcijos nominalios vertės. Didesnių dividendų šios rūšies akcijų turėtojai gauti negali, tačiau šios akcijos gali būti paverčiamos į paprastas akcijas.

Taip pat akcijos yra skirstomos į:

- vardines;
- paprastas, privilegijuotąsias;
- materialiąsias, nematerialiąsias.

Akcijų indeksai arba akcijų rinkos indeksai, tai indeksai, kurie finansų srityje padeda investuotojams palyginti norimų akcijų dabartinę kainų lygį su ankstesnėmis, istorinėmis kainomis. Akcijų indeksas sudarytas iš grupės įmonių akcijų kainų vidurkio. [8] Tokių indeksų paskirtis suteikti galimybę investuotojams investuoti ne į konkrečios bendrovės akcijas, tačiau į įvairių įmonių grupių akcijas. Akcijų indeksai gali būti sudaryti pagal regioną, pramonės sektorių, šalį ir kitus tipus. [9] Šių indeksų pagalba galima stebėti rinką, matyti ar ji kyla, o galbūt smunka arba yra stabili. Tačiau matyti pačio indekso dinamiką, o kartu ir pačios rinkos kitimą, būtina stebėjimus fiksuoti ilguoju laikotarpiu. Tik stebint pokyčius ilguoju laikotarpiu yra pastebimi pakilimai bei nuosmukiai, matomi pasikartojantys dėsningumai. Kaip jau buvo minėta anksčiau, akcijų indeksai gali būti sudaromi pagal ekonominį sektorių (energetika, medžiagos, pramonė, vartojimo prekės, būtinosios vartojimo prekės, sveikatos apsauga, finansai ir kiti.), pagal įmonių dydį (didelės, vidutinės, mažos), pagal geografinę apimtį (valstybės, tarptautiniai, pasauliniai). Patys populiariausi ir žymiausi akcijų kainų indeksai yra „Dow Jones Industrial Average“, „S&P 500“, Vokietijos „DAX“ indeksas, „Euro Stoxx 50“. 3 pav.–6 pav. apačioje yra pateikiama pagrindinių „Dow Jones Industrial Average“, „S&P 500“, „Euro Stoxx 50“ ir „DAX“ akcijų indeksų dinamika.



3 pav. „S&P 500“ indekso dinamika 1982–2022 metais



4 pav. „Dow Jones“ indekso dinamika 1982–2022 metais



5 pav. „Euro Stoxx 50“ indekso dinamika 1998–2022 metais



6 pav. „DAX“ indekso dinamika 1998–2022 metais

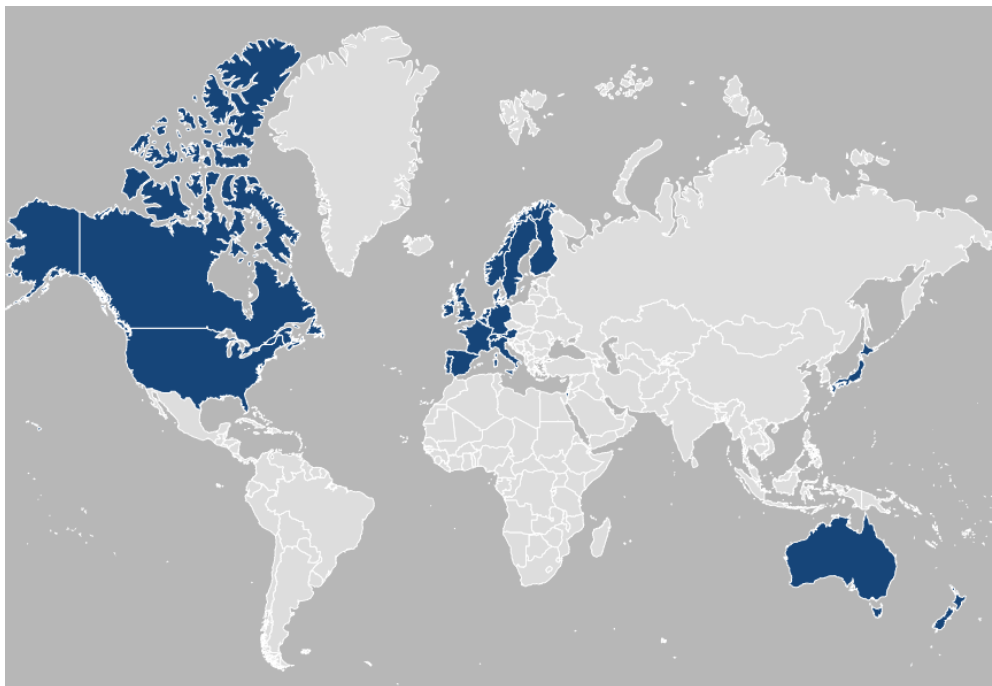
Iš pateiktų grafikų matyti, jog 3-4 pav. indeksai yra gana panašūs, pakilimai ir kritimai įvyko panašiu metu. Šių indeksų dinamikoje yra matomos 2000-ųjų ir 2008-ųjų metų krizės bei neseniai įvykusi 2020-ųjų metų Covid-19 pandemija. 5 pav. indekso dinamika yra pakankamai nepastovi. Matomi dažni svyravimai. 6 pav. indeksas kinta panašiai kaip pirmieji 3-4 pav. indeksai, tik čia yra matomi ryškesni (aštresni) kritimai ir pakilimai. Žvelgiant į šiuos grafikus galima pastebėti verslo ciklus bei jų pabaigas žyminčias krizes. Taip pat galime pastebėti verslo ciklo fazę pakilimą, kuris indeksuose atsispindi kaip aukščiausias taškas.

1.3. Akcijų rinkos. Jų ryšys su verslo ciklais

Akcijų rinka – tai virtualus mechanizmas, kuriame dalyvauja akcijų pirkėjai, leidėjai, pardavėjai bei kiti rinkos dalyviai.[1] Akcijų rinka sudaro dalį visos finansų rinkos, kurią sudaro, pavyzdžiui, vertybiniai nuosavybės popieriai ir nuo jų nėra priklausoma ar vertybiniais popieriais prekiaujama akcijų biržoje ar neprekiuojama. Akcijų rinką sudaro smulkesnės rinkos: privilegijuotų akcijų rinka ir paprastųjų akcijų rinka. Taip pat dažnu atveju į akcijas investuojantys asmenys šias rinkas skirsto į besivystančių šalių rinkas (angl. *emerging markets*) ir išsivysčiusių šalių rinkas (angl. *developed markets*) [1].

Išsivysčiusių šalių rinka dar kitaip gali būti vadinama pažangių šalių rinka. Šiai kategorijai priklauso šalys, kurios ekonomikos ir finansų rinkų požiūriu yra labiausiai išsivysčiusios. Išsivysčiusi ekonomika yra stabili ir turi gana aukštą ekonomikos augimo lygį, kapitalo rinkos yra išsivysčiusios ir prižiūrimos aukštu lygiu. Taip pat čia veikia rinkos mainai bei geras skolos ir akcijų rinkų likvidumas. Išsivysčiusioms šalims priklauso Šiaurės Amerika, Vakarų Europa, Australija, Jungtinė Karalystė, Kanada, Prancūzija, Vokietija, Italija, Japonija. Išsivysčiusios šalys pavaizduotos 7 pav. mėlyna spalva [10].

Besivystančios rinkos šalys – tai šalys su tam tikromis išsivysčiusių šalių rinkų ypatybėmis, tačiau jos nėra visiškai išsivysčiusios. Pagrindinis skirtumas, jog šios šalys turi besiformuojančią rinką ir besiformuojančią ekonomiką. Besiformuojančios rinkos nėra apribotos geografinė ar ekonomine galia, o išsivysčiusias ekonomikas riboja politinės ir geografinės ribos. Besivystančių rinkų šalys yra sparčiai augančios ir industrializuojančios. Jos yra patrauklios dėl didesnės rizikos ir grąžos lyginant su jau išsivysčiusiomis šalimis. Besivystančios šalys ateityje gali tapti išsivysčiusiomis šalimis. 8 pav. mėlyna spalva pavaizduotos besivystančios šalys [11].



7 pav. Išsivystančių šalių žemėlapis



8 pav. Besivystančių šalių žemėlapis

Terminai „akcijų rinka“ ir „akcijų birža“ yra dažnai vartojami pakaitomis, tačiau akcijų birža apima akcijų rinkos pogrupį. Kai yra prekiaujama akcijomis akcijų rinkoje, tai reiškia, jog akcijas investuotojai perka arba parduoda vienoje arba keliuose akcijų biržose. Šios biržos yra akcijų rinkos dalis. Skirtingose šalyse arba regione gali būti viena arba kelios akcijų biržos, kurios sudaro akcijų rinką. Pavyzdžiui, Jungtinėse Amerikos Valstijose yra kelios vertybinių popierių biržos, pavyzdžiui, Niujorko vertybinių popierių birža (NYSE) ir NASDAQ. Šios ir dar keletas biržų sudaro Jungtinių Amerikos Valstijų akcijų rinką. Akcijų rinka vertybinių popierių pirkėjams, pardavėjams ir apskritai investuotojams leidžia tarpusavyje sudaryti sandorius. Kadangi akcijų rinkose dalyvauja didelis skaičius dalyvių, kurie tarpusavyje konkuruoja dėl geriausių kainų, tai leidžia užtikrinti teisingas kainas bei aukštą likvidumo lygį [12].

Investavimas tiek į akcijas, tiek į akcijų rinkas yra susijęs su rizika [13]. Akcijų biržose vykstanti dienos prekyba, kada galima greitai pirkti ir parduoti turimas akcijas, remiantis kainų svyravimais, yra labai rizikinga. Todėl taikant įvairias investavimo strategijas galima saugiai ir su minimalia rizika patirti ilgalaikius nuostolius. Vienas iš būdų investuoti į akcijų rinkas ilguoju periodu – penkeriems ir daugiau metų. Šis investavimo būdas sumažina riziką patirti didelius nuostolius, lyginant su investavimu trumpuoju periodu, kuris gali trukti nuo kelių dienų iki metų.

Šio baigiamojo darbo pagrindinis dėmesys skirtas atsinaujinančių energijos išteklių bendriems akcijų kainų indeksams. Toliau lentelėje yra pateikiami literatūros šaltiniai ir gauti tyrimų rezultatai, kurių darbų tematika yra susijusi su šiuo baigiamuoju magistriniu darbu.

1 lentelė. Verslo ciklo ir akcijų kainų/rinkų ryšį analizavusių tyrėjų darbų apžvalga.

Nr.	Autoriai, straipsnio pavadinimas	Kokiu metodu buvo vykdomas darbas?	Trumpai apie gautas išvadas

1.	Taufiq Choudhry, Fotios I.Papadimitriou, Sarosh Shabi „ <i>Stock market volatility and business cycle: Evidence from linear and nonlinear causality tests</i> “, 2016	Granger'io priežastingumas	Straipsnyje yra tiriamas ryšys tarp akcijų rinkos nepastovumo ir verslo ciklo (pramonės gamybos augimo tempu) tarptautinėje aplinkoje, kurioje dalyvauja keturios ekonomikos šalys JAV, Kanada, Japonija ir Jungtinė Karalystė.
2.	Sumuya Borjigina, Yating Yang, Xiaoguang Yang, Leilei Sun „ <i>Econometric testing on linear and nonlinear dynamic relation between stock prices and macroeconomy in China</i> “, 2018	Granger'io priežastingumas	Šiame straipsnyje buvo nagrinėjama tiesinė ir netiesinė dinaminė koreliacija tarp Kinijos akcijų kainų ir makroekonomikos. Gauti rezultatai parodė, jog netiesinis Granger'io priežastinis ryšys yra stipresnis nei tiesinis Granger'io priežastinis ryšys.
3.	Deng-Kui Si, Xi-Hua Liu, Xianli Kong „ <i>The comovement and causality between stock market cycle and business cycle in China: Evidence from a wavelet analysis</i> “, 2019	Bangelių analizė (angl. Wavelet analysis)	Straipsnyje buvo nagrinėjamas santykis tarp akcijų rinkos ciklo ir verslo ciklo Kinijoje (1992 IQ – 2018 IQ). Išvadose yra pateikiama keletas svarbių punktų: cikliškas Kinijos akcijų rinkos elgesys turi įtakos verslo ciklų formavimuisi ir vystymuisi, Kinijos vyriausybė turėtų stebėti ir sušvelninti galimas rizikas, kylančias akcijų rinkoje (išlaikyti makroekonominį stabilumą).
4.	Anupam Dutta „ <i>Impact of silver price uncertainty on solar energy firms</i> “, 2019	GARCH-jump modelis	Pagrindinis šio straipsnio tyrimo tikslas buvo ištirti ar sidabro kainos neapibrėžtumas, kuris artimas sidabro nepastovumo indeksui (VXSLV), turi įtakos saulės energijos įmonių akcijų kainoms. Tyrimui atlikti buvo pasitelktas GARCH-jump metodas.
5.	Anupam Dutta „ <i>Oil and energy sector stock markets: An analysis of implied volatility indexes</i> “, 2018	Granger'io priežastingumas	Šio straipsnio tyrimu buvo siekiama įvertinti numanomus nepastovumo ryšius tarp pasaulio naftos ir JAV energetikos sektoriaus akcijų rinkų. Norint ištirti ar tarp naudojamų nepastovumo eilučių egzistuoja ko-integracija, buvo taikyti ARDL testai. Šio straipsnio išvadose minima, jog minėtas ilgalaikis ryšys tarp naftos ir akcijų rinkų numanomų nepastovumo indeksų egzistuoja. Granger'io priežastingumas parodė dvikrypčius priežastinius ryšius tarp naftos ir JAV energetikos sektoriaus akcijų nepastovumo. Taip pat buvo padaryta išvalga, jog naftos rinka pirmauja energetikos sektoriaus akcijų rinkoje neramumų laikotarpiu.
6.	M. Ghaemi Asl, G. Canarella, S. M. Miller „ <i>Dynamic asymmetric optimal portfolio</i> “	MGARCH metodas	Šio straipsnio tyrime buvo taikomas MGARCH(1,1) modelis, siekiant

	<i>allocation between energy stocks and energy commodities: Evidence from clean energy and oil and gas companies“, 2021</i>		<p>ištirti dinaminius ryšius ir perdavimo mechanizmus tarp energijos atsargų (SPGCE atsargų ir SPGO atsargų) dvi neatsinaujinančios energijos žaliavos (gamtinės dujos ir žalia nafta) ir trys žalios naftos distiliavimo produktai (kaitinamoji alyva, benzinas ir propanas).</p> <p>MGARCH(1,1) metodo pagalba buvo gautas rezultatas, jog kiekvieno sektoriaus nepastovumą įtakoja jo paties praeities sukrėtimai (ARCH efektai) ir nepastovumas (GARCH efektai).</p>
7.	A. I. Maghyreh, B. Awartani, H. Abdoh „ <i>The co-movement between oil and clean energy stocks: A wavelet-based analysis of horizon associations</i> “, 2019	Bangelių metodas (angl. Wavelet analysis)	<p>Atlikto tyrimo rezultatai parodė, jog naftos neapibrėžtumas yra teigiamai susijęs su neapibrėžtumu dviejuose pasirinktose rinkose.</p> <p>Tačiau švarios energijos (angl. <i>clean energy</i>) akcijų rizikos padidėjimas yra naudingas naftos rinkai, nes sumažina ilgalaikį naftos nepastovumą. Švarios energijos rinka šiame kontekste vertinama kaip grėsmė naftos rinkai.</p> <p>Trumpalaikis švarios technologijos nepastovumas paprastai stabilizuoja naftos rinką, o trumpalaikiai švarios energijos rinkos sukrėtimai ją didina.</p>
8.	J. C. Reboledo, A. Ugolini „ <i>The impact of energy prices on clean energy stock prices. A multivariate quantile dependence approach</i> “, 2018	ARCH ir GARCH metodai	<p>Atsinaujinančios energijos naudojimas yra būdas kovoti su klimato kaita. Tai skatina privačius investuotojus domėtis švaria energija kaip alternatyvia investavimo galimybe. Kadangi energijos kainos yra svarbus veiksnys, lemiantis švarios energijos įmonių pelningumą, investuotojai turi įvertinti energijos kainų riziką, kad galėtų tiksliai įvertinti riziką investuojant į aplinką tausojančias įmones.</p> <p>Atliktas straipsnio tyrimas ir turimi faktai turi įtakos investuotojams ir politikos formuotojams. Pasak straipsnio autorių, investuotojai turėtų atkreipti dėmesį į ekstremalius energijos kainų svyravimus, ypač į elektros kainas ES ir naftos kainas JAV, nes tai sukelia neigiamą arba didesnę riziką. Politikos formuotojai, įgyvendindami savo politiką, turi žinoti, kad mažėjantys energijos kainų pokyčiai atgraso nuo paskatų investuoti į atsinaujinančius</p>

			energijos šaltinius, o energijos kainų kilimas gali paskatinti investicijas į atsinaujinančius energijos šaltinius, nereikalaujant specialios energetikos politikos paramos.
9.	T. Xia, Q. Jia, D. Zhang, J. Han <i>„Asymmetric and extreme influence of energy price changes on renewable energy stock performance“</i> , 2019	ARMA-GARCH metodas	Straipsnio tyrime pirmiausia tiriama priklausomybė tarp iškastinės energijos produktų gražos ir atsinaujinančios energijos plėtos. Padarytos išvados rodo, kad įvairūs iškastinės energijos produktai iš tiesų daro skirtingą poveikį atsinaujinančios energijos plėtrai pradinio gražos lygiu, ypač elektros, naftos ir anglies. Be to, buvo pastebėta, jog ekstremalios rizikos situacijose rezultatai pasikeitė. Atsinaujinančios energijos rinka čia tapo grynąja informacijos teikėja įvairiems iškastinės energijos produktams VaR ryšio tinkle. Tai rodo, kad atsinaujinančios energijos plėtra gali pakeisti pasaulinio energijos vartojimo modelį, pakeisdama esamą energijos balansą ir rinkos kainų lygį.
10.	M. Kazemilari, A. Mardani, D. Streimikiene, E. K. Zavadskas <i>„An overview of renewable energy companies in stock exchange: Evidence from minimal spanning tree approach“</i> , 2017	Grafų teorija (angl. <i>Minimum spanning tree</i>)	Straipsnio tyrime atliktos analizės rezultatai parodė, kad saulės energijos įmonės buvo pirmoje vietoje (46 proc.), o bendrosios įmonės su 26 proc. – antroje vietoje. 70 į sąrašą įtrauktų atsinaujinančios energijos įmonių buvo iš 17 skirtingų šalių: JAV su 19 įmonių (27 %) buvo pirmoje vietoje, o Kanada su devyniomis įmonėmis (13 %) – antroje vietoje. MST analizės rezultatai parodė, kad „General Cable Corporation“, „First Solar. Inc“ ir „Trina Solar“ yra pagrindinės tinklo akcijos. Šiuo tyrimu buvo bandoma atrinkti svarbiausias atsinaujinančios energijos įmones visame pasaulyje, taip pat buvo atrinktos skirtingos įmonės, saulės, vėjo, geoterminės energijos ir kitos.
11.	A. Dutta, E. Bouri, T. Saeed, X. VinhVod <i>„Impact of energy sector volatility on clean energy assets“</i> , 2020	Markovo režimo sukeitimo procesas (angl. Markov regime switching process)	Tyrimo išvados teigiama, kad energetikos sektorius turi neigiamą poveikį atsinaujinančios energijos išteklių investiciniams fondams. Be to, kai energetikos sektoriaus nepastovumo lygis yra didelis ryšys tarp atsinaujinančių energijos išteklių yra stipresnis nei esant mažam nepastovumo režimui.

