



**Kauno technologijos universitetas**  
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

# **Tarpusavio ryšių bei tinklinės analizės naudojimas tiriant bitkoino arbitražo galimybes**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Rasa Skendelytė**  
Projekto autorė

Doc. dr. Audrius Kabašinskas

Vadovas

Doc. dr. Alfreda Šapkauskienė

Vadovė

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**  
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

# **Tarpusavio ryšių bei tinklinės analizės naudojimas tiriant bitkoino arbitražo galimybes**

Baigiamasis magistro studijų projektas  
Studijų programos pavadinimas (6213AX001)

---

**Rasa Skendelytė**

Projekto autorė

**Doc. dr. Audrius Kabašinskas**

Vadovas

**Doc. dr. Alfreda Šapkauskienė**

Vadovė

**Doc. dr. Kristina Šutienė**

Recenzentė

**Doc. dr. Šviesa Leitoniene**

Recenzentė

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Rasa Skendelytė

## **Tarpusavio ryšių bei tinklinės analizės naudojimas tiriant bitkoino arbitražo galimybes**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Rasos Skendelytės, baigiamasis projektas tema „Tinklinės analizės naudojimas aukšto dažnio kriptovaliutų rinkos tyrime“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

Rasa Skendelytė

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Skendelytė, Rasa. Tarpusavio ryšių bei tinklinės analizės naudojimas tiriant bitkoino arbitražo galimybes. Magistro studijų baigiamasis projektas, vadovas doc. dr. Audrius Kabašinskas, vadovė doc. dr. Alfreda Šapkauskienė; Kauno technologijos universitetas, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Taikomoji matematika (A02), Matematikos mokslai (A)

Reikšminiai žodžiai: bitkoinas, arbitražas, tinklinė analizė, tarpusavio ryšių analizė.

Kaunas, 2020. 71 p.

## Santrauka

Kripto valiutos, atsiradusios kiek daugiau nei prieš 10 metų, stipriai pakeitė šių dienų finansų pasaulį. Bitkoino atsiradimas įnešė tam tikros baimės dėl jo unikalaus veikimo principo, su kuriuo niekam anksčiau neteko susidurti. Mokslinėje literatūroje pirmi tyrimai atsirado 2012 m., o jų kiekis ženkliai išaugo 2017 m. ir, vis dar, toliau ženkliai auga. 2017 m. mokslininkai pradėjo analizuoti bitkoino kainos kintamumo bei formavimosi specifiką, efektyvumo problematiką bei arbitražo galimybes. Literatūroje apibrėžiama ir dažnai minima kainos efektyvumo problema, sudaranti palankias sąlygas formuoti arbitražo galimybėms, kurias išnaudojant galima sėkmingai diversifikuoti finansinę riziką. Pastebimas tyrimų analizuojančių, kaip bitkoinas gali būti panaudojamas diversifikavimo tikslais, augimas, tačiau vis dar išlieka didelis poreikis tyrimų, analizuojančių arbitražines galimybes kriptovaliutų rinkoje. Ištyrus bitkoino arbitražo galimybes, išanalizavus jo tinkle esančių keityklų tarpusavio ryšius bei atlikus tinklinę analizę, galima būtų ne tik ištirti arbitražines galimybes kriptovaliutų rinkoje, bet ir nustatyti ar rinkoje egzistuoja centrinės keityklos, formuojančios tendencijas visoje kriptovaliutų rinkoje?