12.	<i>J. C.Reboredo „Is there dependence and systemic risk between oil and renewable energy stock prices?“, 2015</i>	ARMA metodas	Kylantis susirūpinimas dėl klimato kaitos ir brangaus iškastinio kuro, investuotojus skatina domėtis atsinaujinančių energijos ištekliais ir jų plėtra. Tokie atsinaujinantys energijos šaltiniai kaip saulė, vėjas ir biokuras, jų finansiniai rezultatai labai priklauso nuo naftos kainų. Todėl investuotojams labai svarbu įvertinti riziką, kuri kyla dėl naftos kainų pokyčių. Šiame straipsnyje buvo tiriamas 2005–2013 metų laikotarpis. Buvo pastebėta, jog šio laikotarpio naftos kainų grąžos yra priklausomos nuo atsinaujinančių energijos išteklių akcijų indeksų. Šis straipsnis dar kartą įrodė, jog naftos kainos ir atsinaujinančios energijos išteklių akcijų kainos yra priklausomos viena nuo kitos, jos tuo pačiu metu kyla ir krenta.
13.	<i>R. Ferrera, S. J. H. Shahzad, R. López, F. Jareño, „Time and frequency dynamics of connectedness between renewable energy stocks and crude oil prices“, 2018</i>	VAR ir GARCH metodai	Šiame darbe buvo nagrinėjamas Jungtinių Amerikos Valstijų atsinaujinančios energijos įmonių akcijų kainos bei naftos kainos su keliais finansiniais kintamaisiais. Kituose moksliniuose straipsniuose yra sakoma, jog atsinaujinantys energijos šaltiniai turi priklausomybę nuo naftos kainų, tačiau šiame tyrime yra parodoma, kad jau nuo 2018 metų priklausomybės nelieka. Naftos kainos nebeturi lemiamos vaidmens pagrindžiant atsinaujinančios energijos išteklių akcijų kainų kitimą trumpuoju ar ilguoju laikotarpiu. Todėl straipsnyje yra teigiama, jog šiuos pokyčius greičiausiai gali lemti tokie veiksniai kaip technologijų naujovės, įmonių kapitalo išlaidos, įvairūs teisės aktai arba geografinis prieinamumas. Nafta ir atsinaujinantys energijos šaltiniai yra naudojami įvairiems pasaulio poreikiams tenkinti, didėja atsinaujinančių energijos išteklių sąnaudų konkurencingumas, vis daugiau įmonių pradeda verstis šia veikla.
14.	<i>J. Inchauspe, Ronald D. Ripple, S. Trück, „The dynamics of returns on renewable energy companies: A state-space approach“, 2015</i>	Granger'io priežastingumas	Šiame darbe buvo tiriama perteklinė grąžų dinamika atsinaujinančiose energijos sektoriaus įmonėse „WilderHill New Energy Global Innovation Index“. Gauti rezultatai rodo, jog MSCI World indeksas bei technologijų akcijos turėjo žymiai

			didesnę įtaką nei naftos kainų pokyčiai. Tačiau naftos kaina turėjo didesnę įtaką nuo 2007-ųjų metų. Tyrime taip pat buvo pastebėta jog pasaulinio inovacijų indekso (NEX) grąža labai koreliuoja su MSCI pasauliniu indeksu. Taip pat pastebėta, jog MSCI indeksas pagrindinį vaidmenį vaidina kainodaros veiksnys atsinaujinančios energijos įmonėms.
--	--	--	---

1.4. Atsinaujinantys energijos šaltiniai

Vis dažniau moksliniuose straipsniuose ir literatūroje yra analizuojamas ryšys tarp akcijų rinkų ir verslo ciklo. Daugelyje mokslinių straipsnių yra rašoma, jog būtent toks ryšys egzistuoja ir jis yra gana stiprus. Viena iš priežasčių yra tokia, kad į akcijų rinkas investuojantys asmenys investuoja į įvairias akcijas tada, kada nori, tiki ir laukia gerų rezultatų, o būtent geri įmonių rezultatai investuotojams parodo, kad ekonomika ir jos padėtis yra gera. Todėl staiga pasikeitus akcijų rinkų padėčiai, pavyzdžiui, joms pradėjus kristi, galima manyti, jog ekonomika elgsis panašiai, taip pat pradės kristi (smukti). Analogiška situacija įvyktų, jei akcijų rinkų kainos pradėtų kilti – artimiausiu metu galima būtų laukti ekonomikos augimo. Apibendrinant šią pastraipą, galima sakyti, jog ne viename literatūros šaltinyje atliktame tyrime buvo parodyta, jog egzistuoja ryšys tarp ekonomikos ciklo ir akcijų rinkų [2, 3, 4].

Šiandieninio pasaulio kontekste vis didesnę susirūpinimą kelia klimato kaita bei iškastinio kuro brangimas. Šis procesas skatina atsinaujinančios energijos išteklių sektoriaus plėtrą. Įmonės, kurios užsiima aplinkai nekenksminga veikla stengiasi pritraukti kuo daugiau investuotojų ir investicinių fondų lėšų, kad galėtų vystyti atsinaujinančios energijos išteklių veiklas, tokias kaip saulės, vėjo ir biokuro. Straipsnyje [12] analizuojama, jog šių atsinaujinančių energijos išteklių rezultatai labai priklauso nuo naftos kainos. Būtent naftos kainos iš dalies lemia ekonomikos pasikeitimą perėjimą nuo iškastinio kuro prie atsinaujinančios energijos išteklių. Kai akcijų rinkose šiandien labai daug atsinaujinančių energijos išteklių indeksų ir jais pasitikinčių investuotojų, atsiranda poreikis matyti, kaip naftos kainos veikia šiuos indeksus, kokia rizika kyla dėl kylančių naftos kainų pokyčių. Nemažiau šis klausimas svarbus ir politikams, kurie gali sukurti veiksmingas ir dar veiksmingesnes priemones, kurios būtų naudojamos atsinaujinančios energijos išteklių sektoriui skatinti.

Atsinaujinančios energijos šaltiniai (AEI) – tai yra gamtos energijos ištekliai, kurie atsiranda ir atsinaujina gamtos pagalba. Gamtos energijos išteklių būna kelių rūšių: vėjo, saulės šviesos, jūrų bangavimo, upių tekėjimo, atoslūgių ir potvynių, geoterminės energijos ir biomasės augimo. Daugelio atsinaujinančiųjų energijos išteklių pradinis šaltinis yra saulės energija.

2017 m. pabaigoje pasaulinėje elektros gamyboje atsinaujinantys energijos šaltiniai (AEI) sudarė 26,5%, iš kurių 16,4% išgaunama iš hidroelektrinių, 5,6% iš vėjo jėgainių, 1,9% iš saulės jėgainių, 2,6% kitų šaltinių. Atsinaujinančios energijos išteklių naudojimas Šiaurės ir Pietų Amerikoje, Europoje, Azijoje sparčiai auga. Labiausiai ir greičiausiai auga vėjo ir saulės energijos sektoriai.

Kinija, JAV, Vokietija yra didžiausios atsinaujinančios energetikos naudotojos šalys. AEI daugiausiai yra naudojami trijose srityse: elektrai gaminti, šilumai gauti ir biodegalams gaminti. [13]

Siekiant skatinti atsinaujinančios energetikos sektoriaus plėtrą ir spręsti klimato kaitos keliamus uždavinius yra būtina ir svarbu šiam sektoriui skirti pinigų, jį finansuoti. 2015 m. vykusioje Jungtinių Tautų klimato kaitos konferencijoje, būtent į šį dalyką buvo atkreiptas dėmesys. Privačios investicijos į atsinaujinančią energiją vis labiau populiarėja, tačiau šių investicijų egzistavimas laikui bėgant labai priklauso nuo pelningumo ir finansinės rizikos, kuri yra susijusi su atsinaujinančios energijos įmonėmis.

Naftos kainų dinamika daro įtaką atsinaujinančių energijos šaltinių įmonių veiklos rezultatams, nes išsenkančius energijos išteklius pakeisti tvariais energijos ištekliais daugiau ar mažiau pelninga. Investuotojams, kurie nori įvertinti savo investicijų į atsinaujinančią energiją riziką bei atsinaujinančios energijos įmonių veiklą, kai naftos kainos yra aukštos ir žemos, taip pat naudinga. Politikai turi geriau suprasti, kaip naftos kainos veikia atsinaujinančios energijos pramonę. Atsižvelgiant į tai, valstybės parama, kuria siekiama laipsniškai mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro ir anglies dvideginio išmetimo, galėtų būti sumažinta.

Toliau pateikiama keletas literatūros šaltinių bei jų apžvalga, kuriuose buvo nagrinėjamas naftos kainų poveikis atsinaujinančios energijos įmonių finansiniams rezultatams. Moksliniame straipsnyje [15] rašoma apie žalingo naftos kainų ir atsinaujinančios energijos bendrovių akcijų kainų, įtrauktų į pagrindines JAV vertybinių popierių biržas, Granger'io priežastinį ryšį. [12] Pateikiami nepastovumo tarp naftos kainų ir alternatyvios energijos atsargų įrodymai, be to [17] parodyta, jog naftos kainų kilimas turi teigiamą poveikį atsinaujinančios energijos atsargų beta versijai. [18] užfiksuotas vidutinis ir nepastovus šalutinis poveikis tarp Kinijos atsinaujinančios energijos ir iškastinio kuro bendrovių. [17] atskleista, kad kylančios naftos kainos, skirtingai nei anglies kainos, daro didelę įtaką atsinaujinančios energijos akcijų kainoms. Taikant skirtingus ekonometrinius metodus, visi pirmiau minėti tyrimai pateikia vidutinės naftos ir atsinaujinančios energijos atsargų kainų priklausomybės įrodymus.

Moksliniame straipsnyje [19] yra kalbama apie daugialypę priklausomybę tarp atsinaujinančios energijos akcijų kainų indeksų ir naftos, dujų, elektros ir anglies kainų Europos Sąjungoje ir Jungtinėse Amerikos Valstijose, 2009 m. sausio mėn. ir 2016 m. rugsėjo mėn. laikotarpiu. Straipsnyje yra kalbama, kad elektros ir naftos kainos vaidina svarbų vaidmenį, kai reikia nustatyti sąlyginę priklausomybę, atitinkamai Europos Sąjungoje (ES) ir Jungtinėse Amerikos Valstijose (JAV). Naftos kainų poveikis atsinaujinančios energijos kainoms yra simetriškas, todėl ekstremalūs naftos kainų pokyčiai pakilimai ir kritimai turi panašų poveikį akcijų kainoms ir analizuojant skirtingų energijos kainų kiekybinį poveikį yra pastebima, kad naftos kainų pokyčiai vaidina svarbų vaidmenį užtikrinant atsinaujinančios energijos kainų dinamiką, ypač esant dideliems naftos ir energijos kainų svyravimams ES ir JAV. Be to, naftos kainos yra pagrindinis naujų energijos akcijų kainų pokyčių JAV veiksnys, todėl kitoms energijos kainoms tenka nežymus vaidmuo. ES svarbesnį vaidmenį formuojant atsinaujinančios energijos akcijų kainas vaidina elektros energijos kainos. Anksčiau išvardinti moksliniai tyrimai daro įtaką tiek investuotojams, tiek politikams.

Energijos kainų pokyčiai, ypač elektros energija ES ir nafta JAV, yra svarbūs nustatant atsinaujinančios energijos atsargų kainas, todėl rinkos jėgos, didinančios arba mažinančios energijos

kainas, skatina asimetriškai investuoti į atsinaujinančius energijos šaltinius, pavyzdžiui, energijos kainų kilimas į viršų skatina atsinaujinančias investicijas be specialios paramos vykdant žaliosios energetikos politiką, o mažėjant energijos kainoms, neskatinama investuoti į atsinaujinančius energijos šaltinius, kuriems reikalinga parama vykdant žaliosios energijos politiką.

Straipsnyje [20] analizuojama kaip naftos ir atsinaujinančios energijos atsargų kainos juda kartu. Šioje analizėje yra naudojama sąlyginės rizikos vertės (CoVaR) sisteminės rizikos priemonė, kurią pasiūlė Adrian'as ir Brunnermeier'as [21] bei apibendrino Girardi's ir Ergün'as [22]. „CoVaR“ atspindi naftos kainų riziką, matuojamą kaip investicijos į atsinaujinančios energijos atsargas rizikos vertę (VaR) su sąlyga, kad naftos rinkos patiria didžiulį kainų judėjimą. Taigi „CoVaR“ pateikia kiekybinius įrodymus apie ypač aukštų ar žemų naftos kainų poveikį atsinaujinančios energijos akcijų kainoms bei naftos kainų sisteminės rizikos indėlį į atsinaujinančios energijos kainas, sisteminės rizikos pokyčius bėgant laikui ir galiausiai simetriškas ar asimetriškas naftos kainų pokyčių sisteminės rizikos poveikį. Sisteminės atsinaujinančios energijos akcijų investicijų rizikos įvertinimas yra nepaprastai svarbus siekiant optimalios portfelio strategijos, kai investuotojai atlieka naudingumo funkciją, kuriai būdinga kuo mažesnė „CoVaR“, nes daugiau dėmesio skiriama tokio tipo rizikai sumažinti nei tada, kai dėmesys skiriamas portfelio skirtumų mažinimui [23]. Be to, sisteminės rizikos apskaita labai svarbi kuriant optimalias portfelio investavimo strategijas, nes tokia rizika daro įtaką diversifikacijos naudai, o potencialūs sisteminės rizikos šuoliai greičiausiai gali pakeisti optimalų portfelio svorį [24]. Tyrime yra įrodyta, kad naftos ir atsinaujinančios energijos rinkos yra susietos. Šiomis aplinkybėmis į rinką orientuotos paskatos skatinti atsinaujinančiosios energijos sektoriaus plėtrą yra veiksmingos, kai naftos kainos aukštos, nes padidėja atsinaujinančios energijos projektų ekonominis perspektyvumas, tačiau žemos naftos kainos neskatina investuoti į atsinaujinančią energiją ir sumažina atsinaujinančios energijos įmonių vertę. Taigi į politiką orientuotose strategijose, kuriomis siekiama palengvinti perėjimą prie tvarios energetikos sistemos, turėtų būti atsižvelgiama į šį poveikį ir jos turėtų būti įgyvendinamos asimetriškai, tai yra, sustiprintos, kai naftos kainos žemos ir sušvelnintos, kai naftos kainos yra aukštos, atsižvelgiant į tai, kad į rinką orientuotos paskatos bus atitinkamai silpnos ir stiprios. Dar vienas įdomus tyrimas buvo atliktas ir aptartas straipsnyje [25]. Čia buvo nagrinėjama tema ar yra priklausomybė ir sisteminė rizika tarp naftos ir atsinaujinančios energijos išteklių. Atliekant tyrimą buvo nustatyta, jog yra didelis laiko kintamumo vidurkis bei simetriška priklausomybė tarp naftos grąžos ir kelių atsinaujinančios energijos indeksų (pasaulinių ir sektoriinių). Gauti rezultatai parodė, jog naftos kainų dinamika apie 30% gana reikšmingai prisideda prie atsinaujinančios energijos įmonių rizikos mažinimo bei augimo.

Tyrime [26] buvo analizuojama tema apie energetikos nepastovumo įtaką atsinaujinantiems energijos ištekliams. Moksliniame straipsnyje buvo tiriamas nepastovumo (neapibrėžtumo) poveikis atsinaujinančiais energijos ištekliams prekiaujančiuose fonduose. Tyrimui atlikti buvo pasitelktas Markov'o režimo keitimo procesas (angl. *Markov regime switching process*), o išvadose buvo atskleista, jog energetikos poveikis atsinaujinančios energijos ištekliams prekiaujančiuose fonduose yra neigiamas. Pagal gautus rezultatus nustatyta, jog energetikos sektoriaus įmonių nepastovumo lygis yra didelis, todėl numanoma, jog dėl to atsinaujinančios energijos išteklių akcijų grąžos turi tendenciją mažėti.

Pastaraisiais dešimtmečiais vartojant per daug tradicinio iškastinio kuro ir dėl to kylant aplinkos taršos problemoms, atsinaujinanti energija tapo pagrindiniu pasirinkimu pereinant prie energijos ir

vystant mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančių technologijų šaltinius. Remiantis „Renewables (2019) global status report launched by the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21)“, kurią paskelbė atsinaujinančios energijos politikos tinklas, 2017 m. atsinaujinanti energija sudarė apie 18,1% viso galutinio energijos suvartojimo. Ir jos daugiausia buvo sutelkta energijos gamybos sektoriuje. Be to, vis daugiau šalių turi daugiau nei 20% atsinaujinančių energijos šaltinių.

Atsinaujinančios energijos sektorius per pastarąjį dešimtmetį smarkiai išaugo pasaulio ekonomikoje. [27] Tarptautinės energetikos agentūros (TEA) vertinimai rodo, kad atsinaujinanti energija bus sparčiausiai auganti pasaulinės energijos paklausos dalis, kurios metinis augimo tempas per ateinančius du dešimtmečius bus didesnis nei 7% (Tarptautinė energetikos agentūra, 2009 m.). Dalis šios raidos gali būti siejama su vyriausybės politika, kylančiomis naftos kainomis ir besikeičiančių akcijų rinkos likvidumo investicijomis į atsinaujinančios energijos įmones sąsaja. Yra sukurti keli atsinaujinančios ar švarios energijos atsargų indeksai, pavyzdžiui, „WilderHill New Energy Global Innovation Index“ (NEX), „WilderHill Clean Energy Index“ (ECO) arba „S&P Global Clean Energy Index“ (SPGCE).

„WilderHill New Energy Global Innovation Index“ (NEX) galima laikyti pirmuoju ir pirmaujančiu atsinaujinančios, švarios ir alternatyvios energijos atsargų pasauliniu akcijų rinkos indeksu. Indeksas orientuotas į atsinaujinančios energijos gamybą ir naudojimą, atsinaujinančios energijos efektyvumą, išsaugojimą ir pažangą. Šį indeksą sudaro 106-ios įmonės 25-iose šalyse. Indekso bendros rinkos pajamos viršija 250 mlrd. dolerių. NEX portfelis yra labai diversifikuotas atsinaujinančios energijos sub-sektoriuose. Nuo 2013 m. rugsėjo mėn. NEX investicijas sudarė: saulės energija (20,6%), vėjo energija (15,1%), biokuras ir biomasė (13,9%), atsinaujinančios energijos efektyvumas (34,8%), energijos kaupimui ir konversijai (3,4%) bei su atsinaujinančia energija susijusiems projektams (12,2%). Investicijų paskirstymas regionuose: Amerikoje yra 43,8%, Azijoje ir Okeanijoje – 29,1%, Europoje, Viduriniuose Rytuose ir Afrikoje – 27,1%. Įmonių, gaminančių atsinaujinančią energiją atsargos sudaro palyginti nedidelę „WilderHill Clean Energy Index“ (ECO) indekso dalį, NEX daugiau dėmesio skiria saulės, vėjo, biomasės ir kitos atsinaujinančios energijos gamybai. ECO indeksas daugiau dėmesio skiria maitinimo šaltiniams, energijos transportavimui, elektros energijos kaupimui ir švaresnio kuro įmonėms. Taip pat, NEX visame pasaulyje yra diversifikuota, o ECO indeksas yra labiau orientuotas į Šiaurės Amerikos firmas. Be to, ECO indeksas yra įtrauktas tik į JAV, o NEX į daugelio pasaulio rinkų ir kelių valiutų sąrašus. Atsinaujinančios energijos indekso NEX pajamos taip pat yra žymiai didesnės nei ECO indekso. Manoma, kad NEX suteikia tinkamas charakteristikas analizuoti investicijas ir atsinaujinančios energijos atsargų rezultatus pasauliniu mastu.

2-oje lentelėje apačioje pateikiamos didžiausios atsinaujinančios energijos išteklių įmonės Jungtinėse Amerikos Valstijose 2022-aisiais metais.

2 lentelė. Penkios didžiausios atsinaujinančios energijos išteklių įmonės JAV 2022-aisiais metais (pagal [28]).

Atsinaujinančios energijos išteklių įmonės	Simbolis akcijų biržose	Įmonės vertė
NextEra	(NYSE:NEE)	169,8 milijardai dolerių
Brookfield Renewable	(NYSE:BEP) (NYSE:BEPC)	13,6 milijardai dolerių

Clearway Energy	(NYSE:CWEN) (NYSE:CWEN.A)	7 milijardai dolerių
First Solar	(NASDAQ:FSLR)	8,3 milijardai dolerių
SolarEdge Technologies	(NASDAQ:SEDG)	17,5 milijardai dolerių

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas.

Taigi, ryšys tarp akcijų rinkos nepastovumo ir verslo ciklo yra labai svarbus politikoje ir sprendimams dėl tolimesnių investicijų priėmimo. Pasak [29], dauguma mokslinių tyrimų yra apie akcijų rinkos nepastovumą, kaip tai skiriasi nuosmukio ir pakilimo laikotarpiais, kaip gali šis nepastovumas būti prognozuojamas pagal įvairius makroekonominis kintamuosius. Kadangi tyrimuose daugiausiai dėmesio yra skiriama nepastovumo matavimui, modeliavimui ir prognozavimui, o ne tyrinėjimui ir analizavimui sąsajų su pagrindiniais ekonominiais veiksniais, šiame darbe bus tyrinėjamas atsinaujinančių energijos šaltinių kainų indeksų ryšys su Jungtinių Amerikos Valstijų ekonomiais rodikliais. Apibendrinant visą ekonominės literatūros dalį, baigiamajame darbe nagrinėjami tokie klausimai:

- Ar yra priežastinis ryšys tarp verslo ciklų ir atsinaujinančios energijos išteklių akcijų indeksų nepastovumo?
 - Jei šis ryšys egzistuoja, koks jis, tiesinis ar ne?
 - Išnagrinėti akcijų indekso nepastovumo ir verslo ciklo dinamiką.

Tyrimo tikslas. Pagrindinis šio darbo tikslas – ryšio tarp atsinaujinančios energijos akcijų indeksų ir pasirinktos šalies ekonominių rodiklių nustatymas.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros apžvalgą bei nuspręsti, kokie metodai bus naudojami baigiamajame darbe;
2. Pasiruošti tyrimo duomenis: pasirinkti tyrimui reikalingus atsinaujinančios energijos šaltinių akcijų indeksus bei juos palyginti su pasirinktos šalies ekonomiais rodikliais;
3. Atlikti analizę, naudojantis rinkos vertinimo metodais:
 - 3.1. GARCH (1, 1);
 - 3.2. Tiesiniu Granger'io priežastingumu su VAR;
 - 3.3. Tiesiniu Granger'io priežastingumu pagal TYDL;
 - 3.4. Netiesiniu Granger'io priežastingumu naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais;
4. Pavaizduoti atsako į impulsus grafikus, kuriuose būtų matoma, kaip kintamieji veikia vienas kitą;
5. Apibendrinti gautus rezultatus.

2. Tyrimų metodai ir objektas

2.1. GARCH (1, 1) metodas

Nagrinėjant mokslinės literatūros straipsnius, susijusius su atsinaujinančios energijos rinkų tyrimais, yra pasitelkiama įvairiausių metodų šias rinkas tirti ir analizuoti vienokiu ar kitokiu būdu. Finansų rinkos, akcijų kainos gana impulsyviai reaguoja į įvairius politinius įvykius, ekonomines krizes, karus ar gamtinius reiškinius bei nelaimes. Tokiais laiko momentais įvairių investicijų kainos yra linkusios gana stipriai svyruoti ir keistis. Statistiškai tai reiškia, jog sąlyginė dispersija praeities duomenims

$$\text{Var}(X_t | X_{t-1}, X_{t-2}, \dots) \quad (1)$$

nera pastovi laikui ir pats procesas X_t yra sąlygiškai heteroskedastinis. Kitaip tariant, nepastovumas

$$\sigma_t = \sqrt{\text{Var}(X_t | X_{t-1}, X_{t-2}, \dots)} \quad (2)$$

keičiasi bėgant laikui [30]. Sąlyginės heteroskedastinės laiko eilutės dažnai naudojamos finansų literatūroje modeliuojant akcijų kainas, valiutų kursus ar palūkanų normų raidą [31]. Sąlyginio heteroskedastiškumo modeliai laiko eilutėms yra labai svarbūs finansinės rizikos valdyme ir ne tik. Tarkime, kad yra stebimos investicijų kainos P_t diskrečiu laiku. Manoma, jog P_t yra nestacionarūs, todėl dažniausiai šios laiko eilutės yra transformuojamos apskaičiuojamos jų logaritminės grąžos (angl. *log-returns*).

$$X_t = \log P_t - \log P_{t-1}. \quad (3)$$

Logaritminės grąžos (angl. *log-returns*) manoma, kad yra stacionarios bent jau tam tikru laikotarpiu. Anksčiau buvo teigiama, jog X_t yra nepriklausomų identiškausiai pasiskirsčiusių atsitiktinių dydžių seka.

Apibendrintas autoregresinis sąlyginis heteroskedastiškumas (GARCH) procesas yra ekonometrinis terminas, kurį sukūrė ekonomistas Robertas F. Engle'as, 2003 m. Nobelio memorialinės ekonomikos premijos laureatas. GARCH procesas yra būdas įvertinti finansų rinkų nepastovumą. GARCH turi keletą modeliavimo formų. Finansų srities specialistai, kai bando numatyti finansinių priemonių kainas ir normas, dažniausiai pirmenybę teikia GARCH procesui, nes jis suteikia daugiau realaus konteksto. Įvairios institucijos naudoja šį modelį, kad galėtų įvertinti akcijų, obligacijų, rinkos indeksų grąžos nepastovumą. Panaudojus šį procesą galima nustatyti, kuri investicija duos didesnę grąžą, taip pat galima prognozuoti dabartinių investicijų grąžą. Tai žinant galima valdyti riziką, optimizuoti portfelį. GARCH procesai yra autoregresiniai, priklauso nuo praeities stebėjimų kvadratu (angl. *past squared observations*) ir praeities dispersijų, kurios modeliuoja dabartinę dispersiją. GARCH procesu yra siekiama sumažinti prognozavimo klaidas atsižvelgiant į ankstesnes prognozavimo klaidas bei padidinti vykdomų prognozių tikslumą [32].

GARCH metodas yra apibendrintas autoregresinis sąlyginis heteroskedastiškumas. Tai statistinis modelis, kuris skirtas analizuoti laiko eilutes, kur dispersijos paklaida nuosekliai koreliuoja. GARCH modelis gali būti naudojamas įvairių tipų finansinių duomenų analizei, tačiau šis modelis dažniausiai naudojamas norint įvertinti akcijų, obligacijų ir rinkos indeksų grąžos nepastovumą bei prognozuoti finansinio turto grąžos nepastovumą [33]. GARCH (m, s) modelis užrašomas formule, kur m yra σ^2 , o s yra ϵ^2 :

$$a_t = \sigma_t \epsilon_t, \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i a_{t-1}^2 + \sum_{j=1}^s \beta_j \sigma_{t-j}^2, \quad (4)$$

Kaip pavyzdys toliau yra pateikiamas GARCH(1, 1) modelis:

$$\begin{cases} \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \\ 0 \leq \alpha_1, \beta_1 \leq 1 \\ \alpha_1 + \beta_1 < 1 \end{cases} \quad (5)$$

Tokio modelio stiprybės ir silpnybės yra:

1. Didelis a_{t-1}^2 arba σ_{t-1}^2 duoda didelį σ_t^2 . Tai reiškia, kad didelis a_{t-1}^2 sekos ir didelis a_t^2 , o tai generuoja nepastovumo klasterizavimą finansinėse laiko eilutėse.
2. Tai gali būti pavaizduota kaip:

$$1 - 2\alpha_1^2 - (\alpha_1 + \beta_1)^2 > 0, \quad \text{tada} \quad \frac{|E(a_t^4)|}{[E(a_t^2)]^2} = \frac{3[1 - (\alpha_1 + \beta_1)^2]}{1 - (\alpha_1 + \beta_1)^2 - 2\alpha_1^2} > 3 \quad (6)$$

Iš šios lygties yra žinoma, jog panašiai kaip ir ARCH modeliuose, „uodegos“ pasiskirstymas modelyje GARCH (1, 1) yra sunkesnis nei įprastas.

3. GARCH modelis pateikia paprastą parametrinę funkciją, kuri gali būti naudojama apibūdinti nepastovumo raidą.

GARCH modeliai apibūdina finansų rinkas, kuriose nepastovumas gali keistis, pavyzdžiui nepastovesnis tampa finansų krizių ar pasaulinių įvykių laikotarpiais ir mažiau nepastovumo santykinai ramaus ir stabilaus ekonomikos augimo laikotarpiais. Finansinių laiko eilučių nepastovumas (angl. *volatility*), tai modelis, kai laiko eilutėje yra stilizuoti faktai (angl. *stylized facts*). Tokias laiko eilutės galima modeliuoti naudojantis ARCH/GARCH metodais. Taip pat didžiausias nepastovumas yra matomas tuose verslo ir ekonomikos duomenyse, kurie yra paveikti stilizuotų faktų. Šie faktai, turintys didelę įtaką laiko eilučių modeliavimui dar kitaip vadinamos „uodegos“, nepastovumo klasterizavimas ir netiesinės priklausomybės. Ekonominiuose duomenyse nepastovus klasterizavimas gali turėti įtakos modelių prognozavimo rezultatams. Todėl norint turėti tikslią prognozę yra taikomas GARCH, kintamumui modeliuoti [34].

GARCH metodo priežastingumui įvertinti gali būti naudojami keli tikrinimo būdai [35]. Vienas iš tokių būdų yra CCF testas. Remiantis kvadratinėmis liekanomis $\hat{\xi}_{i,t}^2 = \frac{\epsilon_{i,t}^2}{\hat{\sigma}_{i,t}^2}$, kur $\hat{\sigma}_{i,t}^2$ yra sąlyginė dispersija $\epsilon_{i,t}$, naudojantis vienmačiu GARCH metodu, galime apibrėžti statistiką, kuri patikrina nulinę dispersijos ne priežastingumo hipotezę:

$$H_0 : \epsilon_{j,t} \overset{V}{\nrightarrow} \epsilon_{i,t}, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{J}. \quad (7)$$

Testo statistika yra grindžiama imčių kryžminėmis koreliacijomis ir yra užrašoma:

$$P_m = T \sum_{l=1}^m r_{ij,l}^2, \quad i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{J}, \quad (8)$$

Kur

$$r_{ij,l} = \frac{c_{ij,l}}{\sqrt{c_{ii,0}c_{jj,0}}}, \quad c_{ij,l} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\xi_{i,t}^2 - \bar{\xi}_i^2)(\xi_{j,t-l}^2 - \bar{\xi}_j^2), \quad (9)$$

$$\overline{\xi_t^2} = T^{-1} \sum_{t=1}^T \xi_{t,t}^2. \quad (10)$$

CCF testas yra patrauklus naudoti, nes jį lengva apskaičiuoti.

Sekantis tikrinimo būdas taikomas GARCH metodui yra pseudo tikimybių santykio statistika (angl. *A pseudo likelihood ratio statistic*). Priežastingumo tikrinimui naudojama formulė:

$$LR = T \log \frac{\sigma_v^2}{\sum_{u,11}}. \quad (11)$$

Mokslinio straipsnio [36] tyrime yra naudojami keturi GARCH modelio tipai: standartinis GARCH modelis, GJR-GARCH, APARCH, csGARCH. Straipsnyje [37] pagrindinis dėmesys yra skiriamas gražos ir nepastovumo sąsajų tyrimui įvairiais būdais. Taip pat buvo naudojamas bangelių dinaminės sąlyginės koreliacijos daugiamatis GARCH modelis (DCC-GARCH).

2.2. Vektorinė autoregresija (angl. *Vector Autoregression*) (VAR)

Vektorinis autoregresinis modelis (VAR) yra kelių kintamųjų laiko eilučių modelis, kuris susieja dabartinius kintamojo stebėjimus su ankstesniais savo paties stebėjimais ir ankstesniais kitų kintamųjų stebėjimais. Vektorinės autoregresijos modeliai skiriasi nuo vienmačių autoregresinių modelių tuo, kad vektoriniai autoregresiniai modeliai sukuria grįžtamąjį ryšį tarp modelio kintamųjų. Vienas iš pavyzdžių gali būti toks, kaip bendrasis vidaus produktas (BVP) priklauso nuo politikos normų arba kaip politinė norma veikia bendrąjį vidaus produktą.[38]

VAR modelis yra vienas lanksčiausių ir lengviausiai naudojamų modelių daugiamatėms laiko eilutėms analizuoti. Tai vienmačio autoregresinio modelio išplėtimas į dinamines daugiamates laiko eilutes. Vektorinė autoregresija yra plačiai naudojama apibūdinant ekonominį ir finansinį laiko eilučių dinamiškumo elgesį ir prognozavimą. Šis modelis dažnai pateikia geresnes prognozes nei vienmačiai laiko eilučių modeliai [39].

Vektorinės autoregresijos modelio privalumai yra [39]:

- sistemingas, tačiau pakankamai lankstus būdas užfiksuoti realaus pasaulio elgesį;
- geresnis prognozavimo našumas;
- galimybė užfiksuoti persipynusių laiko eilučių dinamiką.

Vektorinės autoregresijos modeliavimas susideda iš kelių proceso etapų. Visa vektorinės autoregresijos analizė apima:

1. Vektorinės autoregresijos modelio nurodymus ir vertinimus;

Kai specialistus labiausiai domina dinamika, o ne tikrieji koeficientai, VAR gauti rezultatai padeda Granger'io priežastingumo statistikoje, impulso atsako funkcijose bei prognozuojamų klaidų dispersijos skaidymuose.

2. Išvadų panaudojimas modeliui patikrinti ir peržiūrėti;

Vektorinės autoregresijos modelius yra gana paprasta įvertinti. Modelio lygtį galima įvertinti naudojantis mažiausių kvadratų metodu ir atsižvelgiant į keletą prielaidų:

- sąlyginio vidurkio klaida yra nulis;
- modelio kintamieji yra stacionarūs;
- mažai tikėtini dideli nukrypimai;
- nėra tobulo multikolinearumo.

Jeigu bus remiamasi aukščiau išvardintomis prielaidomis, tuomet mažiausių kvadratų įverčiai bus nuoseklūs, taip pat bus galimybė įvertinti naudojantis t -statistika ir p reikšmes. VAR galės būti naudojama kartu tikrinant kelių lygčių apribojimus.

3. Prognozavimą;

Viena iš pagrindinių vektorinės autoregresijos modelių funkcijų yra prognozavimas. Šio modelio prognozės generuojamos naudojantis pasikartojantį prognozavimo algoritmą:

- įvertinti VAR modelį kiekvienai lygčiai pritaikant OLS;
- apskaičiuoti visų kintamųjų vieno laikotarpio prognozę;
- apskaičiuoti dviejų laikotarpių prognozes panaudojant vieno laikotarpio prognozę;
- kartoti, kol bus apskaičiuota h žingsnio į priekį prognozė.

4. Struktūrinę analizę.

Atliekant šią analizę yra daromos prielaidos apie tiriamų duomenų priežastinę struktūrą. Taip pat yra apibendrinama netikėtų sukrėtimų ar naujovių konkrečių kintamųjų priežastinis poveikis modelio kintamiesiems.

Vektorinės autoregresijos modeliai yra plačiai taikomi finansų ir ekonometrijos srityse, pavyzdžiui, duomenų aprašyme, prognozavime, struktūrinėse išvadose bei politinėse analizėse. Taip pat šis modelis vis labiau populiarėja ir kitose srityse kaip epidemiologija, medicina ir biologija. 3-ioje lentelėje yra pateikiami keli pavyzdžiai, kokie klausimai konkrečiose srityse nagrinėjami pasitelkiant vektorinę autoregresiją [38].

3 lentelė. Kokie klausimai įvairiose srityse nagrinėjami pasitelkiant vektorinę autoregresiją.

Probleminiai klausimai	Sritis	Kaip yra pritaikomas VAR modelis
Kaip dinamiškai susiję pacientų širdies ir kvėpavimo sistemos gyvybiniai požymiai?	Medicina	VAR sistema naudojama modeliuoti praeities ir dabartinius ryšius tarp širdies susitraukimų dažnio, kvėpavimo dažnio, kraujospūdžio ir SpO ₂ .
Kaip COVID-19 infekcijų rizika sąveikauja įvairiose amžiaus grupėse?	Epidemiologija	Įvairių amžiaus grupių praeities infekcijų skaičiavimo duomenys buvo naudojami modeliuojant ryšį tarp užsikrėtimo lygio tose amžiaus grupėse.
Ar yra dvikryptis ryšys tarp asmeninių pajamų ir asmeninio vartojimo išlaidų?	Ekonomika	Dviejų lygčių VAR sistema naudojama modeliuoti pajamų ir vartojimo santykį laikui bėgant.

Kaip galime modeliuoti genų ekspresijos tinklus?	Biologija	Ryšiai tarp didelių genų tinklų modeliuojami naudojant nedidelį struktūrinį VAR modelį.
Kas labiau skatina infliaciją – pinigų politikos sukrėtimai ar išorės sukrėtimai?	Makroekonomika	Struktūrinis VAR modelis naudojamas dispersijos skilimo ir impulsinio atsako funkcijoms apskaičiuoti po piniginių sukrėtimų ir išorinių sistemos sukrėtimų.

Vektorinė autoregresija yra sudaryta iš trijų tipų:

1. sumažinta forma (angl. *Reduced VAR forms*);
2. rekursyvinė forma (angl. *Recursive forms*);
3. struktūrinė forma (angl. *Structural forms*).

2.3. Granger'io priežastingumas (angl. *Granger causality*)

Granger'io priežastingumo metodas yra statistinės hipotezės metodas, šiuo būdu yra tiriamas priežastinis ryšys tarp dviejų laiko eilučių kintamųjų. Pats metodas yra tikimybinis priežastingumo paaiškinimas. Šis metodas naudoja empirinius duomenų rinkinius, kad surastų koreliacijos modelius.

Moksliniuose straipsniuose [29, 40] yra rašoma, jog norint ištirti tiesinį ryšį tarp akcijų rinkos nepastovumo ir verslo ciklo rodiklio (konkrečios šalies ekonominio rodiklio), kiekvienoje rinkoje reikia atsižvelgti į vektorinės autoregresijos (VAR) specifikaciją ir atitinkamą Granger'io priežastingumo modelį. Straipsnyje taikomas Granger'io priežastingumas pirmiausiai dvimačiu, o vėliau ir daugiamačiu atveju priežastiniam ryšiui rasti. Taip pat dar yra panaudojamas dvimatis netiesinis priežastingumo ryšys. Granger'io priežastingumo analizė leidžia įvertinti ar tarp kintamųjų yra priežastinis ryšys pagal laiko priklausomybę. Pavyzdžiui, straipsnyje yra pateikiamas aprašymas, kad jei kintamasis x_t turi Granger'io ryšį kintamajam y_t , o x_t vėlavimai (angl. *lags*) gali paaiškinti dabartines y_t reikšmes, tai taikomo dvimačio VAR modelio specifikacija gali būti išreikšta:

$$x_t = \varphi_1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_i y_{t-i} + \epsilon_{1t}, \quad (12)$$

$$y_t = \varphi_2 + \sum_{i=1}^n \gamma_i x_{t-i} + \sum_{i=1}^n \delta_i y_{t-i} + \epsilon_{2t}, \quad (13)$$

kur x_t yra pirmųjų skirtumų akcijų rinkos nepastovumas (SV), y_t yra pramoninės gamybos log-skirtumas (verslo ciklo rodiklis, BC), n yra optimalus vėlavimo (angl. *lag*) ilgis, kuris yra pagrįstas gerai žinomais informacijos kriterijais kaip Akaike kriterijus (AIC), o ϵ_{1t} ir ϵ_{2t} yra liekanos. φ_1 ir φ_2 yra konstantos, o apskaičiuoti koeficientai α_i , β_i , γ_i ir δ_i , $i = 1, \dots, n$, reiškia tiesinį ryšį tarp kintamųjų x_t ir y_t . Norint patikrinti Granger'io priežastinį ryšį, reikia patikrinti nulinę hipotezę, kad kintamasis y_t neturi Granger'io ryšio kintamajam x_t . Ši hipotezė bus atmesta, jei koeficientas β_i reikšmingai skirsis nuo nulio. Jei y_t turi Granger'io ryšį kintamajam x_t , tuomet galime teigti, jog ankstesnės (praeities) y_t reikšmės suteikia papildomos informacijos apie kintamąjį x_t . Panašiu principu yra tikrinama hipotezė, kad kintamasis x_t neturi Granger'io ryšio su kintamuoju y_t . Jei hipotezė atmetama, tai koeficientas γ_i reikšmingai skiriasi nuo nulio. Tokiu būdu galime gauti, jog egzistuoja dvikryptis priežastinis Granger'io ryšys, jei priežastinis ryšys vyksta abiem kryptimis.

Granger'io priežastinis ryšys naudojant VAR modelį padeda rasti „pirmaujančius“ kintamuosius, kurie yra naudingi prognozuojant. Klasikiniame Granger'io ryšyje procedūroje VAR yra naudojamos tik stacionarios laiko eilutės.

Jau aptartame straipsnyje ir šiame [41] yra analizuojama tema panaudojant tiesinį ir netiesinį Granger'io priežastingumo metodą. Tiesinį Granger'io priežastingumo metodą, kaip buvo rašyta anksčiau, galima atlikti naudojantis VAR modelio sistema. Tačiau netiesinio Granger'io priežastingumo tokiu pačiu principu atlikti negalima.