Bitkoino arbitražo galimybių problematika buvo identifikuota pirmoje darbo dalyje atlikus mokslinės literatūros analizę. Antroje darbo dalyje, sudaryta tarpusavio ryšių nustatymo bei tinklinės analizės tyrimo metodiką, naudojama aukšto dažnio kriptovaliutų rinkos tyrime. Trečioje darbo dalyje, išanalizavus kainos formavimosi bei efektyvumo problematiką, naudojant koreliacijas, atsako funkcijas, Grangerio priežastingumo testą, atlikta tarpusavio ryšių analizė, kuri padėjo nustatyti svarbiausius ryšius tarp keityklų bei identifikuoti pagrindines keityklas, formuojančias tendencijas rinkoje. Tarpusavio ryšių analizė padėjo nustatyti, kad *kraken* ir *bitstamp* yra pagrindinės keityklos, formuojančios tendencijas bitkoinų rinkoje, *bitbay* ir *cexio* taip pat atlieka svarbų vaidmenį. Identifikavus pagrindines keityklas bei jų ryšius su kitomis keityklomis, atlikta tinklinė analizė, kurios rezultatai padėjo identifikuoti pagrindines aktyviausias keityklų grupes ir surasti keityklas, kuriose dažniausiai perkami ir parduodami bitkoinai. Nustatyta, kad keityklos, kuriose buvo galima pelningai įsigyti bei parduoti bitkoiną, skirtingais mėnesiais keitėsi, tačiau *dsx*, *kraken* ir *bitstamp* keityklose daugeliu atveju atsirasdavo patraukliausios galimybės įsigyti bitkoino, o *cexio*, *bitmarkettl* ir *coindeal* dažniausiai atsirasdavo palankios galimybės parduoti bitkoiną. Naudojant loginę analizę, sisteminimo, palyginimo ir apibendrinimo metodus, lyginant su kitų mokslininkų tyrimų rezultatais, buvo apibendrinami tyrimo rezultatai bei pateikiamos rekomendacijos išbandyti bitkoino diversifikacijos galimybes akcijų rinkoje instituciniams investuotojams bei fondų valdytojams. Tyrimo rezultatai svarbūs ir įstatymų leidėjams geresniam bitkoino arbitražo galimybių pažinimui.

Skendelytė, Rasa. Study of bitcoin arbitrage opportunities using interrelationship and network analysis. Master's Final Degree; assoc. prof. Audrius Kabašinskas, assoc. prof. Alfreda Šapkauskienė; Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Applied mathematics (A02), Mathematics science (A).

Keywords: bitcoin, arbitrage, network analysis, interrelationship.

Kaunas, 2020. 71 p.

### **Summary**

Cryptocurrencies, which were founded 10 years ago, have drastically changed the financial world. Bitcoin started the era of next financial revolution as a form of cryptocurrency. The first studies about bitcoin appeared in 2012. Number of researches have strongly increased in 2017 and until now continue to grow significantly. Researchers begun to analyse bitcoin's price, efficiency and volatility problem, arbitrage opportunities in 2017. There is a noticeable growth in research of bitcoin diversification benefits but still there is lack of comprehensive research of bitcoin's arbitrage opportunities. This research would help to explore bitcoin's arbitrage opportunities. Also, it would give significant insights as real arbitrage data has never been analysed before. Results of bitcoin's behaviour investigation would lead to better understanding of interrelationships between cryptocurrency exchanges. Moreover, it would give additional information about main exchanges which form trends in cryptocurrency market.