Straipsnyje [41] yra atliekama analizė su netiesiniu Granger'io priežastingumo ryšiu pagal Baek'o ir Brock'o metodą. Tačiau šis metodas vėliau buvo atnaujintas pagal Hiemstra ir Jones'ą. Toliau bus pristatomas Hiemstra ir Jones'o metodas. Pirmiausiai apibrėžiamos dvi griežtai stacionarios ir silpnai priklausomos laiko eilutės $\{X_t\}$ ir $\{Y_t\}$, kai $t=1,2,\dots$. Pažymime vektorių X_t , kurio ilgis lygus m , X_t^m ir vėlavimų (angl. lag) vektorių X_t ir Y_t atitinkamus ilgius Lx ir Ly atitinkamai pažymime X_{t-Lx}^{Lx} ir Y_{t-Ly}^{Ly} . Todėl,

$$X_t^m \equiv (X_t, X_{t+1}, \dots, X_{t+m-1}), m = 1, 2, \dots, t = 1, 2, \dots, \quad (14)$$

$$X_{t-Lx}^{Lx} \equiv (X_{t-Lx}, X_{t-Lx+1}, \dots, X_{t-1}), Lx = 1, 2, \dots, t = Lx + 1, Lx + 2, \dots, \quad (15)$$

$$Y_{t-Ly}^{Ly} \equiv (Y_{t-Ly}, Y_{t-Ly+1}, \dots, Y_{t-1}), Ly = 1, 2, \dots, t = Ly + 1, Ly + 2, \dots \quad (16)$$

Kaip teigia Hiemstra ir Jones'as, duotoms reikšmėms m , Lx ir $Ly \geq 1$ ir $e \geq 0$, Y nesukelia Granger'io priežastinio ryšio X , jei

$$\Pr(\|X_t^m - X_s^m\| < e \|X_{t-Lx}^{Lx} - X_{s-Lx}^{Lx}\| < e, \|Y_{t-Ly}^{Ly} - Y_{s-Ly}^{Ly}\| < e) = \Pr(\|X_t^m - X_s^m\| < e \|X_{t-Lx}^{Lx} - X_{s-Lx}^{Lx}\| < e) \quad (17)$$

$\Pr(\cdot)$ reiškia tikimybę, o $\|\cdot\|$ – maksimalią normą. Kairioji lygybės pusė reiškia sąlyginę tikimybę, kad atstumas tarp dviejų m ilgio vektorių $\{X_t\}$ yra mažesnis nei e , atstumas tarp dviejų vėlavimų (angl. lag) vektorių, kurių ilgis yra Lx $\{X_t\}$ ir Ly $\{Y_t\}$ taip pat yra mažesnis nei e . Dešinioji lygybės pusė yra sąlyginė tikimybė, jog bet kokių dviejų m ilgio vektorių $\{X_t\}$ kiekvieno atstumas yra e , taip pat atsižvelgiama, jog jų vėlavimo (angl. lag) vektoriai Lx ilgio, kiekvieno atstumas taip pat yra e . X_t atitinka akcijų rinkų nepastovumą, o Y_t yra verslo ciklas. Jei lygybė yra teisinga, tuomet verslo ciklas nesukelia Granger'io priežastinio ryšio netiesiniu būdu.

Jeigu reikia atlikti Granger'io priežastinį ryšį pagrįstą Hiemstra ir Jones'o metodu, reikia sąlygines tikimybes išreikšti atitinkamomis jungtinių tikimybių santykiais:

$$\frac{C1(m+Lx, Ly, e)}{C2(Lx, Ly, e)} = \frac{C3(m+Lx, e)}{C4(Lx, e)} \quad (18)$$

kur $C1$, $C2$, $C3$, $C4$ yra jungtinės tikimybės. Duotoms reikšmėms m , Lx ir $Ly \geq 1$ ir $e > 0$ yra daroma prielaida, kad $\{X_t\}$ ir $\{Y_t\}$ yra stipriai stacionarios ir silpnai priklausomos, jei $\{Y_t\}$ griežtai nesukelia Granger'io priežastinio ryšio $\{X_t\}$, tuomet

$$\sqrt{n} \left(\frac{C1(m+Lx, Ly, e, n)}{C2(Lx, Ly, e, n)} - \frac{C3(m+Lx, e, n)}{C4(Lx, e, n)} \right) \rightarrow N(0, \sigma^2(m, Lx, Ly, e)) \quad (19)$$

2.4. Granger'io priežastingumas pagal TYDL

Granger'io priežastingumo analizė turi alternatyvą Toda-Yamamoto & Dolado-Lütkepohl'o (TYDL) metodą. Atliekant TYDL, kintamieji į VAR yra traukiami originalūs, tačiau stacionarumas vis tiek yra tiriamas, pagal maksimalų integravimo poreikį VAR modelio eilė padidinama, yra daugiau įtraukiama vėlavimų nei rekomenduoja Akaike kriterijus, eilučių ko-integracijos tikrinti nereikia.

TYDL metodas gali būti taikomas su visais integravimo serijų tipais $I(0)$, $I(1)$ ir $I(2)$ tiek neintegruotiems, tiek ir integruotiems kintamiesiems.

Mokslinio straipsnio [42] tyrime yra taikomas Granger'io priežastingumo metodo Toda-Yamamoto & Dolado-Lütkepohl'o (TYDL) versija. Šis tikrinimas parodo priežastinius ryšius tarp kintamųjų, įvertina vienos rinkos reikšmę aiškinant neapibrėžtumo pokyčius kitose rinkose.

TYDL Granger'io priežastingumas yra modifikuota paprasto Granger'io priežastingumo versija. TYDL versija yra naudojama dėl to, kad:

1. TYDL yra pranašesnis už paprastą Granger'io priežastingumo ryšį, nes ši versija nereikalauja išankstinio kintamųjų ko-integracijos patikrinimo. TYDL versija padeda įveikti asimptotinių kritinių verčių problemą, kai priežastingumo testai atliekami esant ne stacionarumams arba ko-integracijos nebuvimui. Toda-Yamamoto & Dolado-Lütkepohl'o versija sumažina riziką neteisingai nustatyti kintamųjų integravimo tvarką.
2. Šis metodas tinka standartiniam VAR metodui.

TYDL Granger'io priežastingumo metodo taikymas susideda iš trijų etapų:

1. Didžiausios ko-integracijos eilės nustatymas: pirmas žingsnis apima laiko eilučių tikrinimą, siekiant nustatyti maksimalią kintamųjų integravimo tvarką d_{max} sistemoje, naudojant ADF (angl. *Augmented Dick Fuller*), PP (angl. *Phillips-Perron*), KPSS (angl. *Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ir Shin*) tikrinimus (testus). ADF ir PP nulinė hipotezė yra apie ne stacionarumą, o KPSS nulinė hipotezė yra stacionarumas.
2. Optimalaus vėlavimo ilgio (p) nustatymas. p visada yra nežinomas ir turi būti gautas iš lygių kintamųjų VAR įvertinimo. p gali būti nustatytas naudojant skirtingą vėlavimo ilgio kriterijų, pvz.: Akaike kriterijų (AIC), Schwarz'o kriterijų (SC) ir kt.
3. Priežastingumo tikrinimas. Procedūra atliekama taikant modifikuotą Wald'o (MWALD) procedūrą, skirtą VAR(k) tikrinti. Optimalus vėlavimo ilgis yra lygus $k=(p+d_{max})$. MWALD tikrinimas turi asimptotinį chi-kvadratinį pasiskirstymą su p laisvės laipsniais riboje, kurioje įvertinamas VAR($p+d_{max}$).

2.5. Grangerio priežastingumas naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais (angl. *Granger causality with artificial neural network*)

Dar viena Granger'io priežastinio ryšio alternatyva yra neuroninių tinklų metodas (angl. *Neural Granger causality*). [43] Daugiausiai ir dažniausiai naudojami yra klasikiniai Granger'io priežastingumo nustatymo metodai, kurie dažniausiai būna tiesiniai. Tačiau vis daugiau įvairių sąveikų pasaulyje yra netiesiniai dariniai tokie kaip neuro-mokslas ar genų mokslas. Jei tokiais atvejais ryšiui nustatyti bus naudojami tiesiniai metodai, galima neteisingai įvertinti Granger'io

priežastinį ryšį. Todėl šiame baigiamajame darbe yra pasirenkamas ir vienas netiesinis priežastingumo nustatymo metodas, kad įsitikinti ar rezultatai tikrai gali skirtis nuo to, kokio tipo metodą pasirenkame. Dirbtiniai neuroniniai tinklai (angl. *artificial neural network*) yra ypač svarbūs nustatant priežastinius ryšius laiko eilutėms, kurios bėgant laikui keičiasi netiesiškai. Toliau trumpai bus pristatoma išplėstinė šio metodo versija VARNN [44].

Pasirenkamas duomenų rinkinys, kuriame yra kelios laiko eilutės arba kitaip sakant kintamieji, bei vienas tikslinis (priklausomas) kintamasis Y ir k prognozuojamų kintamųjų $\{Y_1, \dots, Y_k\}$. VARNN(p) metodas yra daugiasluoksnis neuroninio tinklo metodas, kuriame yra atsižvelgiama į prognozuojamus kintamuosius ir tikslinio (priklausomo) kintamojo Y reikšmes, kad būtų galima rasti būsimas kintamojo rasti būsimas kintamojo Y reikšmes. Tokiu būdu galima numatyti kiekvieną tikslinį kintamąjį naudojantis tam tikru prognozių rinkiniu, nes kiekvienas tikslinis kintamasis gali turėti skirtingus prognozuojamus kintamuosius. VARNN(p) funkciją galima užrašyti tokia funkcija:

$$Y_t = \Psi_{nm}(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}, \dots, Y_{k(t-1)}, \dots, Y_{k(t-p)}) + U_t, \quad (20)$$

kur Ψ_{nm} yra tinklo funkcija, o U_t yra klaidos.

[44] Priežastingumo tikrinimas naudojantis VARNN metodu. Pasirenkamai du kintamieji X ir Y . Šiame metode kaip ir Granger'io priežastingume norint patikrinti priežastinį ryšį kintamojo X nuo kintamojo Y yra atsižvelgiama į du prognozavimo modelius. Pirmasis modelis atsižvelgia į tikslinės laiko eilutės reikšmes, o antrasis modelis į perduotas reikšmes tikslinės ir prognozių laiko eilučių (21-oji lygtis).

$$\text{Modelis 1:} \quad Y_t = \Psi_{1nm}(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}) + U_t, \quad (21)$$

$$\text{Modelis 2:} \quad Y_t = \Psi_{2nm}(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}, \dots, Y_{k(t-1)}, \dots, Y_{k(t-p)}) + U_t,$$

kur Ψ_{1nm} ir Ψ_{2nm} yra tinklo funkcijos dviejų minimų modelių atsakas naudojantis VARNN metodu.

Toliau yra įvertinamas skirtumas tarp šių dviejų modelių. Skirtumas yra vertinamas lyginant modelių klaidų likutinę kvadratų sumą. Vertinimas atliekamas naudojantis Fisher'io tikrinimo metodu, kad būtų iširta H_0 hipotezė, jog X nesukelia priežastinio ryšio Y . Pagrindinis skirtumas lyginant su klasikiniu tikrinimo metodu, jog vietoje dviejų VAR modelių (vienmatis ir dvimatis) čia yra naudojami du VARNN modeliai. Todėl Fisher'io tikrinimo metodas atrodo taip:

$$F = \frac{(RSS_1 - RSS_2)/(d_2 - d_1)}{RSS_2/(n - d_2)}, \quad (22)$$

kur d_1 ir d_2 yra vienmačio ir dvimačio modelio parametrų skaičiai, kurie priklauso nuo pasirinktos struktūros (sluoksnių ir neuronų skaičiaus).

Verta paminėti, jog šis metodas gali prailginti rezultatų skaičiavimo laiką.

2.6. Tyrimo objektas

Baigiamojo darbo tyrimo objektai buvo imti atsinaujinančios energijos šaltinių akcijų kainų indeksai „S&P Global Clean Energy“ ir „NASDAQ Clean Edge Green Energy Index (CELS)“.

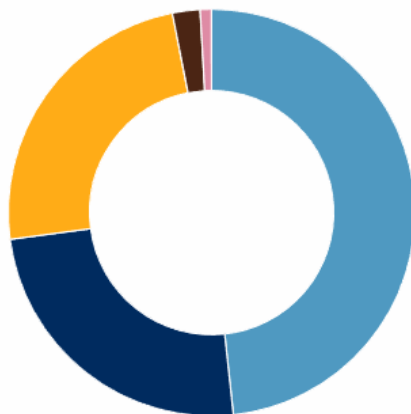
Tyrimo laikotarpis – 2012 m. kovo mėn. – 2021 m. gruodžio mėn. Laiko eilutėms sudaryti buvo imami atsinaujinančių energijos išteklių akcijų indeksų uždarymo kainos (angl. *closed prices*).

„S&P Global Clean Energy“ – sudarytas iš 100 įvairių kompanijų, kurios turi visišką arba labai didelį švarios energijos (angl. *clean energy*) poveikį ir labai mažą dalį anglies dvideginio kiekį išmetamo į aplinką. Į šio indekso sąrašą gali patekti tik tos įmonės, kurios dalyvauja švarios energijos gamyboje arba tiekia švarios energijos įrangą.

Šiuo metu į šį indeksą yra įtrauktos 75-ios įmonės, kurios skirstomos į 11-a skirtingų sektorių 22-ose skirtingose šalyse.

„S&P Global Clean Energy“ atsinaujinančios energijos indeksas savo veiklą pradėjo 2003-iais metais lapkričio 24 dieną. Didžiausią dalį indekso, 19-a įmonių, sudaro Jungtinių Amerikos Valstijų įmonės.

Šio indekso pasiskirstymas sektoriuose: šviesiai mėlyna – komunalinės paslaugos (angl. *Utilities*) (48,3%), tamsiai mėlyna – pramonė (24,6%), geltona – informacinės technologijos (24%), ruda – energetika (2,2%), rožinė – medžiagos (angl. *Materials*) (0,9%).



Lentelėje pateikiamas TOP10 įmonių sąrašas, kurios sudaro „S&P Global Clean Energy“ indeksą. Įmonių sąrašas pateikiamas pagal tai, kokią dalį viso indekso sudaro konkrečios įmonės akcijos.

4 lentelė. TOP 10 „S&P Global Clean Energy“ indeksą sudarančių įmonių.

Indeksą sudaranti įmonė	Symbolis biržoje	Kokių sektorių atstovauja įmonė
Enphase Energy Inc	ENPH	Informacinės technologijos
Vestas Wind Systems AS	VWS	Pramonė
Consolidated Edison Inc	ED	Komunalinės paslaugos (angl. <i>Utilities</i>)
Orsted	ORSTED	Komunalinės paslaugos (angl. <i>Utilities</i>)
SolarEdge Technologies Inc	SEDG	Informacinės technologijos

Plug Power Inc	PLUG	Pramonė
Scottish & Southern Energy	SSE	Komunalinės paslaugos (angl. <i>Utilities</i>)
Energias de Portugal SA	EDP	Komunalinės paslaugos (angl. <i>Utilities</i>)
Iberdrola SA	IBE	Komunalinės paslaugos (angl. <i>Utilities</i>)
First Solar Inc	FSLR	Informacinės technologijos

„NASDAQ Clean Edge Green Energy Index (CELS)“ – tai švarios energijos indeksas, skirtas sekti įmonių, kurios specializuojasi į švarios energijos technologijų gamintojus, kūrėjus, platintojus ir/arba montuotojus, veiklą. Šis indeksas savo veiklą pradėjo 2006 metų lapkričio 17 dieną, pradinė vertė buvo 250\$. Šiuo metu indeksą sudaro 64-ios įmonės. Didžiausią dalį indekso sudaro įmonės iš Jungtinių Amerikos Valstijų.

Lentelėje pateikiamos TOP10 įmonių, kurios sudaro „NASDAQ Clean Edge Green Energy Index (CELS)“ indeksą.

5 lentelė. TOP10 „NASDAQ Clean Edge Green Energy“ indeksą sudarančių įmonių.

Indeksą sudaranti įmonė	Simbolis biržoje	Kokį sektorių atstovauja
iShares Global Clean Energy ETF	ICLN	Atsinaujinanti energija
Invesco Solar ETF	TAN	Atsinaujinanti energija
First Trust NASDAQ Clean Edge Green Energy Index Fund	QCLN	Atsinaujinanti energija
ALPS Clean Energy ETF	ACES	Atsinaujinanti energija
First Trust Nasdaq Clean Edge Smart GRID Infrastructure Index	GRID	Infrastruktūra
Invesco MSCI Sustainable Future ETF	ERTH	Aplinkosauga
First Trust Global Wind Energy ETF	FAN	Atsinaujinanti energija
SPDR S&P Kensho Clean Power ETF	CNRG	Atsinaujinanti energija
Invesco Global Clean Energy ETF	PBD	Atsinaujinanti energija
Global X Funds Global X Renewable Energy Producers ETF	RNRG	Atsinaujinanti energija

Tyrimo metu šie atsinaujinančios energijos indeksai buvo lyginami su Jungtinių Amerikos Valstijų ekonomiais rodikliais bendroju vidaus produktu (BVP) ir pramonės kainų indeksu (PPI). Ekonominių rodiklių laikotarpis imtas 2012–2021 metai.

Bendras vidaus produktas (BVP) – tai ekonominis rodiklis, kuris rodo ekonominę šalies išsivystymo lygį. Kitaip sakant, bendras vidaus produktas yra sukurtų paslaugų šalyje ir galutinė prekių rinkos vertė per tam tikrą laikotarpį. Bendras vidaus produktas gali būti apskaičiuojamas keliais būdais: pagal sukurtą pridėtinę vertę, patirtas išlaidas, gautas pajamas. [45]

Pramonės kainų indeksas (PPI) – tai yra santykinis rodiklis. Šis rodiklis reiškia šalies gamintojų parduotų ir pagamintų prekių arba suteiktų paslaugų bendras kainų pokytis per tam tikrą laiką. [46]

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Atsinaujinančių energijos šaltinių indeksų dinamika laike

Kaip jau buvo minėta 2 skyriuje baigiamajam darbui atlikti buvo imti du atsinaujinančios energijos akcijų kainų indeksai „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“. Duomenų imtis pasirinkta nuo 2012 m. kovo 5 d. iki 2021 m. gruodžio 31 d.. Grafike 9 pav. pavaizduoti minimų indeksų kainų kitimas 2012–2021 metų laikotarpyje.

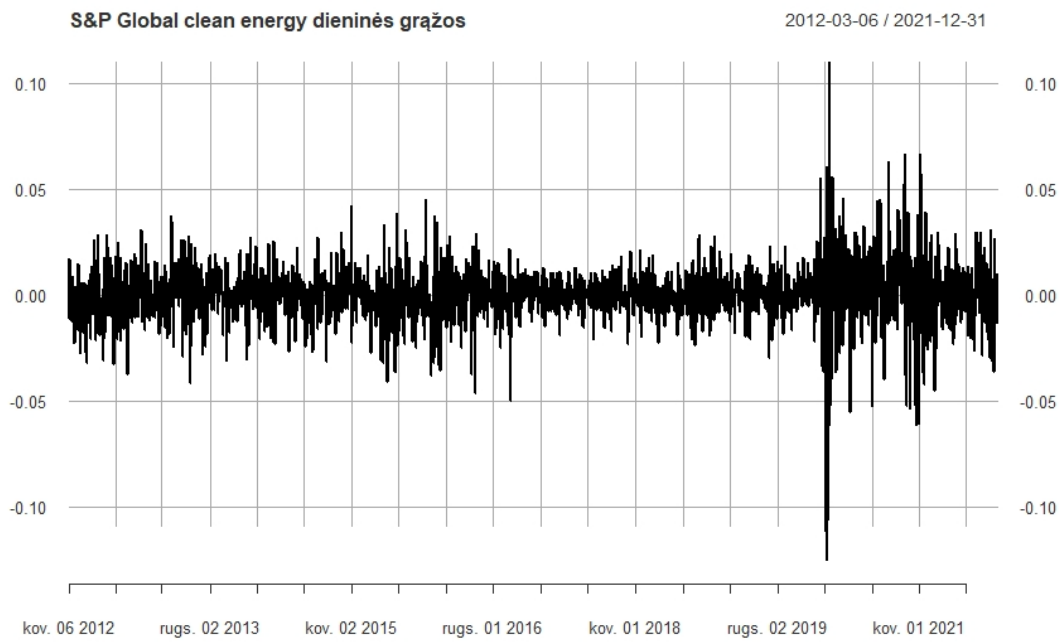


9 pav. „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ indeksų kitimas laike

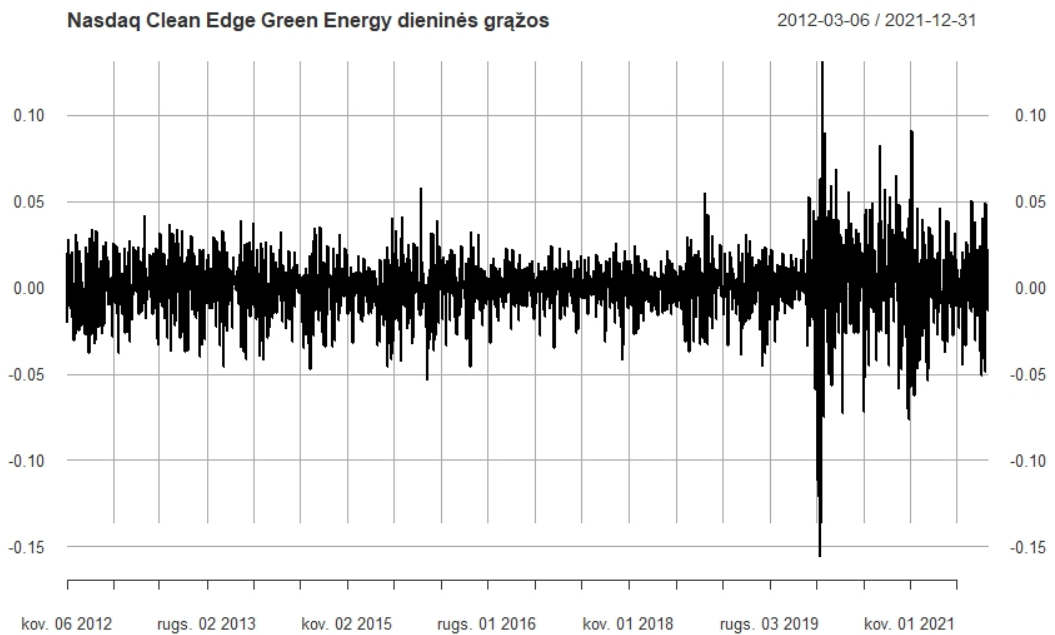
Iš 9 pav. galima matyti, jog šių dviejų indeksų kitimas laike yra gana panašus. Jų kainos svyruoja panašiu metu ir ta pačia kryptimi. Iš grafiko galime pastebėti, jog „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ indekso kainos yra mažesnės nei „S&P Global Clean Energy“. Tiek vienas, tiek kitas atsinaujinančios energijos indeksas staigų kainų kritimą patyrė 2020 m. pradžioje. Tuo metu visame pasaulyje prasidėjo Covid-19 pandemija. Tačiau praėjus metams, galima pastebėti, jog šie indeksai ne tik grįžo į anksčiau turėtas kainų vertes, bet ir ženkliai kilo aukšty. „S&P Global Clean Energy“ pasiekė 2100\$ ribą, o „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ – 1150\$.

Sekančiame žingsnyje buvo apskaičiuotos atsinaujinančios energijos indeksų kainų logaritminės gražos (10 pav. ir 11 pav.). Iš gražų dinamikos matyti, kad daugiausiai reikšmių svyruoja nuo -0,05 iki 0,05. Keletas reikšmių viršija šias ribas, tačiau nėra reikšmių, kurios viršytų 0,4 ar -0,4, vadinasi, šiuose duomenyse didelių išskirčių nėra.

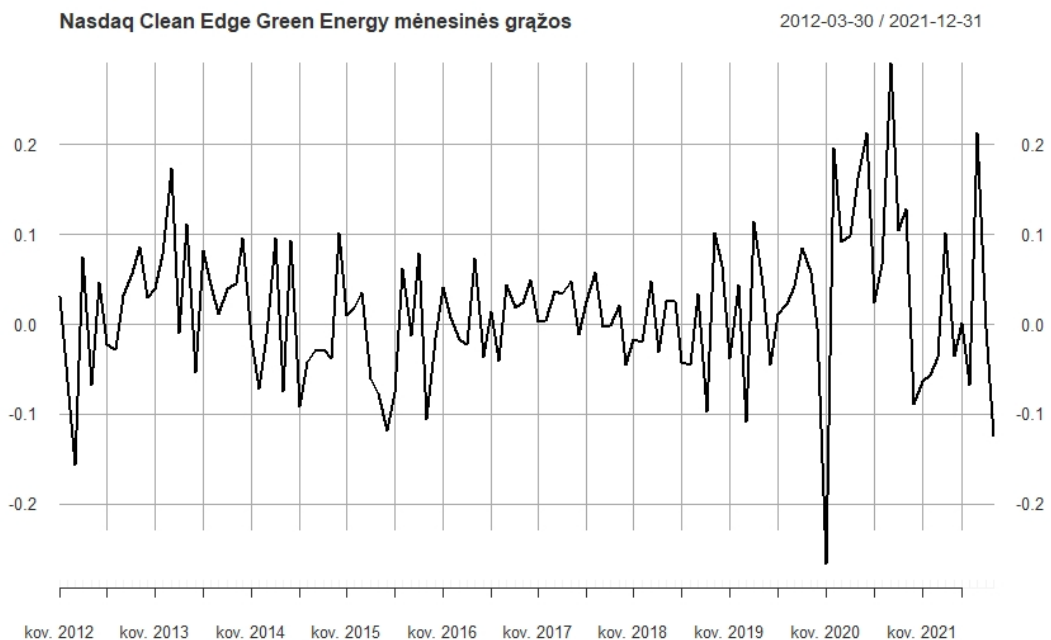
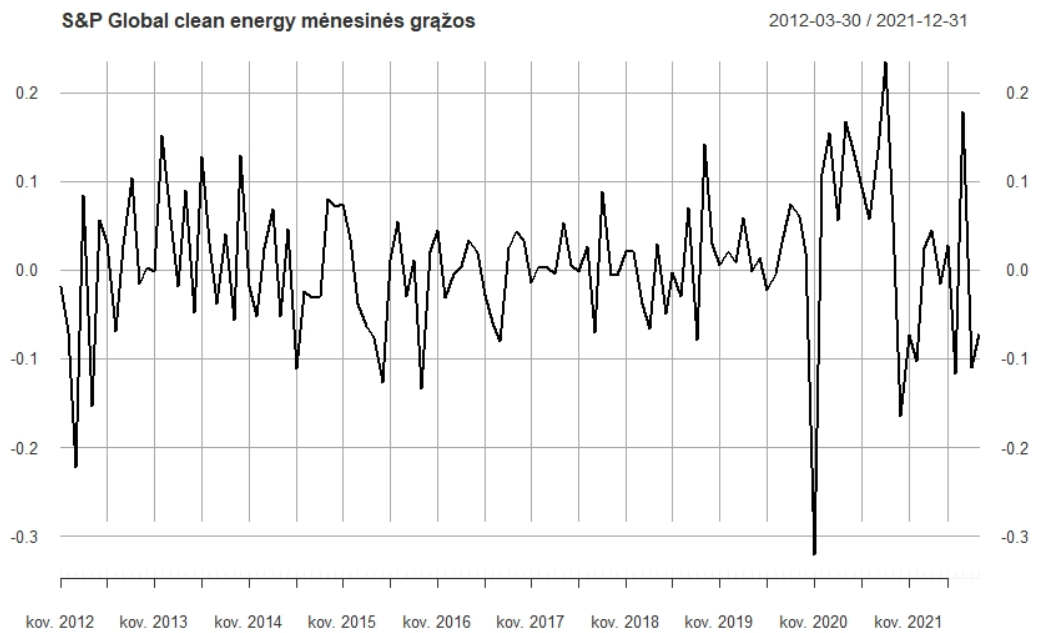
Turimos dieninės gražos buvo paverstos į mėnesines (12 pav.). Toliau buvo vykdomas duomenų stacionarumo tikrinimas. Tikrinimui buvo naudojamas Augmented Dickey-Fuller'io (ADF) tikrinimas. Gauti stacionarumo rezultatai pateikiami (13 pav.). Šio ADF tikrinimo H_0 hipotezė teigia, kad duomenys yra nestacionarūs. Kadangi abiem atvejais p reikšmės yra gautos mažesnės nei 0,05 (atitinkamai „S&P Global Clean Energy“ $p=0,01$, „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ $p=0,02$), vadinasi, hipotezė yra atmetama ir šie duomenys yra stacionarūs.



10 pav. „S&P Global Clean Energy“ dieninės grąžos



11 pav. „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ dieninės grąžos



12 pav. „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ mėnesinės gražos

Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: data_sp_mon$Price
Dickey-Fuller = -4.4829, Lag order = 4, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