1 section is devoted to the scientific literature review which shows the arising demand of comprehensive bitcoin arbitrage opportunities. 2 section is devoted to detailed description of a methodology used for interrelationships and network analysis in high-frequency cryptocurrency market. 3 section is used for better understanding of bitcoin's price formation by exploring the behaviour of bitcoin. There were used graphical and statistical analysis of bitcoin's price volatility. Results show that when bitcoin's price increases, number of arbitrage opportunities increases, as well. Analysis was followed by investigations of interrelationships between different exchanges. There were used correlations, response functions, Granger causality test. The analysis of the interrelationships helped to identify that kraken and bitstamp are the main exchanges forming the trends in the bitcoin's market, bitbay and cexio also gives important influence on other exchanges. After identifying the main exchanges and their connections between them, there was performed network analysis. Results of network analysis helped to identify the main active groups of exchanges and to find which exchanges is best for selling and buying bitcoins. It was found that exchanges for buying and selling bitcoin differs in different periods of time. However, by evaluating all period results it was noticed that dsx, kraken and bitstamp in the most cases were the most attractive exchanges where investors could buy bitcoin. Cexio, bitmarketlt and coideal were most attractive for selling bitcoin. After results comparison with other scientists findings by using logical analysis and comparison methods there were provided recommendations, which could give significant insights for institutional investors, fund clerks, lawmakers. Bitcoin can be successfully used as a diversification in financial portfolios. Using bitcoin in financial portfolios would lead to improving accuracy of forecasting opportunities and it could work as a hedge against losses.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas</b> .....	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas</b> .....	<b>9</b>
<b>Įvadas</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Bitkoino rinkos mokslinės literatūros analizė</b> .....	<b>12</b>
1.1. Bitkoino rinkos tyrimo raida ir tyrimo kryptys .....	12
1.2. Rinkos formuotojų vaidmuo ir arbitražo galimybės .....	17
1.3. Bitkoino kainos formavimosi tyrimo metodų išskyrimas ir palyginimas .....	19
<b>2. Tarpusavio ryšių bei tinklinės analizės panaudojimo bitkoino rinkos tyrime metodika</b> ...	<b>28</b>
2.1. Tyrimo eiga.....	28
2.2. Duomenų rinkinio unikalumas ir naudojama programinė įranga .....	30
2.3. Tarpusavio ryšių tyrimui naudojami metodai.....	31
2.3.1. Duomenų stacionarumo vertinimui naudojami metodai ir koreliacinė analizė .....	31
2.3.2. Impulsų atsako funkcijos ir Grangerio priežastingumo testas .....	33
2.4. Tinklinės analizės metodas .....	34
2.5. Tiriamas duomenų rinkinys .....	36
<b>3. Bitkoino arbitražo galimybių tarpusavio ryšių tyrimo ir tinklinės analizės rezultatai</b> .....	<b>39</b>
3.1. Bitkoino kainos dinamikos tyrimas.....	39
3.2. Arbitražo galimybių detali analizė .....	42
3.3. Bitkoinais prekiaujančių kriptovaliutų keityklų tarpusavio ryšio tyrimas .....	45
3.3.1. Duomenų parengimas ir geriausio modelio išskyrimas .....	46
3.3.2. Ryšių tarp keityklų aprašymas ir centrinių keityklų išskyrimas .....	49
3.4. Tinklinės analizės rezultatai .....	55
3.5. Tarpusavio ryšių ir tinklinės analizės tyrimų rezultatų palyginimas ir interpretavimas .....	59
3.6. Rezultatų palyginimais su literatūroje aprašytais panašių tyrimų rezultatais .....	62
<b>Išvados</b> .....	<b>64</b>
<b>Rekomendacijos</b> .....	<b>66</b>
<b>Literatūros sąrašas</b> .....	<b>67</b>
<b>Informacijos šaltinių sąrašas</b> .....	<b>71</b>
<b>Priedai</b> .....	<b>72</b>
1 priedas. Keityklos 1 viso arbitražo sumos ir kiekiai .....	72
2 priedas. Keityklos 2 viso arbitražo sumos ir kiekiai .....	73
3 priedas. Keityklos 2 sumos kas mėnesį pagal keityklas .....	74
4 priedas. Keityklos 2 kiekiai kas mėnesį pagal keityklas .....	75
5 priedas. Keityklos 1 sumos kas mėnesį pagal keityklas .....	76
6 priedas. Keityklos 1 kiekiai kas mėnesį pagal keityklas .....	77
7 priedas. Keitykla 2 atsako funkcijos (IRF) testo rezultatai .....	78
8 priedas. Keitykla 1 atsako funkcijos (IRF) rezultatai.....	79
9 priedas. Tinklinės analizės IN ir OUT reikšmių keityklų rezultatai .....	80
10 priedas. Tinklinės analizės <i>bitbay</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.....	81
11 priedas. Tinklinės analizės <i>bitlish</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.....	82
12 priedas. Tinklinės analizės <i>bitmarketlt</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	83
13 priedas. Tinklinės analizės <i>bitstamp</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	84

14	priedas. Tinklinės analizės <i>cexio</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	85
15	priedas. Tinklinės analizės <i>coindeal</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	86
16	priedas. Tinklinės analizės <i>coinfalcon</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	87
17	priedas. Tinklinės analizės <i>coinfoor</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	88
18	priedas. Tinklinės analizės <i>coinmate</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	89
19	priedas. Tinklinės analizės <i>dsx</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	90
20	priedas. Tinklinės analizės <i>exmo</i> keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef. ....	91