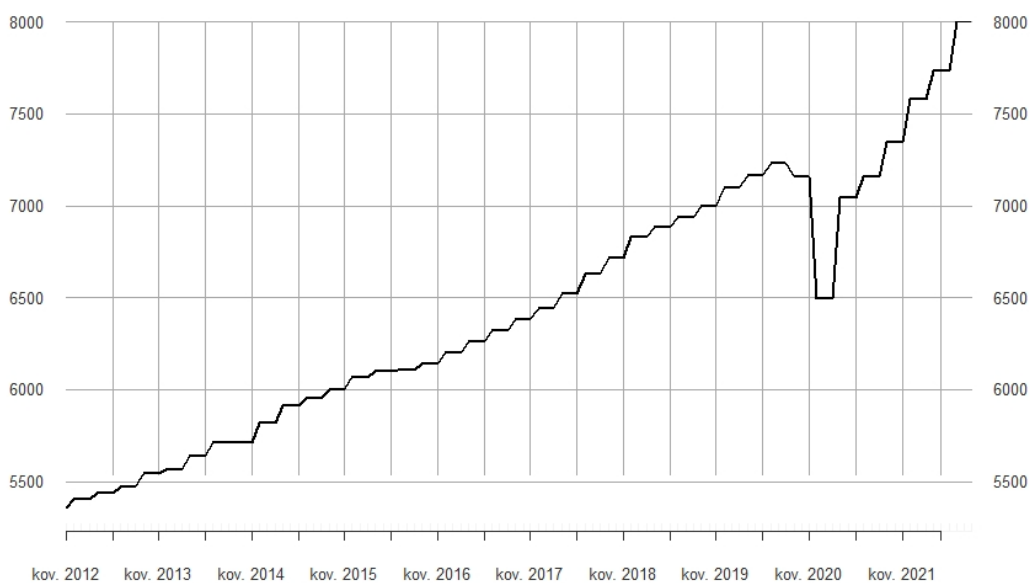
Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: data_nq_mon$Price
Dickey-Fuller = -3.8382, Lag order = 4, p-value = 0.01952
alternative hypothesis: stationary
```

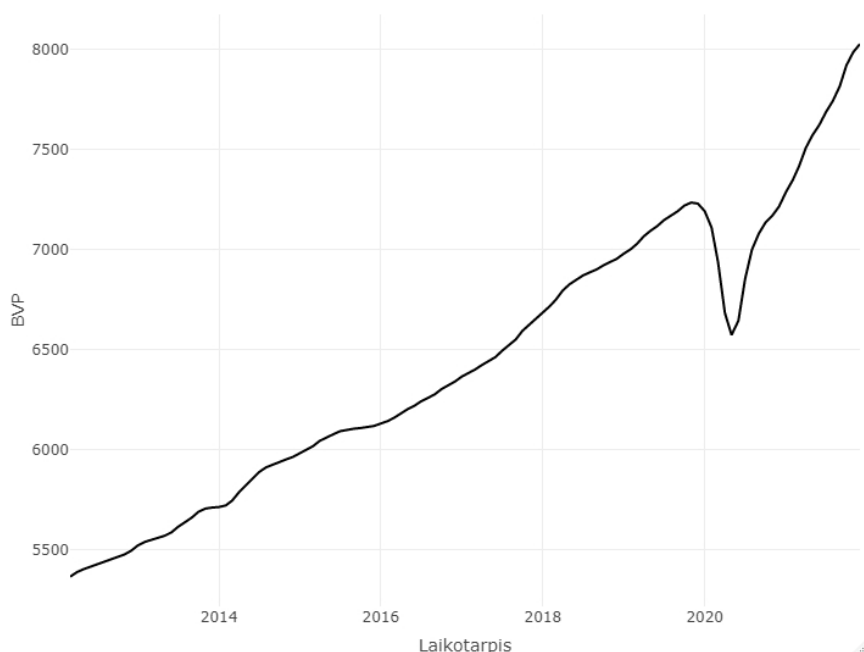
13 pav. Stacionarumo tikrinimo rezultatai (Pirmoji lentelė „S&P Global Clean Energy“, antroji – „Nasdaq Clean Edge Green Energy“)

3.2. Bendrojo vidaus produkto ir pramonės kainų indekso dinamika

Kad tyrimas būtų tęsiamas prie turimų duomenų buvo pridėtas Jungtinių Amerikos Valstijų ekonominis rodiklis – bendras vidaus produktas (BVP). Kadangi, šio rodiklio duomenys yra ketvirtiniai, o mėnesinių duomenų atvaizdavimas atrodo tarsi laiptai (14 pav.), duotiems ketvirtiniams duomenims buvo vykdomas suglodinimas. Po suglodinimo Jungtinių Amerikos Valstijų bendrojo vidaus produkto dinamika 2012–2021 metais pavaizduota 15 pav. Iš šio grafiko pastebima, jog kaip ir atsinaujinančios energijos šaltiniai, taip ir BVP turėjo staigų šuolį 2022-ųjų metų pradžioje, kai prasidėjo Covid-19 pandemija. Taip pat prasidėjus 2021-iesiems metams šis rodiklis sparčiai pradėjo kilti.



14 pav. Pradiniai BVP duomenys prieš įvykdant glodinimą



15 pav. JAV bendrojo vidaus produkto dinamika laike

Baigiamojo projekto metu buvo tiriamas ryšys ne tik tarp pasirinktų atsinaujinančios energijos išteklių akcijų indeksų ir Jungtinių Amerikos Valstijų bendrojo vidaus produkto (BVP). Šiam tyrimui buvo pasirinktas ir kitas ekonominis rodiklis – pramonės kainų indeksas (angl. *producer price index*). Šio ekonominio rodiklio kitimas nuo 2012 m. kovo mėn. iki 2022 m. kovo mėn. pavaizduotas 16 pav. Iš grafiko matyti, kad gamybos kainų indekso dinamika yra nepastovesnė nei ekonominio rodiklio BVP. Grafike matyti ryškesnių pokyčių tiek pakilimų, tiek kritimų, taip pat pastebima, jog šį rodiklį Covid-19 pandemija irgi paveikė, rodiklis smuko žemyn, tačiau kaip ir BVP jau 2021-aisiais metais pradėjo kilti aukštyn ir net viršijo ankstesnių metų vertes.



16 pav. JAV gamintojų kainų indekso dinamika laike

3.3. GARCH(1, 1) metodas duomenų nepastovumui nustatyti

Ryšiumi tarp akcijų kainų indeksų ir verslo ciklo nustatyti pirmiausiai buvo atliekamas GARCH(1, 1) metodas, kad būtų patikrintas akcijų indeksų nepastovumas (angl. *volatility*).

Pirmiausiai buvo tikrinamas duomenų nepastovumas su normaliuoju pasiskirstymu. Nepastovumas buvo tiriamas „S&P Global Clean Energy“ dieninėms gražoms. Iš gautų rezultatų (17 pav.) matyti, kad Ljung-Box'o tikrinimas nustato ar duomenys turi autokoreliaciją. Rezultatai visur yra mažesni nei 0,05, vadinasi, H_0 hipotezė, kad duomenys neturi autokoreliacijos yra atmetama, šie duomenys turi autokoreliaciją. „Adjusted Person'o Goodness of Fit“ tikrinimas leidžia nustatyti ar duomenys šiuo atveju su normaliuoju pasiskirstymu turi empirinį pasiskirstymą. Iš gautų rezultatų matyti, jog duomenys su normaliuoju pasiskirstymu neatitinka empirinio, p reikšmės gaunamos mažesnės nei 0,05, hipotezė yra atmetama.

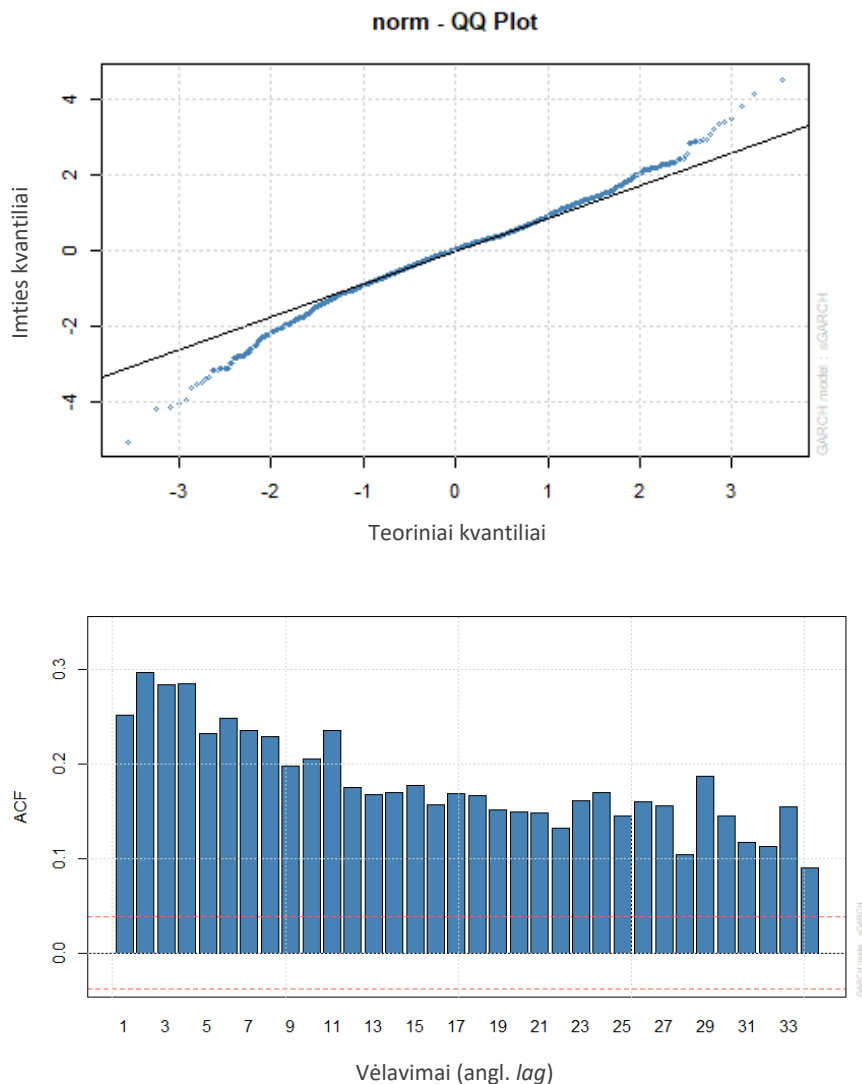
weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals

	statistic	p-value
Lag[1]	69.60	1.11e-16
Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2]	72.45	0.00e+00
Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5]	75.35	0.00e+00
d.o.f=0		
H0 : No serial correlation		

Adjusted Pearson Goodness-of-Fit Test:

group	statistic	p-value(g-1)
1	20	92.62
2	30	100.37
3	40	115.05
4	50	118.77
		1.005e-07

17 pav. GARCH(1, 1) metodo rezultatai su normaliuoju pasiskirstymu

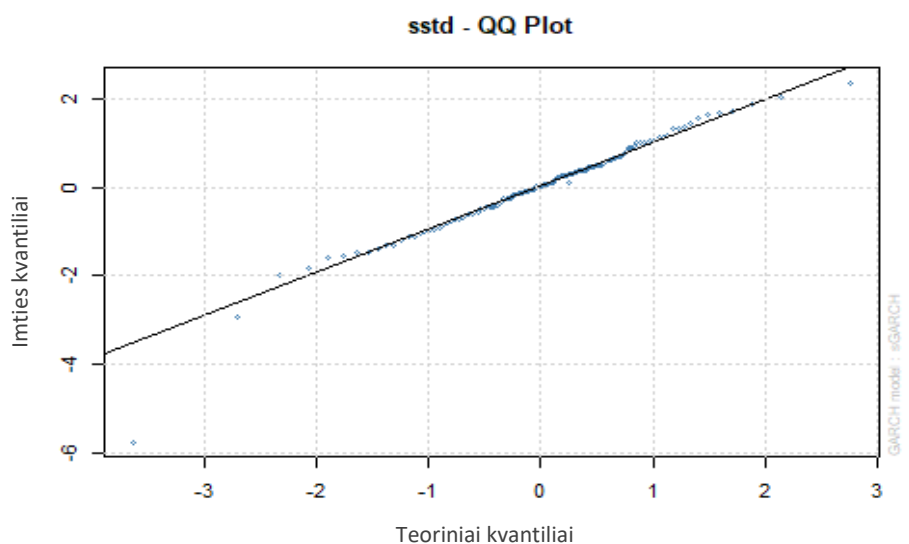
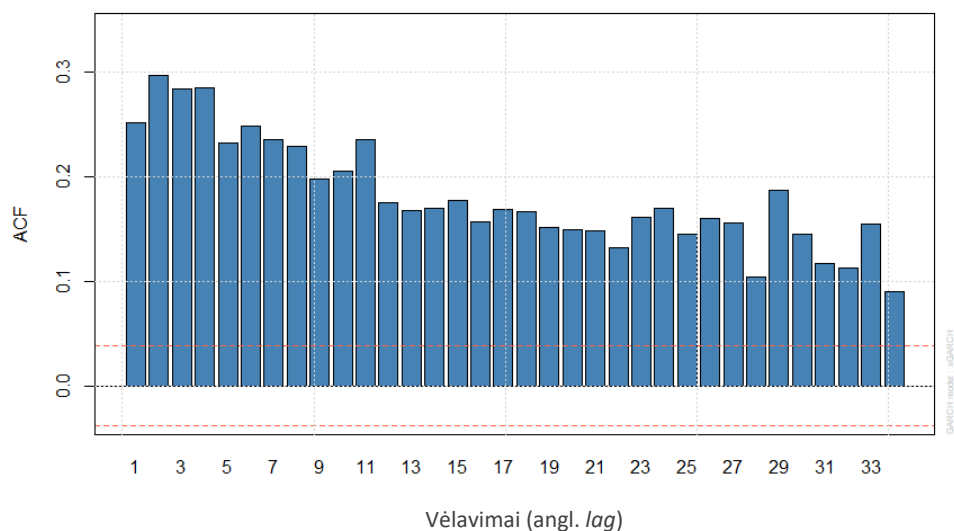


18 pav. ACF tikrinimo rezultatai ir Q-Q atvaizdavimas

18 pav. „ACF of Absolute Observations“ vaizduoja laiko eilutės (turimų absoliučių grąžų) koreliaciją. Matyti, kad duomenys koreliuoja. O grafikas „Q-Q plot“ rodo, kad naudoti duomenys su normaliuoju pasiskirstymu nėra normalieji, šiame grafike yra matomos „uodegos“.

Toliau tiems patiems duomenims buvo atliekamas GARCH(1, 1) metodas tik šį kartą su Stjudent'o pasiskirstymu. Gauti rezultatai pateikiami 19 pav.

weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals			Adjusted Pearson Goodness-of-Fit Test:			
	statistic	p-value	group	statistic	p-value(g-1)	
Lag[1]	70.74	0	1	20	33.99	0.01844
Lag[2*(p+q)+(p+q)-1] [2]	73.56	0	2	30	43.61	0.03994
Lag[4*(p+q)+(p+q)-1] [5]	76.45	0	3	40	49.16	0.12768
d.o.f=0			4	50	66.89	0.04551
H0 : No serial correlation						

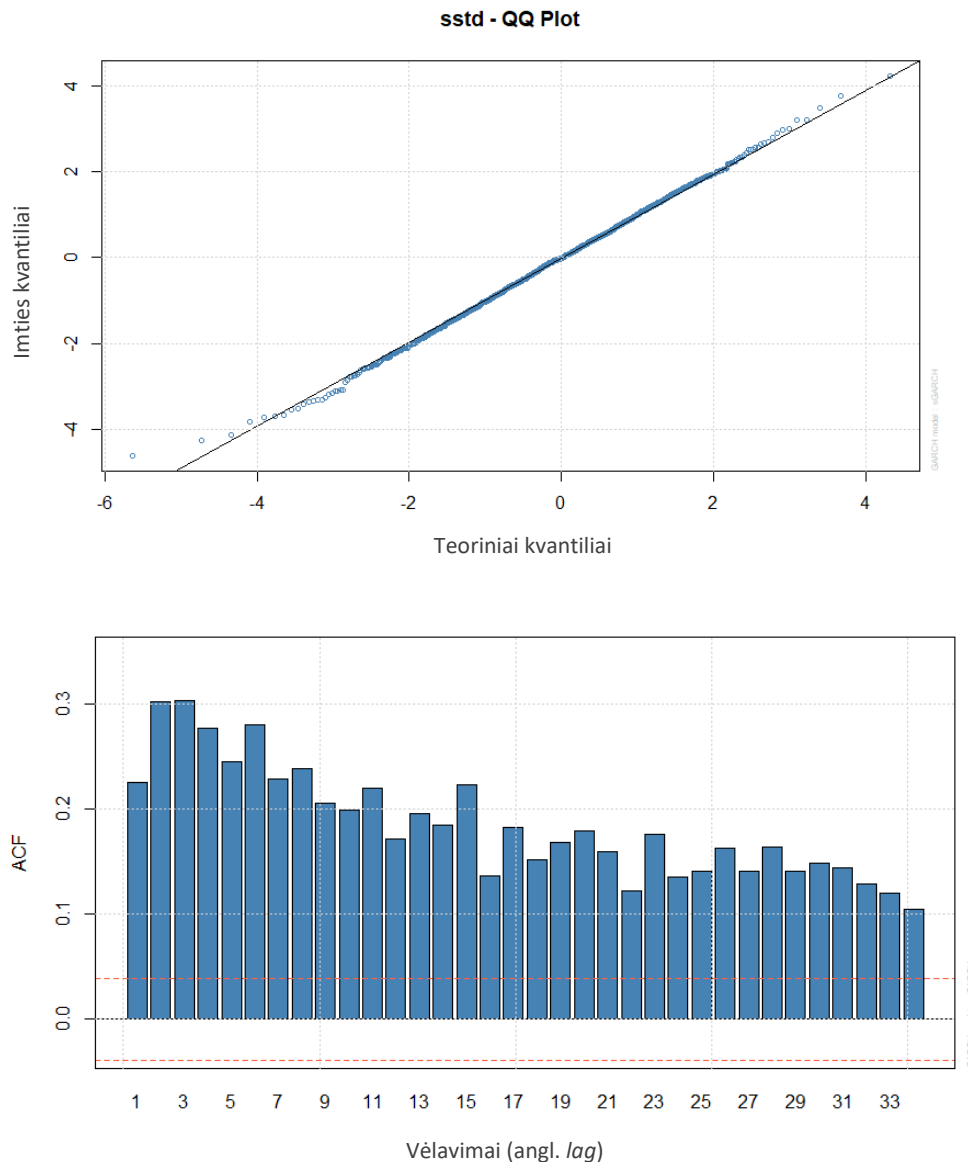


19 pav. GARCH(1, 1) su Stjudent'o pasiskirstymu

Iš gautų rezultatų matyti, kad su Stjudent'o pasiskirstymu duomenys turi koreliuoja (grafikas „ACF of Absolute Observations“) ir turi empirinį pasiskirstymą pagal atliktą tikrinimą „Adjusted Perason Goodness of Fit“. Taip pat šioje vietoje duomenys jau yra normalieji, nes „Q-Q plot“ grafike nebeliko ryškių „uodegų“.

Toks pats GARCH (1, 1) metodas buvo atliktas ir su kitu atsinaujinančios energijos akcijų indekso „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ dieninėmis grąžomis. 20 pav. pateikiami geriausio būdo rezultatai.

weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals				Adjusted Pearson Goodness-of-Fit Test:			
	statistic	p-value		group	statistic	p-value(g-1)	
Lag[1]	1.782	0.1819		1	20	20.32	0.375649
Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2]	2.129	0.2422		2	30	43.18	0.043850
Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5]	2.880	0.4294		3	40	43.40	0.289442
d.o.f=0				4	50	78.43	0.004795
H0 : No serial correlation							



20 pav. GARCH(1, 1) su Stjudent'o pasiskirstymu

Šiam indeksui geriausi rezultatai taip pat buvo su Stjudent'o pasiskirstymu. Dieninės gražos neturi autokoreliacijos pagal Ljung-Box tikrinimą, tačiau duomenys koreliuoja ir turi empirinį pasiskirstymą. Duomenys yra normalieji.

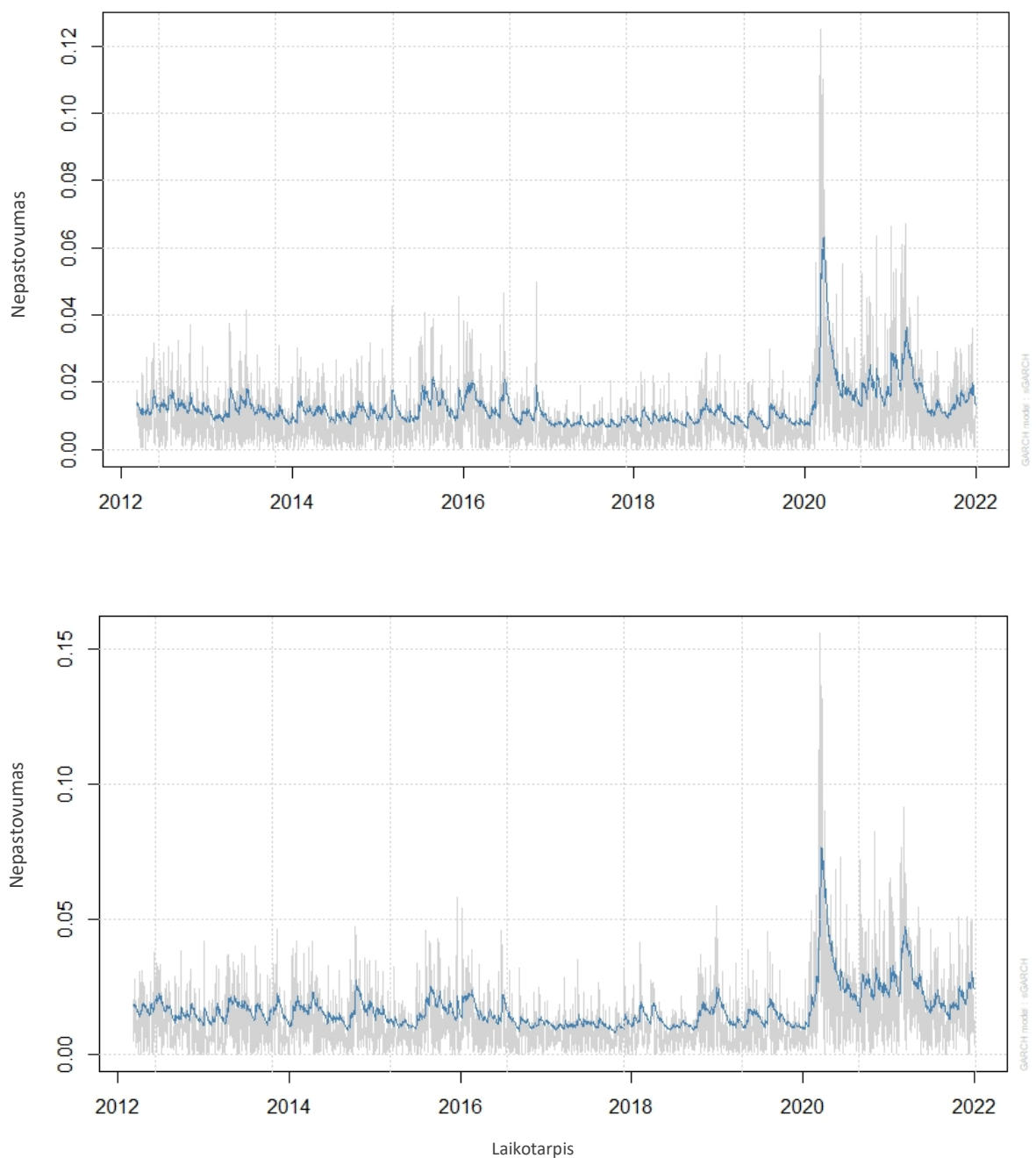
Norint sužinoti, kuris modelis abiem indeksams buvo geriausias lyginamas, Log-Likelihoods rodiklis (6 lentelė). Iš rezultatų matyti, kad šiuo atveju geriausias rezultatas yra GARCH(1, 1) metodo su Stjudent'o pasiskirstymu.

6 lentelė. Log-Likelihoods rodiklių rezultatai.

	„S&P Global Clean Energy“	„Nasdaq Clean Edge Green Energy“
GARCH(1,1) su normaliuoju pasiskirstymu	7745,863	6881,431
GARCH(1,1) su Stjudent'o pasiskirstymu	7797,562	6933,404

Apačioje esančiuose grafikuose (21 pav.) yra matomas sąlyginis nepastovumas (angl. *Conditional volatility*) pasirinktų atsinaujinančios energijos išteklių akcijų indeksų „S&P Global Clean Energy“

ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“. Grafikuose yra aiškiai matomi pakilimai ir kritimai, lyginant abu grafikus yra aiškiai matomas 2020-ųjų metų pradžios kritimas, prasidėjus pandemijai, po to yra matomas atsigavimas ir aiškus kilimas aukštyn. Matome, kad parametras sigma, kuris grafikuose yra pažymėtas mėlyna spalva, pakankamai gerai atkartoja indeksų grąžas. Nestovumas gana aiškiai matomas abiejuose indeksuose sukrėtimų metu (2020 m.). Taigi, kaip buvo rašyta 2-ame skyriuje GARCH metodu galima nustatyti nestovumą. Laiko eilutės turi stipresnį/ryškesnį nestovumą sukrėtimų laikotarpiu ir stabilesnį kitimą sąlyginai ramiu laikotarpiu. Pasirinktų indeksų laiko eilutės yra stacionarios. Kas leidžia kituose skyriuose taikyti VAR ir Granger'io priežastingumo metodus.



21 pav. „S&P Global clean energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ conditional volatility

3.4. Tiesinis Granger'io priežastingumas su VAR (klasikinis)

3.4.1. Ryšys su ekonominiu rodikliu – bendruoju vidaus produktu (BVP)

VAR (angl. *Vector autoregression*) rezultatai pateikiami 7-ioje lentelėje. Su akcijų indeksu „S&P Global Clean Energy“ VAR eilė (angl. *VAR order*) buvo lygi 8, o su „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ VAR eilė (angl. *VAR order*) lygi 11. H_0 hipotezė teigia, kad pirmasis kintamasis neturi Granger'io ryšio antrajam kintamajam. Pirmoje lentelėje yra tikrinama hipotezė ar BVP neturi Granger'io ryšio akcijų indeksui „S&P Global Clean Energy“, gauta p reikšmė yra lygi 0,0184. Toliau tikrinamas atvirkštinis ryšys. Šiuo atveju p yra lygi 0,0000. Atitinkamai tokie patys ryšiai buvo tikrinami antroje lentelėje su akcijų indeksu „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ ir ekonominiu rodikliu BVP. Gautos p reikšmės atitinkamai lygios 0,0013 ir 0,0000. Iš gautų rezultatų H_0 hipotezė yra atmesta, nes visos gautos p reikšmės yra mažesnės nei pasiklovimo lygmuo $\alpha=0,05$.

7 lentelė. BVP ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo su VAR rezultatai. (Laužtiniuose skliaustuose yra pateikta gauta p reikšmė).

JAV BVP → „S&P Global Clean Energy“
Equation 1: d_hpt_GDP All lags of d_sp_global F(8, 91) = 2,4615 [0,0184]
„S&P Global Clean Energy“ → JAV BVP
Equation 2: sp_global All lags of d_hpt_GDP F(8, 91) = 16,892 [0,0000]
JAV BVP → „Nasdaq Clean Edge Green Energy“
Equation 1: d_hpt_GDP All lags of d_d_nasdaq F(11, 81) = 3,1780 [0,0013]
„Nasdaq Clean Edge Green Energy“ → JAV BVP
Equation 2: d_d_nasdaq All lags of d_hpt_GDP F(11, 81) = 21,100 [0,0000]

Granger'io ryšiai egzistuoja, galima nubraižyti abipuses rodykles:

- Jungtinių Amerikos Valstijų BVP ↔ „S&P Global Clean Energy“;
- Jungtinių Amerikos Valstijų BVP ↔ „Nasdaq Clean Edge Green Energy“.

Šios rodyklės reiškia, kad BVP veikia akcijų indeksus, tačiau taip pat ir pasirinkti akcijų indeksai veikia BVP.

3.4.2. Ryšys su ekonominiu rodikliu – pramonės kainų indeksu (PPI)

Naudojant VAR metodą toliau buvo tiriamas ryšys tarp atsinaujinančių energijos išteklių kainų indeksų ir pramonės kainų indekso. Rezultatai pateikiami 8-oje lentelėje. Su kainų indeksu „S&P Global Clean Energy“ VAR eilė (angl. *VAR order*) lygi 9, o su „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ lygi 11.

8 lentelė. PPI ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo su VAR rezultatai. (Laužtiniuose skliaustuose yra pateikta gauta p reikšmė).

JAV PPI → „S&P Global Clean Energy“
Equation 1: d_PPI All lags of d_sp_global $F(9, 88) = 4,7206 [0,0000]$
„S&P Global Clean Energy“→ JAV PPI
Equation 2: d_sp_global All lags of d_PPI $F(9, 88) = 2,2356 [0,0268]$
JAV PPI → „Nasdaq Clean Edge Green Energy“
Equation 1: d_PPI All lags of d_d_nasdaq $F(11, 81) = 2,8468 [0,0034]$
„Nasdaq Clean Edge Green Energy“→ JAV PPI
Equation 2: d_d_nasdaq All lags of d_PPI $F(11, 81) = 2,9532 [0,0025]$

Tiriamas PPI ryšys su „S&P Global Clean Energy“ matyti, kad kaip ir su ekonominiu rodikliu BVP, čia ryšys galioja abipusis. PPI veikia atsinaujinančios energijos indeksą „S&P Global Clean Energy“, gauta p reikšmė lygi 0,0000, kuri yra mažesnė nei 0,05. Taip pat šis indeksas veikia pasirinktą ekonominį rodiklį PPI, gauta p reikšmė 0,0268, kuri taip pat yra mažesnė nei 0,05.

Toks pats rezultatas yra gaunamas, kai yra tiriamas ryšys tarp PPI ir atsinaujinančios energijos akcijų indekso „Nasdaq Clean Edge Green Energy“. Pramonės kainų indeksas turi Granger'io ryšį su „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ p gauta reikšmė yra lygi 0,0034, o taip pat yra ir atvirkštinis ryšys, nes p lygi 0,0025.

Šiuo atveju ryšio rodykles galima brėžti į abi puses, o tai reiškia, jog ekonominis rodiklis PPI gali veikti tyrime naudojamus akcijų kainų indeksus, kaip ir patys akcijų indeksai gali veikti šį ekonominį rodiklį.

- Jungtinių Amerikos Valstijų PPI ↔ „S&P Global Clean Energy“;
- Jungtinių Amerikos Valstijų PPI ↔ „Nasdaq Clean Edge Green Energy“.

3.5. Tiesinis Granger'io priežastingumas pagal TYDL

3.5.1. Ryšys su ekonominiu rodikliu – bendruoju vidaus produktu (BVP)

Tiesinio Granger'io priežastingumo pagal TYDL tikrinimo rezultatai pateikiami apačioje (9 lentelė). VAR eilė (angl. *VAR order*) buvo imama vienetu didesnė nei poskyryje 3.3.1. buvo nurodyta, atitinkamai VAR eilė (angl. *VAR order*) lygi 9 ir 12.

9 lentelė. BVP ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo pagal TYDL rezultatai. (Laužtiniuose skliaustuose yra pateikta gauta p reikšmė).

JAV BVP → „S&P Global clean energy“
Equation 1: hpt_GDP All lags of sp_global $F(8, 89) = 2,1934 [0,0352]$
„S&P Global clean energy“→ JAV BVP
Equation 2: sp_global All lags of hpt_GDP $F(8, 89) = 15,906 [0,0000]$

JAV BVP → „Nasdaq Clean Edge Green Energy“	
Equation 1: hpt_GDP All lags of nasdaq	F(11, 80) = 2,0305 [0,0358]
„Nasdaq Clean Edge Green Energy“ → JAV BVP	
Equation 2: nasdaq All lags of hpt_GDP	F(11, 80) = 18,698 [0,0000]

Jungtinių Amerikos Valstijų BVP ~ „S&P Global Clean Energy“. Žvelgiant iš kintamojo BVP perspektyvos gautas rezultatas, kad F – statistika nereikšminga, p reikšmė 0,0352 yra mažesnė nei 0,05. Vadinas, hipotezė, kad BVP neturi Granger'io ryšio kintamajam „S&P Global Clean Energy“ atmesta. „S&P Global Clean Energy“ ~ Jungtinių Amerikos Valstijų BVP. Iš gautų rezultatų matyti, kad yra gauta nereikšminga F – statistikos reikšmė, p reikšmė lygi 0,0000, kuri taip pat mažesnė už 0,05. Vadinas, hipotezė atmesta, Granger'io ryšys egzistuoja.

Analogiškai gauti panašūs rezultatai ir su Jungtinių Amerikos Valstijų BVP ~ „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ p lygi 0,0358 bei „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ ~ Jungtinių Amerikos Valstijų BVP p lygi 0,0000.

Atlikus tiesioginį Granger'io priežastingumą pagal TYDL gautas rezultatas, jog ryšiai egzistuoja tiek į vieną, tiek į kitą pusę:

- Jungtinių Amerikos Valstijų BVP ↔ „S&P Global Clean Energy“
- Jungtinių Amerikos Valstijų BVP ↔ „Nasdaq Clean Edge Green Energy“

BVP veikia atsinaujinančios energijos akcijų indeksus, tačiau taip pat ir pasirinkti akcijų indeksai veikia BVP.

3.5.2. Ryšys su ekonominiu rodikliu – pramonės kainų indeksu (PPI)

Ištyrus tiesinį Granger'io priežastingumą pagal TYDL gauti rezultatai pateikiami 10-oje lentelėje.

VAR eilė (angl. *VAR order*) buvo imama vienetu didesnė nei poskyryje 3.3.2. buvo nurodyta, atitinkamai 10 ir 12.

10 lentelė. PPI ir atsinaujinančių energijos akcijų indeksų Granger'io priežastingumo pagal TYDL rezultatai. (Laužtiniuose skliaustuose yra pateikta gauta p reikšmė).

JAV PPI → „S&P Global clean energy“	
Equation 1: PPI All lags of sp_global	F(3, 104) = 8,0195 [0,0001]
„S&P Global clean energy“ → JAV PPI	
Equation 2: sp_global All lags of PPI	F(3, 104) = 0,71892 [0,5429]
JAV PPI → „Nasdaq Clean Edge Green Energy“	
Equation 1: PPI All lags of nasdaq	F(3, 104) = 4,8610 [0,0033]
„Nasdaq Clean Edge Green Energy“ → JAV PPI	
Equation 2: nasdaq All lags of PPI	F(3, 104) = 1,3224 [0,2711]

JAV PPI → „S&P Global clean energy“ gauti rezultatai rodo, jog pramonės kainų indeksas (PPI) veikia „S&P Global Clean Energy“ ir čia Granger‘io ryšys egzistuoja, nes gauta p reikšmė 0,0001 yra mažesnė nei pasiklovimo lygmuo, kurio reikšmė lygi 0,05. Tačiau grįžtamojo ryšio čia nėra. Atsinaujinančios energijos indeksas neveikia pasirinkto ekonominio rodiklio. p reikšmė 0,5429, o tai yra daugiau nei pasiklovimo lygmuo.

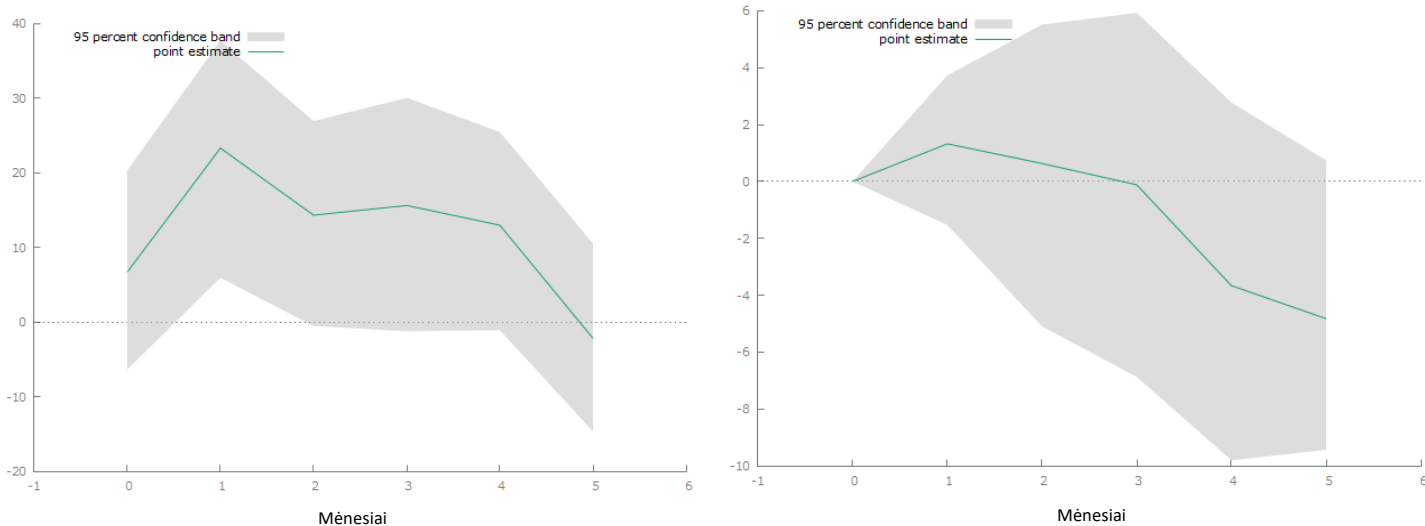
Iš gautų rezultatų pavaizduotų 10 lentelėje matyti, kad analogiškas ryšys yra ir su atsinaujinančios energijos išteklių kainų indeksu „Nasdaq Clean Edge Green Energy“. Ekonominis rodiklis jį gali veikti, tačiau pats „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ neveikia PPI. Atitinkamai gauto p reikšmės yra 0,0033 ir 0,2711.

Atlikus tiesioginį Granger‘io priežastingumą pagal TYDL gautas rezultatas, jog ryšiai egzistuoja tik į vieną pusę:

- Jungtinių Amerikos Valstijų PPI → „S&P Global Clean Energy“
- Jungtinių Amerikos Valstijų PPI → „Nasdaq Clean Edge Green Energy“.

3.6. Granger‘io priežastingumo pagal TYDL impulsų atvaizdavimas

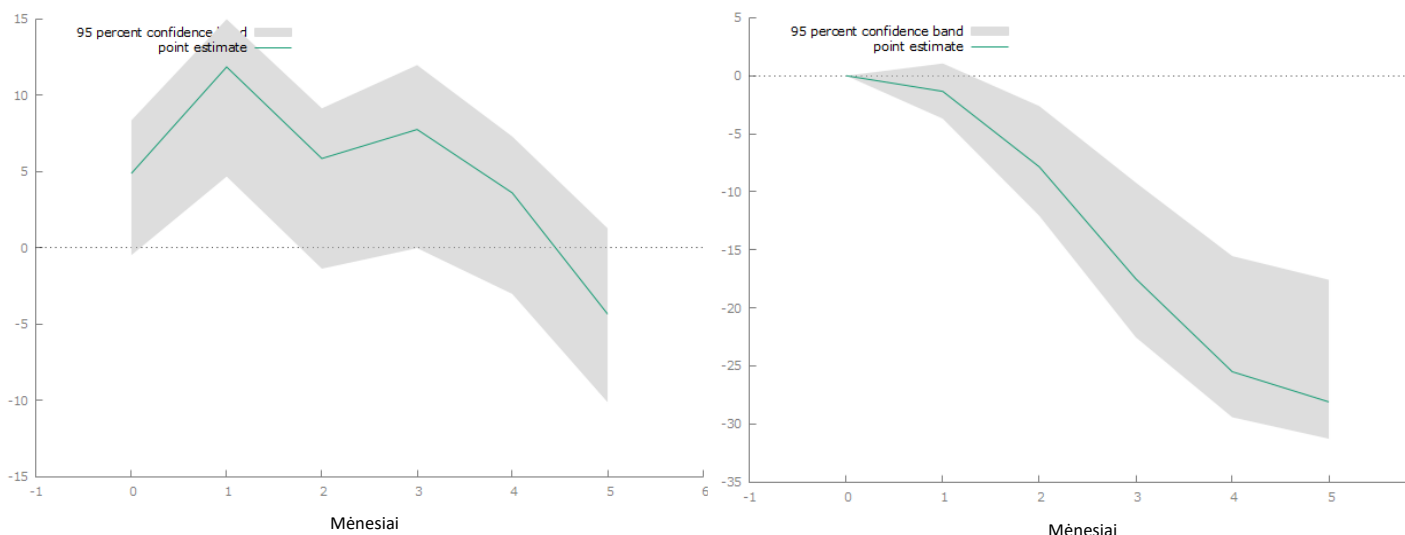
Paveikslėlyje (22 pav. kairėje) yra pavaizduotas 6-ių mėnesių akcijų indekso „S&P Global Clean Energy“ kainų kitimas (atsakas), jei BVP rodiklis staiga padidėtų. Iš grafiko matyti, kad trumpuoju laikotarpiu atsinaujinančios energijos indekso kainos būtų paveikiamos teigiamai.



22 pav. Kairėje „S&P Global Clean Energy“ teigiamas atsakas, jei BVP rodiklis staiga padidėtų. Dešinėje BVP silpnai teigiamas atsakas, jei „S&P Global Clean Energy“ kainos staiga padidėtų (pasiklovimo lygmuo 95%, (angl. *95 percent confidence band*); reikšmė (angl. *point estimate*))

Paveikslėlyje (22 pav. dešinėje) matyti, kaip 6-ių mėnesių laikotarpyje pasikeistų BVP, jei akcijų indeksas „S&P Global Clean Energy“ staiga padidėtų. Iš grafiko matyti, kad pirmaisiais mėnesiais BVP būtų veikiamas silpnai tačiau teigiamai, o nuo trečiojo mėnesio rodiklis netgi būtų veikiamas

neigiamai. Žiūrint į „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ atsaką įvykus BVP staigiam padidėjimui (23 pav. kairėje) matyti, kad pirmaisiais mėnesiais, iki ketvirto mėnesio vidurio, indekso kainos yra veikiamos teigiamai.

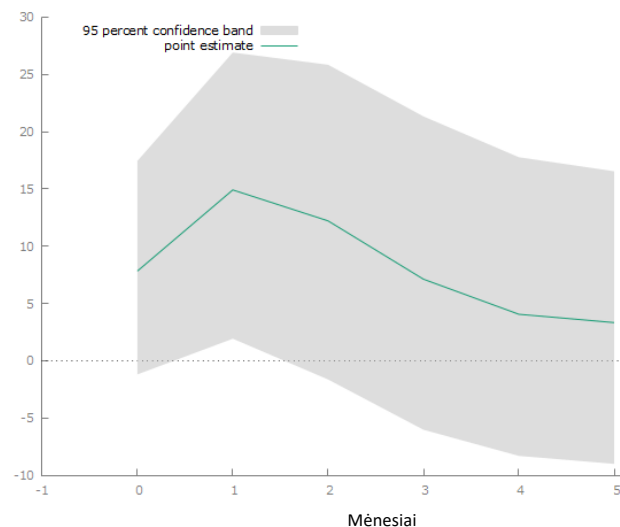
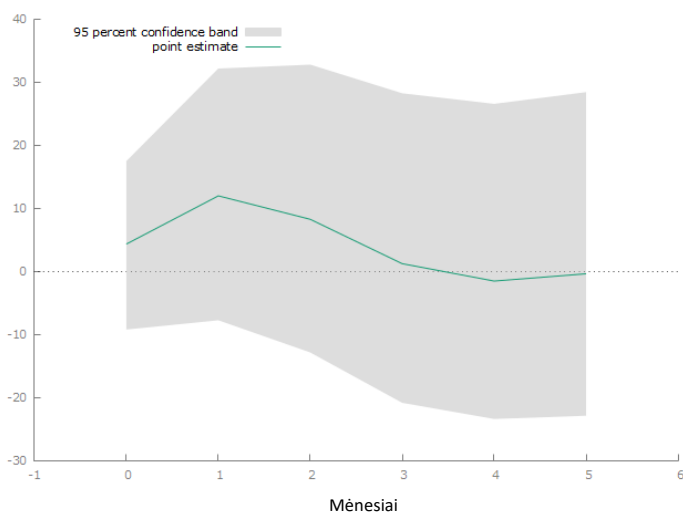


23 pav. Kairėje „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ teigiamas atsakas, jei BVP rodiklis staiga padidėtų. Dešinėje BVP neigiamas atsakas, jei „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ staiga padidėtų (pasikliovimo lygmuo 95%, (angl. *95 percent confidence band*); reikšmė (angl. *point estimate*))

Kaip reaguoja BVP įvykus staigiam indekso pokyčiui matyti 23 pav. dešinėje pusėje. Čia pastebima visai kitokia reakcija žvelgiant į 6-ių mėnesių laikotarpį. „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ akcijose įvykus staigiam padidėjimui iki 5-o mėnesio BVP rodiklis yra veikiamas neigiamai. Galime daryti išvadą, jog BVP akcijų indeksą „Nasdaq Clean Edge Green Energy“, veikia silpnai teigiamai, tačiau pats kainų indeksas BVP rodiklį veikia neigiamai.

Toliau esančiame 24 pav. esančiame grafike pavaizduoti atsakai į impulsus susijusius su ekonominiu rodikliu PPI (angl. *producer price index*) ir akcijų indeksu „S&P Global Clean Energy“. 24 pav. kairėje pusėje pastebima, jog akcijų indeksą PPI rodiklis pirmaisiais mėnesiais veikia silpnai teigiamai.

Labai panašiai reaguoja ir PPI su akcijų indeksu „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ (24 pav. dešinėje). „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ yra veikiamas silpnai teigiamai, kaip ir „S&P Global Clean Energy“ (24 pav. kairėje), tačiau teigiamas ryšys čia yra stipresnis nei „S&P Global Clean Energy“, kurio impulsas ketvirtąjį mėnesį labai priartėja prie nulio.



24 pav. Kairėje „S&P Global Clean Energy“ silpnai teigiamas atsakas, jei PPI rodiklis staiga padidėtų. Dešinėje „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ atsakas, jei PPI rodiklis staiga padidėtų (pasiklovimo lygmuo 95%, (angl. *95 percent confidence band*); reikšmė (angl. *point estimate*))

3.7. Netiesinis Granger‘io priežastingumas naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais

Šiame poskyryje yra aptariamas netiesinis Granger‘io priežastingumo metodas naudojantis dirbtiniu neuroniniu tinklu. Pirmiausia Granger‘io priežastingumas naudojantis neuroniniu tinklu buvo tiriamas su ekonominiu rodikliu bendruoju vidaus produktu (BVP) ir atsinaujinančios energijos akcijų kainų indeksu „S&P Global Clean Energy“. H_0 hipotezė teigia, jog „S&P Global Clean Energy“ neturi Granger‘io priežastinio ryšio su BVP, taip pat su tomis pačiomis laiko eilutėmis buvo tirtas ir atvirkštinis ryšys, kad BVP neturi ryšio su minėtu akcijų indeksu. 25 pav. yra pateikti gauti rezultatai pritaikius šį metodą. Kairėje lentelės pusėje tikrinama hipotezė, kad „S&P Global Clean Energy“ neturi Granger‘io ryšio su BVP, dešinėje, kad BVP neturi Granger‘io ryšio su „S&P Global Clean Energy“.

BVP ~ „S&P Global Clean Energy“