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Empiriniuose tyrimuose dažniausiai išskiriamos bitkoino kainos kintamumo/efektyvumo tematikos .....	15
<b>2 lentelė.</b> Empiriniuose tyrimuose dažnai išskirtos bitkoino panaudojimo diversifikavimo tikslais tematikos .....	16
<b>3 lentelė.</b> Mokslininkų kriptovaliutų rinkos tyrimui naudoti metodai.....	24
<b>4 lentelė.</b> Keityklos 1 duomenų rinkinio keityklų apibendrinta statistika .....	36
<b>5 lentelė.</b> Keityklos 2 duomenų rinkinio keityklų apibendrinta statistika .....	37
<b>6 lentelė.</b> Papildoma informacija apie keityklas .....	37
<b>7 lentelė.</b> Arbitražo sumos ir kiekiai nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio (keitykla 2) .....	45
<b>8 lentelė.</b> KPSS ir ADF testų rezultatai .....	46
<b>9 lentelė.</b> Tarpusavio ryšių analizė įvertinant modelių rezultatus su 1, 3, 5, 9, 12, 15 vėlinimais....	48
<b>10 lentelė.</b> Tarpusavio ryšių analizė susumuojant modelių su 1, 3, 5, 9, 12, 15 vėlinimais rezultatus .....	48
<b>11 lentelė.</b> Tarpiskumo koeficientų mėn. vidurkių reikšmės nuo 2019 sausio iki 2020 m. balandžio mėn.....	55
<b>12 lentelė.</b> Keityklos 2 IN reikšmės .....	56
<b>13 lentelė.</b> Keityklos 2 OUT reikšmės.....	56
<b>14 lentelė.</b> Keityklos 2 indekso reikšmės apskaičiuotos iš IN atėmus OUT reikšmes.....	57
<b>15 lentelė.</b> „Keityklų pardavėjų“ TOP 3 analizuotu laikotarpiu .....	58
<b>16 lentelė.</b> Keityklų IN ir OUT reikšmių sumos ir kiekiai analizuotu laikotarpiu.....	59
<b>17 lentelė.</b> Keityklų tarpusavio ryšių tyrimo apibendrinti rezultatai.....	60
<b>18 lentelė.</b> Keityklų IN ir OUT reikšmių apibendrinti rezultatai išskiriant pagrindines keityklas ...	61



## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Populiariose duomenų bazėse paieškų skaičiaus tendencijos 2012–2019 m. pagal nurodytus raktažodžius.....	13
<b>2 pav.</b> Detali tyrimo eiga.....	29
<b>3 pav.</b> Ryšio stiprumas vertinant pagal koreliacijos koeficiento reikšmes .....	32
<b>4 pav.</b> Bitkoino kainos pokyčiai nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn. ....	39
<b>5 pav.</b> Išaugusios arbitražo galimybės kylant bitkoino kainai .....	40
<b>6 pav.</b> Arbitražo galimybės 2019 m. liepos mėn. ....	40
<b>7 pav.</b> Bitkoino kainos kritimas 2020 m. vasario – kovo mėn. ....	41
<b>8 pav.</b> Populiariausių finansinių FTSE 100, DAX, DJIA, S&P 500 indeksų pokyčiai pandemijos metu .....	41
<b>9 pav.</b> Arbitražo galimybių sumažėjimas krentant bitkoino kainai 2020 vasario–kovo mėn. ....	42
<b>10 pav.</b> Abiejų duomenų rinkinių keityklų duomenys bei arbitražo sumos ir kiekiai per analizuojamą laikotarpį nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn. ....	43
<b>11 pav.</b> Visų keityklų arbitražo sumos visu analizuotu laikotarpiu nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn. ....	44
<b>12 pav.</b> Arbitražo sumos visu analizuotu laikotarpiu nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn. pašalinus stipriausią poveikį dariusių keityklų duomenis .....	44
<b>13 pav.</b> Keityklos 2 kintamųjų koreliacinė matrica.....	47
<b>14 pav.</b> Keityklos 1 kintamųjų koreliacinė matrica.....	47
<b>15 pav.</b> Keityklos 1 IRF impulsai.....	49
<b>16 pav.</b> Keityklos 2 IRF impulsai.....	49
<b>17 pav.</b> Keityklos 2 stipriausi IRF impulsai iš kraken, bitstamp ir cexio keityklų .....	50
<b>18 pav.</b> Keityklos 2 FEVD įtaka bitstamp ir cexio keitykloms kraken atžvilgiu.....	51
<b>19 pav.</b> Kairėje keityklos 2 (interaktyvus grafikas <a href="https://rpubs.com/rasske/620757">https://rpubs.com/rasske/620757</a> ), o dešinėje keityklos 1 (interaktyvus grafikas <a href="https://rpubs.com/rasske/621075">https://rpubs.com/rasske/621075</a> ) Grangerio priešastingumo testo grafinis įvertinimas .....	52
<b>20 pav.</b> Keityklos 1 stipriausi IRF impulsai iš kraken ir bitstamp keityklų.....	52
<b>21 pav.</b> Keityklos 1 FEVD kraken ir bitstamp keityklų įtaka coinfloor ir cexio keitykloms .....	53
<b>22 pav.</b> Kryžminio poveikio (angl. cross-impact) matricos rezultatai su grupių išskyrimu (keitykla 2) .....	53
<b>23 pav.</b> Kryžminio poveikio (angl. cross-impact) matricos rezultatai su grupių išskyrimu (keitykla 1) .....	54
<b>24 pav.</b> Mėn. indekso reikšmės vertinant keityklų duomenis nuo 2019 sausio iki 2020 m. balandžio mėn. ....	57
<b>25 pav.</b> Indekso suma skirtingoms keitykloms vertinant viso laikotarpio keityklų duomenis .....	58