```
-----
Test summary
-----
The lag parameter: p = 2
The Granger causality Index: GCI = 0.111268
The value of the F-test: 0.66939
The p_value of the F-test: 0.816518
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

„S&P Global Clean Energy“ ~ BVP

```
-----
Test summary
-----
The lag parameter: p = 2
The Granger causality Index: GCI = 0.108099
The value of the F-test: 0.649275
The p_value of the F-test: 0.83491
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

25 pav. BVP ir „S&P Global Clean Energy“ Granger‘io priežastingumas naudojantis neuroniniais tinklais rezultatai

Taigi iš gautų rezultatų (25 pav.) matyti, kad gautos F-statistikos p reikšmės yra lygios 0,817 ir 0,835, kas yra daugiau nei pasiklovimo lygmuo $\alpha=0,05$. Vadinasi, hipotezės atmesti negalima. Šis metodas teigia, jog BVP ir „S&P Global Clean Energy“ neturi Granger'io priežastinio ryšio.

26 pav. pavaizduoti gauti rezultatai tikrinant Granger'io priežastingumo ryšį naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais akcijų kainų indeksui „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ ir BVP. Kaip ir 25 pav. gauti rezultatai labai panašūs. H_0 atmesti negalime. Vadinasi, šiuo būdu nei BVP veikia atsinaujinančios energijos išteklių kainų indeksus, nei patys indeksai veikia BVP.

BVP ~ „Nasdaq Clean Edge Green Energy“

```
-----
Test summary
-----
The lag parameter: p = 2
The Granger causality Index: GCI = 0.100975
The value of the F-test: 0.604291
The p_value of the F-test: 0.872882
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

„Nasdaq Clean Edge Green Energy“ ~ BVP

```
-----
Test summary
-----
The lag parameter: p = 2
The Granger causality Index: GCI = 0.100811
The value of the F-test: 0.603262
The p_value of the F-test: 0.873696
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

26 pav. BVP ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ Granger'io priežastingumas naudojantis neuroniniais tinklais

Kitu žingsniu buvo atlikta tokia pati analizė tik buvo imamas kitas ekonominis rodiklis – pramonės kainų indeksas (PPI).

27 pav. pavaizduoti gauti rezultatai. Juo matoma, kad buvo gautos tokios p reikšmės 0,65 ir 0,71. Šios reikšmės taip pat yra didesnės nei pasiklovimo lygmuo $\alpha=0,05$. Vadinasi, ir su ekonominiu rodikliu PPI atsinaujinančios energijos išteklių indeksas neturi ryšio. Analogiški rezultatai gauti ir tikrinant ryšį priešingu būdu, tai yra, ekonominius rodiklis PPI neturi Granger'io ryšio su akcijų indeksu. Panašūs rezultatai buvo gauti pritaikius šį metodą atsinaujinančios energijos išteklių akcijų kainų indeksui „Nasdaq Clean Edge Green Energy“, kurio rezultatai pavaizduoti 28 pav. Čia taip pat nebuvo rasta Granger'io ryšio nė į vieną pusę.

PPI ~ „S&P Global Clean Energy“

```
-----
Test summary
-----
The lag parameter: p = 2
The Granger causality Index: GCI = 0.135935
The value of the F-test: 0.828141
The p_value of the F-test: 0.650986
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

„S&P Global Clean Energy“ ~ PPI

```
-----
Test summary
-----
The lag parameter: p = 2
The Granger causality Index: GCI = 0.127171
The value of the F-test: 0.771287
The p_value of the F-test: 0.713201
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

27 pav. PPI ir „S&P Global Clean Energy“ Granger'io priežastingumas naudojantis neuroniniu tinklu

PPI ~ „Nasdaq Clean Edge Green Energy“

```
-----  
Test summary  
-----  
The lag parameter: p = 2  
The Granger causality Index: GCI = 0.0986369  
The value of the F-test: 0.589598  
The p_value of the F-test: 0.884248  
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

„Nasdaq Clean Edge Green Energy“ ~ PPI

```
-----  
Test summary  
-----  
The lag parameter: p = 2  
The Granger causality Index: GCI = 0.0305315  
The value of the F-test: 0.176326  
The p_value of the F-test: 0.999835  
The critical value at 5% of risk: 1.756
```

28 pav. PPI ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“ Granger‘io priežastingumas naudojantis neuroniniu tinklu

Pritaikius netiesinį Granger‘io priežastinį ryšį naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais buvo gauti priešingi rezultatai nei tiriant ryšį tiesiniu būdu. Šiuo atveju šis metodas neaptinka jokio ryšio tarp tiriamų laiko eilučių.