## Įvadas

Nuo žymiausios kriptovaliutos bitkoino atsiradimo praėjus kiek daugiau nei 10 metų, kriptovaliutų tematika išlieka viena aktualiausių šiomis dienomis. Mokslinėje literatūroje pirmieji žingsniai, analizuojant bitkoiną, buvo žengti 2012–2015 m. praėjus vos keleriems metams po bitkoino atsiradimo (Feld ir kt., 2014; Greebel ir kt., 2015; Dwyer, 2015; Baek ir Elbeck, 2015). Augant bitkoino tinklui, tendencingai daugėjo ir mokslinių tyrimų bei keitėsi mokslininkų analizuojamos tematikos. 2017 m. mokslininkai pradėjo analizuoti, kas yra bitkoinas ir kokia jo paskirtis bei funkcijos (Barcilar ir kt., 2017; Zhu ir kt., 2017; Urquhart'as, 2017; Kim ir kt., 2017, Tasca ir kt., 2017). Dar stipriau išaugus susidomėjimui 2018 m. pastebimos bitkoino kainos kintamumo (Corbet ir kt., 2018; Beneki ir kt., 2019; Fakhfekh ir Jeribi, 2019), formavimosi specifikos (Brauneis ir Mestel, 2018), efektyvumo problematikos (Wei, 2018; Yahyae ir kt., 2018; Krückeberg ir Scholz, 2019) bei arbitražo galimybių temos (Pauna, 2018; Kakushadze, 2019; Krückeberg ir Scholz, 2019). Literatūroje apibrėžiama ir dažnai minima kainos efektyvumo problema, sudaranti palankias sąlygas formuoti arbitražo galimybėms, kurias išnaudojant galima sėkmingai diversifikuoti finansinę riziką (Baur ir Dimpfl, 2018; Charfeddine, 2019; Jin ir kt., 2019). Pastebimas tyrimų analizuojančių, kaip bitkoinas gali būti panaudojamas diversifikavimo tikslais, augimas, tačiau vis dar išlieka didelis poreikis tyrimų, analizuojančių arbitražines galimybes kriptovaliutų rinkoje. Priešingai nei finansų, kriptovaliutų rinkoje prekyba vyksta visą dieną, visomis savaitės dienomis (Aharon ir Qadan, 2019). Didelis kainos kintamumas ir nesustojanti prekyba, sąlygoja masinių duomenų kaupimąsi. Zargar ir Kumar (2018), Zhang ir kt. (2018a), Katsiampa ir kt. (2019), tyrime naudodami didžiuosius aukšto dažnio bitkoino prekybos duomenis prognozuoja bitkoino kainos pokyčius, kurie išlieka patys aktualiausi kriptovaliutų rinkoje dėl kitų kriptovaliutų priklausomybės nuo bitkoino. Arbitražo galimybių tyrimas viena aktualiausių tyrimo kryptių pastaruoju metu, tačiau minėti tyrimai atiekami naudojant potencialius, o ne realius arbitražo duomenis. Neatsilikiant nuo aktualiausios 2019–2020 m. tematikos bei turint 2019–2020 m. aukšto dažnio realius, unikalius arbitražo duomenis galima iširti realias bitkoino arbitražo sumas, išanalizuoti jo tinkle esančių keityklų tarpusavio ryšius bei atlikti tinklinę analizę. Toks tyrimas padėtų ne tik iširti arbitražines galimybes kriptovaliutų rinkoje, bet ir nustatyti **ar rinkoje egzistuoja centrinės keityklos, formuojančios tendencijas visoje kriptovaliutų rinkoje?**

**Tyrimo objektas.** Bitkoino arbitražo galimybės.

**Pagrindinis tyrimo tikslas** yra iširti bitkoino arbitražo galimybes, naudojant tarpusavio ryšių ir tinklinę analizę, identifikuojant egzistuojančius ryšius tarp keityklų ir jų tinklo bei surandant centrinę keityklą, formuojančias tendencijas kriptovaliutų rinkoje.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Iširti mokslinėje literatūroje analizuojamą bitkoino kainos formavimosi problematiką, arbitražo galimybes bei rinkos formuotojo vaidmenį kriptovaliutų rinkoje;
2. Sudaryti tarpusavio ryšių nustatymo bei tinklinės analizės tyrimo metodiką, naudojamą aukšto dažnio kriptovaliutų rinkos tyrime;
3. Išsamiai išanalizuoti duomenis ir naudojant koreliacinę, atsako funkcijų, Grangerio priežastingumo bei kryžminio–poveikio matricų analizę, iširti egzistuojančius ryšius tarp keityklų.

4. Atlikus bitkoino arbitražo galimybių skirtingose keityklose tinklinę analizę, ištirti keityklų tinklo aktyvumą bei pagrindines keityklas, kuriose dažniausiai perkami ir parduodami bitkoinai.
5. Apibendrinti tarpusavio ryšių tyrimo bei tinklinės analizės rezultatus ir palyginti juos su mokslininkų tyrimų rezultatais.

**Tyrimo metodai:** mokslinės literatūros analizė, grafinė analizė, sisteminimo, palyginimo ir apibendrinimo metodai, statistinė analizė, laiko eilučių tarpusavio ryšių analizė remiantis atsako funkcijomis, Grangerio priežastingumo testo, kryžminio-poveikio matricos rezultatais, tinklinė analizė, loginė analizė.

Bitkoino arbitražo galimybių problematika buvo identifikuota pirmoje darbo dalyje atlikus mokslinės literatūros analizę. Antroje darbo dalyje, sudaryta tarpusavio ryšių nustatymo bei tinklinės analizės tyrimo metodiką, naudojama aukšto dažnio kriptovaliutų rinkos tyrime. Trečioje darbo dalyje, išanalizavus kainos formavimosi bei efektyvumo problematiką, naudojant koreliacijas, atsako funkcijas, Grangerio priežastingumo testą, atlikta tarpusavio ryšių analizė, kuri padėjo nustatyti svarbiausius ryšius tarp keityklų bei identifikuoti pagrindines keityklas, formuojančias tendencijas rinkoje. Pagrindinių aktyviausių keityklų grupių nustatymui naudota tinklinė analizė, kurios rezultatai padėjo identifikuoti, kuriose keityklose dažniausiai perkami ir parduodami bitkoinai. Tyrimo rezultatus palyginus su kitų mokslininkų tyrimų rezultatais, buvo pateikiamos apibendrintos išvados bei rekomendacijos instituciniams investuotojams bei fondų valdytojams.