Išvados

1. Atlikus tiriamąją literatūros analizę buvo nuspręsta baigiamojo darbo tyrimui naudoti GARCH (1, 1) metodą akcijų indeksų nepastovumui ištirti. Ryšiu tarp akcijų indeksų ir šalies ekonominių rodiklių ištirti buvo pasitelkti: Granger'io priežastingumo klasikinis tiesinis metodas (VAR), Granger'io priežastingumas pagal TYDL, netiesinis Granger'io priežastingumo metodas naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais.
2. Tyrimui atlikti buvo pasirinkti atsinaujinančios energijos akcijų indeksai „S&P Global Clean Energy“ ir „Nasdaq Clean Edge Green Energy“. Ekonominiams rodikliams (BVP ir PPI) pasirinkta atsinaujinančiuose energijos indeksuose dominuojančių įmonių šalis – Jungtinės Amerikos Valstijos. Tyrime naudojamas laikotarpis 2012 m. kovo mėn.–2021 m. gruodžio mėn.
3. Ištirti ryšiai tarp atsinaujinančių energijos akcijų indeksų ir Jungtinių Amerikos Valstijų ekonominių rodiklių: BVP ir PPI:
 - 3.1. GARCH (1, 1) metodu ištirtas atsinaujinančios energijos akcijų indeksų nepastovumas. Pastebėta, kad nepastovumas ryškiau pastebimas tais laikotarpiais, kuomet rinką supurto sukretimai, kaip 2020-iais metais prasidėjusi Covid-19 pandemija.
 - 3.2. Atliktus tiesinį Granger'io priežastingumą (VAR) buvo gauti abipusiai ryšiai tarp atsinaujinančių energijos akcijų indeksų ir ekonominių rodiklių. Vadinasi, pasirinkti kintamieji vienas kitą veikia.
 - 3.3. Atlikus Granger'io priežastingumą pagal TYDL, gauti rezultatai parodė, jog su ekonominiu rodikliu BVP yra gaunamas abipusis ryšys. Atsinaujinantys energijos akcijų indeksai ir BVP veikia vienas kitą. Tačiau su ekonominiu rodikliu PPI tokių pačių rezultatų nebuvo gauta. Buvo gautas vienpusis ryšys, tai yra, pramonės kainų indeksas veikia atsinaujinančios energijos akcijų indeksus, tačiau atsinaujinančios energijos akcijų indeksai neveikia šio ekonominio rodiklio.
 - 3.4. Atlikus netiesinį Granger'io priežastingumo metodą naudojantis dirbtiniais neuroniniais tinklais buvo gautas visiškai priešingas rezultatas. Šio metodo rezultatai teigia, jog tarp atsinaujinančios energijos akcijų rinkų ir ekonominių rodiklių BVP ir PPI jokio ryšio nėra.
4. Atlikus tiesinį Granger'io priežastingumą pagal TYDL buvo nustatyti atsako į impulsą rezultatai.
 - 4.1. Jei BVP staiga padidėtų, atsinaujinančios energijos akcijų indeksai būtų paveikiami teigiamai.
 - 4.2. Jei atsinaujinančios energijos akcijų indeksai staiga padidėtų, ekonominis rodiklis BVP būtų paveikiamas silpnai teigiamai („S&P Global Clean Energy“ indekso atveju) arba iš karto neigiamai („Nasdaq Clean Edge Green Energy“ indekso atveju).
 - 4.3. Jei ekonominis rodiklis PPI staiga padidėtų, tai atsinaujinančios energijos akcijų indeksai būtų paveikiami silpnai teigiamai.
5. Ištyrus ryšius tarp ekonominių rodiklių ir atsinaujinančių energijos išteklių buvo gauta, kad BVP ir PPI turi priežastinį ryšį su atsinaujinančiais energijos šaltiniais tiriant ryšius tiesiniu būdu. Su ekonominiu rodikliu BVP gautas abipusis priežastinis ryšys tiriant ryšį tiek pagal VAR, tiek pagal TYDL. Ekonominis rodiklis PPI atsinaujinančius energijos išteklius veikia vienareikšmiškai tik su priežastiniu ryšiu pagal TYDL, kitu metodu (VAR) gauti abipusiai ryšiai. Netiesinis ryšys su pasirinktais kintamaisiais nebuvo rastas.

Literatūros sąrašas

1. Akcijų Rinka. Available from:<https://www.finansistas.net/akciju-rinka.html>.
2. SCHWERT, G.W., 1989. Why does Stock Market Volatility Change Over Time?. *The Journal of Finance*, vol. 44, no. 5, pp. 1115-1153. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1989.tb02647.x> ISSN 0022-1082. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1989.tb02647.x>.
3. OSAMWONYI, I.O. and EVBAYIRO-OSAGIE, E., 2012. The Relationship between Macroeconomic Variables and Stock Market Index in Nigeria. *Null*, vol. 3, no. 1, pp. 55-63. Available from: <https://doi.org/10.1080/09765239.2012.11884953> ISSN 0976-5239. DOI 10.1080/09765239.2012.11884953.
4. HSING, Y., 2011. Macroeconomic Determinants of the Stock Market Index and Policy Implications: The Case of a Central European Country. *Eurasian Journal of Business and Economics*, May 1, vol. 4, no. 7, pp. 1-11. Available from: <https://search.proquest.com/docview/886915021> EconLit. ISSN 1694-5948.
5. DUTTA, A., 2019. Impact of Silver Price Uncertainty on Solar Energy Firms. *Journal of Cleaner Production*, vol. 225, pp. 1044-1051. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619311102> ISSN 0959-6526. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.040>.
6. Verslo Ciklai. Available from:https://lt.wikipedia.org/wiki/Verslo_ciklai.
7. Austė Marija LAGUNAVIČIŪTĖ, Galina ŠEVČENKO. Finansinių Krizių Prevencija Globalios Ekonomikos Sąlygomis, Jan 13, 2019. pp. 4-6. Available from: <http://jmk.vvf.vgtu.lt/index.php/Verslas/2019/paper/viewFile/333/186>.
8. Akcija. Available from:<https://lt.wikipedia.org/wiki/Akcija>.
9. Akcijų Indeksas. Available from:https://lt.wikipedia.org/wiki/Akcij%C5%B3_indeksas.
10. Mature Markets: Introduction. Available from:<https://globaledge.msu.edu/econ-class/mature-markets>.
11. Emerging Markets: Introduction. Available from:<https://globaledge.msu.edu/econ-class/emerging-markets>.
12. JAMES CHEN., 2022. *Stock Market*. March 12, Available from: <https://www.investopedia.com/terms/s/stockmarket.asp>.
13. Atsinaujinantieji Energijos Ištekliai. Available from: https://www.wikizero.com/lt/Atsinaujinantieji_energijos_i%C5%A1tekliai.
14. ARIELLE O'SHEA, C.D., 2022. *What is the Stock Market and how does it Work?* March 3, Available from: <https://www.nerdwallet.com/article/investing/what-is-the-stock-market>.
15. SCHWERT, G.W., 1989. Why does Stock Market Volatility Change Over Time?. *The Journal of Finance*, vol. 44, no. 5, pp. 1115-1153. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1989.tb02647.x> ISSN 0022-1082. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1989.tb02647.x>.
16. OSAMWONYI, I.O. and EVBAYIRO-OSAGIE, E., 2012. The Relationship between Macroeconomic Variables and Stock Market Index in Nigeria. *Null*, vol. 3, no. 1, pp. 55-63.

Available from: <https://doi.org/10.1080/09765239.2012.11884953> ISSN 0976-5239. DOI 10.1080/09765239.2012.11884953.

17. HSING, Y., 2011. Macroeconomic Determinants of the Stock Market Index and Policy Implications: The Case of a Central European Country. *Eurasian Journal of Business and Economics*, May 1, vol. 4, no. 7, pp. 1-11. Available from: <https://search.proquest.com/docview/886915021> EconLit. ISSN 1694-5948.
18. HENRIQUES, I. and SADORSKY, P., 2008. Oil Prices and the Stock Prices of Alternative Energy Companies. *Energy Economics*, vol. 30, no. 3, pp. 998-1010. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988307001399> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.11.001>.
19. SADORSKY, P., 2012. Modeling Renewable Energy Company Risk. *Energy Policy*, vol. 40, pp. 39-48. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510005343> ISSN 0301-4215. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.064>.
20. KUMAR, S., MANAGI, S. and MATSUDA, A., 2012. Stock Prices of Clean Energy Firms, Oil and Carbon Markets: A Vector Autoregressive Analysis. *Energy Economics*, vol. 34, no. 1, pp. 215-226. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988311000703> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.03.002>.
21. WEN, X., GUO, Y., WEI, Y. and HUANG, D., 2014. How do the Stock Prices of New Energy and Fossil Fuel Companies Correlate? Evidence from China. *Energy Economics*, vol. 41, pp. 63-75. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988313002442> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.018>.
22. REBOREDO, J.C. and UGOLINI, A., 2018. The Impact of Energy Prices on Clean Energy Stock Prices. A Multivariate Quantile Dependence Approach. *Energy Economics*, vol. 76, pp. 136-152. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988318304146> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.10.012>.
23. REBOREDO, J.C., 2015a. Is there Dependence and Systemic Risk between Oil and Renewable Energy Stock Prices?. *Energy Economics*, vol. 48, pp. 32-45. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988314003259> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.009>.
24. ADRIAN, T. and BRUNNERMEIER, M.K., 2016. CoVaR. *The American Economic Review*, Jul 1, vol. 106, no. 7, pp. 1705-1741. Available from: <https://www.jstor.org/stable/43861110> CrossRef. ISSN 0002-8282. DOI 10.1257/aer.20120555.
25. GIRARDI, G. and TOLGA ERGÜN, A., 2013. Systemic Risk Measurement: Multivariate GARCH Estimation of CoVaR. *Journal of Banking & Finance*, vol. 37, no. 8, pp. 3169-3180. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426613001155> ISSN 0378-4266. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2013.02.027>.
26. LOW, R.K.Y., ALCOCK, J., FAFF, R. and BRAILSFORD, T., 2013. Canonical Vine Copulas in the Context of Modern Portfolio Management: Are they Worth it?. *Journal of Banking &*

- Finance*, vol. 37, no. 8, pp. 3085-3099. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426613001337> ISSN 0378-4266. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2013.02.036>.
27. DAS, S.R. and UPPAL, R., 2004. Systemic Risk and International Portfolio Choice. *The Journal of Finance*, vol. 59, no. 6, pp. 2809-2834. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2004.00717.x> ISSN 0022-1082. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2004.00717.x>.
 28. REBOREDO, J.C., 2015b. Is there Dependence and Systemic Risk between Oil and Renewable Energy Stock Prices?. *Energy Economics*, vol. 48, pp. 32-45. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988314003259> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.009>.
 29. DUTTA, A., BOURI, E., SAEED, T. and VO, X.V., 2020. Impact of Energy Sector Volatility on Clean Energy Assets. *Energy*, vol. 212, pp. 118657. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220317655> ISSN 0360-5442. DOI <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118657>.
 30. INCHAUSPE, J., RIPPLE, R.D. and TRÜCK, S., 2015. The Dynamics of Returns on Renewable Energy Companies: A State-Space Approach. *Energy Economics*, vol. 48, pp. 325-335. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988314002989> ISSN 0140-9883. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.11.013>.
 31. Matthew DiLallo., 2022. *Investing in Renewable Energy Stocks*. April 7, Available from: <https://www.fool.com/investing/stock-market/market-sectors/energy/renewable-energy-stocks/>.
 32. CHOUDHRY, T., PAPADIMITRIOU, F.I. and SHABI, S., 2016. Stock Market Volatility and Business Cycle: Evidence from Linear and Nonlinear Causality Tests. *Journal of Banking & Finance*, vol. 66, pp. 89-101. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426616000431> ISSN 0378-4266. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2016.02.005>.
 33. POSEDEL, P., 2005. Properties and Estimation of GARCH(1,1) Model. *Advances in Methodology and Statistics*, Jul 1, vol. 2, no. 2, pp. 243. Available from: <https://search.proquest.com/docview/1037808652> CrossRef. ISSN 1854-0023. DOI 10.51936/jjkd5433.
 34. LEUCHT, A., KREISS, J. and NEUMANN, M.H., 2015. A Model Specification Test for GARCH(1,1) Processes. *Scandinavian Journal of Statistics*, vol. 42, no. 4, pp. 1167-1193. Available from: <https://doi.org/10.1111/sjos.12158> ISSN 0303-6898. DOI <https://doi.org/10.1111/sjos.12158>.
 35. WILL KENTON., 2020. *GARCH Process*. October 25, Available from: <https://www.investopedia.com/terms/g/generalizedautoregressiveconditionalheteroskedasticity.asp>.
 36. ERIKA RASURE., 2021. *Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH)*. June 11, Available from: <https://www.investopedia.com/terms/g/garch.asp>.
 37. GHANI, I.M.M. and RAHIM, H.A., 2019. Modeling and Forecasting of Volatility using ARMA-GARCH: Case Study on Malaysia Natural Rubber Prices. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, Jun 1, vol. 548, no. 1, pp. 12023. Available

- from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/548/1/012023> CrossRef. ISSN 1757-8981. DOI 10.1088/1757-899X/548/1/012023.
38. HAFNER, C.M. and HERWARTZ, H., 2008. Testing for Causality in Variance using Multivariate GARCH Models. *Annales D'Économie Et De Statistique*, no. 89, pp. 215-241. Available from: <http://www.jstor.org/stable/27715168> JSTOR. ISSN 0769-489X,22726497. DOI 10.2307/27715168.
 39. XIA, T., JI, Q., ZHANG, D. and HAN, J., 2019. Asymmetric and Extreme Influence of Energy Price Changes on Renewable Energy Stock Performance. *Journal of Cleaner Production*, vol. 241, pp. 118338. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619332081> ISSN 0959-6526. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118338>.
 40. MAGHYEREH, A.I., AWARTANI, B. and ABDOH, H., 2019. The Co-Movement between Oil and Clean Energy Stocks: A Wavelet-Based Analysis of Horizon Associations. *Energy*, vol. 169, pp. 895-913. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218324058> ISSN 0360-5442. DOI <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.039>.
 41. Eric., 2021. *Introduction to the Fundamentals of Vector Autoregressive Models*. April 15, Available from: <https://www.aptech.com/blog/introduction-to-the-fundamentals-of-vector-autoregressive-models/>.
 42. ZIVOT, E. and WANG, J. Vector Autoregressive Models for Multivariate Time Series. In: *Modeling Financial Time Series with S-Plus* New York, NY: Springer New York. *Vector Autoregressive Models for Multivariate Time Series*, pp. 369-413 ISBN 0387916245. DOI 10.1007/978-0-387-21763-5_11.
 43. CHOUDHRY, T., HASSAN, S.S. and SHABI, S., 2020. U.S. Economic Uncertainty, EU Business Cycles, and the Global Financial Crisis. *International Journal of Finance & Economics*, vol. 25, no. 1, pp. 28-42. Available from: <https://doi.org/10.1002/ijfe.1726> ISSN 1076-9307. DOI <https://doi.org/10.1002/ijfe.1726>.
 44. BORJIGIN, S., YANG, Y., YANG, X. and SUN, L., 2018. Econometric Testing on Linear and Nonlinear Dynamic Relation between Stock Prices and Macroeconomy in China. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 493, pp. 107-115. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117310439> ISSN 0378-4371. DOI <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.10.033>.
 45. DUTTA, A., 2018. Oil and Energy Sector Stock Markets: An Analysis of Implied Volatility Indexes. *Journal of Multinational Financial Management*, vol. 44, pp. 61-68. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1042444X17302244> ISSN 1042-444X. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2017.12.002>.
 46. TANK, A., et al, 2021. Neural Granger Causality. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Mar 11, vol. PP, pp. 1. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9376668> PubMed. ISSN 0162-8828. DOI 10.1109/TPAMI.2021.3065601.

47. HMAMOUCHE, Y., 2020. NlinTS: An R Package for Causality Detection in Time Series. *The R Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 21. Available from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02974130> DOI 10.32614/RJ-2020-016.
48. Bendrasis Vidaus Produktas. Available from: https://lt.wikipedia.org/wiki/Bendrasis_vidaus_produkta.
49. Gamintojų Kainų Indeksas. Available from: <https://www.finansistas.net/gamintoju-kainu-indeksas.html>.

Priedai

1. Pateikiami baigiamajame darbe skaičiavimams atlikti naudoti kodai su RStudio programa.

```
library(lubridate)
```

```
library(rtweet)
```

```
library(Quandl)
```

```
library(TSstudio)
```

```
library(readxl)
```

```
library(vars)
```

```
library(mFilter)
```

```
library(tseries)
```

```
library(TSstudio)
```

```
library(forecast)
```

```
library(tidyverse)
```

```
library(lmtest)
```

```
#Įsikeliname indeksų duomenis
```

```
data_sp <- read_excel ('SP_Global.xlsx')
```

```
data_nq <- read_excel ('Nasdaq.xlsx')
```

```
str(data_sp)
```

```
str(data_nq)
```

```
#pasiimame tik grazas prie ju prisidedame data ir tuomet atvaizduojame
```

```
data_sp <- data_sp[,2]
```

```
dates <- seq(as.Date("2012-03-05"), length=3589, by="days")
```

```
data_sp <- xts(data_sp, order.by=dates)
```

```
data_sp.xts <- as.xts(data_sp)#, dateFormat="POSIXct")
```

```
data_sp <- na.omit(data_sp)
```

```
plot.xts(data_sp)
```

```
data_nq <- data_nq[,2]
```

```
data_nq <- xts(data_nq, order.by=dates)
```

```
data_nq.xts <- as.xts(data_nq)#, dateFormat="POSIXct")
```

```
data_nq <- na.omit(data_nq)
```

```
plot.xts(data_nq)
```

```
duom <- cbind(data_sp, data_nq$Price)
```

```
colnames(duom) <- cbind("SP_Global", "Nasdaq")
```

```
duom <- na.omit(duom)
```

```
#atvaizduojame akcijų kainų indeksus
```

```
ts_plot(duom, type = "single", col="green", slider = TRUE, Xtitle="Laikotarpis", Ytitle="Akcijų indeksų kainos", Xgrid=TRUE, Ygrid=TRUE)#, title="Akcijų indeksų kainų palyginimas 2012-2022 metais")
```

```
#paskaičiuojame logaritmines grąžas
```

```
data_sp_ret <- diff(log(data_sp))[-1] # ln(price(t+1)/price(t))
```

```
plot.xts(data_sp_ret, ylab="", xlab="", main = "S&P Global clean energy dieninės grąžos" )
```

```
data_nq_ret <- diff(log(data_nq))[-1] # ln(price(t+1)/price(t))
```

```
plot.xts(data_nq_ret, ylab="", xlab="", main = "Nasdaq Clean Edge Green Energy dieninės grąžos" )
```

```
#dienines grąžas paverčiame į mėnesines
```

```
data_sp_mon <- apply.monthly(data_sp_ret, FUN=colSums)
```

```
summary(data_sp_mon)
```

```
plot.xts(data_sp_mon, ylab="", xlab="", main = "S&P Global clean energy mėnesinės grąžos" )
```



```

data_nq_mon <- apply.monthly(data_nq_ret, FUN=colSums)

summary(data_nq_mon)

plot.xts(data_nq_mon, ylab="", xlab="", main = "Nasdaq Clean Edge Green Energy mėnesinės
grąžos" )

#ADF testas stacionarumui nustatyti

plot(data_sp_mon$Price, type="l")

adf.test(data_sp_mon$Price) #stacionarumas

plot(data_nq_mon$Price, type="l")

adf.test(data_nq_mon$Price) #stacionarumas

#Patikrininame nepastovumą su GARCH(1,1) akcijų indeksams. matome, kad duomenys su
Stjudento pasiskirstymu yra normalieji ir sis pasiskirstymas duoda geresnius rezultatus

library(rugarch)

garch_spec = ugarchspec(variance.model = list(model = "sGARCH", garchOrder = c(1,
1)), mean.model = list(armaOrder = c(0, 0)), distribution.model = "norm")

#taikoma garch metoda

fit_garch = ugarchfit(spec = garch_spec, data = data_sp_ret)

# show the estimates and other diagnostic tests

fit_garch

par1 = par() #save graphic parameters

par(mfrow = c(1, 1))

plot(fit_garch, which = 10)

plot(fit_garch, which = 3)

plot(fit_garch,which=6)

plot(fit_garch,which=9)

plot(fit_garch,which=10)

plot(fit_garch,which=11)

```

```

#The GARCH model with Skewed student distribution
garch_spec1 = ugarchspec(variance.model = list(model = "sGARCH", garchOrder = c(1,
    1)), mean.model = list(armaOrder = c(0, 0)), distribution.model = "sstd")
fit_garch1 = ugarchfit(spec = garch_spec1, data = data_sp_ret)
# show the estimates and other diagnostic tests
fit_garch1

#netiesinis su dirbtiniais neuroniniais tinklais
library(NlinTS)
library(timeDate)
library (timeSeries)
library (Rcpp)

data1 <- read_excel ('Duomenys.xlsx')
data1 <- data.frame(data1)
model3 = nlin_causality.test (data1[,2], data1[,3], 2, c(2), c(4), iters = 50, learningRate = 0.01)
model3$summary ()
model3$pvalue

```