## 1. Bitkoino rinkos mokslinės literatūros analizė

Mokslinėje literatūroje pirmieji tyrimai kriptovaliutų tematika atsirado jau 2012 m., tačiau susidomėjimas bitkoinu ypač išaugo 2018 m., po staigaus bitkoino kainos kilimo 2017 m. pabaigoje. Augant bitkoino tinklui, tendencingai daugėjo ir mokslinių tyrimų bei keitėsi mokslininkų analizuojamos tematikos. Skirtingais bitkoino raidos laikotarpiais pastebimos dominavusios panašios mokslinių tyrimų kryptys, kurios ir aptariamos pirmoje baigiamojo projekto dalyje. Išanalizavus mokslinių tyrimų raidą bei kryptis, išskiriama literatūroje pastebima bitkoino kainos efektyvumo ir kintamumo mokslinė problema, kuri skatina tirti arbitražo galimybes bitkoino rinkoje. Trečiame pirmos dalies skyriuje įvertinta, kokie metodai dažniausiai naudojami tiriant pasirinktą problematiką.

### 1.1. Bitkoino rinkos tyrimo raida ir tyrimo kryptys

Nors atsiradus bitkoinui visuomenė buvo skeptiškai nusiteikusi, kriptovaliutos vis labiau sėkmingai įsitvirtina rinkoje ir kiekvieną dieną atsiranda vis naujų kriptovaliutų. Remiantis žymiausios *CoinMarketCap* kriptovaliutų analizės ir pokyčių stebėjimų svetainės duomenimis, pagal 2020-03-24 dienos duomenis, egzistuoja 5112 kriptovaliutų. 70 kriptovaliutų kapitalizacija yra daugiau nei 100 mln. JAV dolerių (toliau – dol.), o vien populiariausios bitkoino kriptovaliutos kapitalizacija siekia 128,67 mlrd. dol., 2020-04-16 dienos duomenimis. Lyginant su finansų rinka, tai yra vis dar nauja, besivystanti rinka, tačiau globalioje rinkoje gebėjimas įvertinti kriptovaliutų elgesį išlieka viena pagrindinių siekiamybių. Pirmieji empiriniai tyrimai bitkoinų tematika pasirodė jau 2013 m., didesnis susidomėjimas kriptovaliutomis kilo 2015 m., kai buvo galima rasti literatūros įvairesnėmis tematikomis (Kubat, 2015; Kristoufek'as, 2015; Dwyer, 2015; Baek'as ir Elbeck'as, 2015). Verta pastebėti, kad iki 2018 m. buvo nedaug tyrimų kriptovaliutų tematika, dažniausiai buvo analizuojamas bitkoinas, kaip pagrindinis rinkos veikėjas. Atliekant kriptovaliutų rinkos analizę neįmanoma neišskirti bitkoino, kuris yra centrinė figūra, diktuojanti visos rinkos veiksmus. Žinoma, tai ir išsamiai tirta, didžiausią kapitalizaciją, programuotojų komandą turinti kriptovaliuta. Cheah'as ir Fry (2015) tyrimo rezultatai reprezentuoja pradinio tyrimų laikotarpio neigiamą požiūrį į Bitkoiną. Mokslininkų teigimu, fundamentali bitkoino vertė yra lygi nuliui. Palaikant negatyviąją pusę, Pinzon'as ir Rocha (2016) bei Irwin'as ir Milad (2016) tyrimų rezultatai parodė, kad didelis kainos kintamumas verčia suabejoti dėl bitkoino ateities perspektyvų. Tačiau nepaisant minėtu laikotarpiu kilusio nepasitikėjimo šia nauja rinka, daugiausia tyrimuose dominavo kriptovaliutų, kaip finansinio instrumento, vertinimas ir jo veikimo principo supratimas. Mokslininkai tyrė bitkoiną iš teisinės perspektyvos (Greebel ir kt., 2015), vertino šios kriptovaliutos techninius aspektus (Pinzon'as ir Rocka, 2016), analizavo privalumus (Polasik'as ir kt. 2016; Dwyer, 2015). Ciaian'as ir kt. (2016) ir Harvey (2016) išsamiai tyrė kriptovaliutų ekonomiką ir blokų grandinės technologiją, kurios veikimu yra paremtos kriptovaliutos. Easley ir kt. (2017) ir Huberman'as ir kt. (2017) studijavo bitkoinų kasimo mokesčius. Vienas iš pagrindinių visų tyrimų tikslų buvo suprasti visiškai naują ir finansų rinkoje dar niekada neanalizuotą decentralizuotą veikimo principą (Gobel ir kt., 2016). Roth'as (2015) decentralizuotą modelį vertino, kaip revoliuciją, prilygstančią interneto atsiradimui.

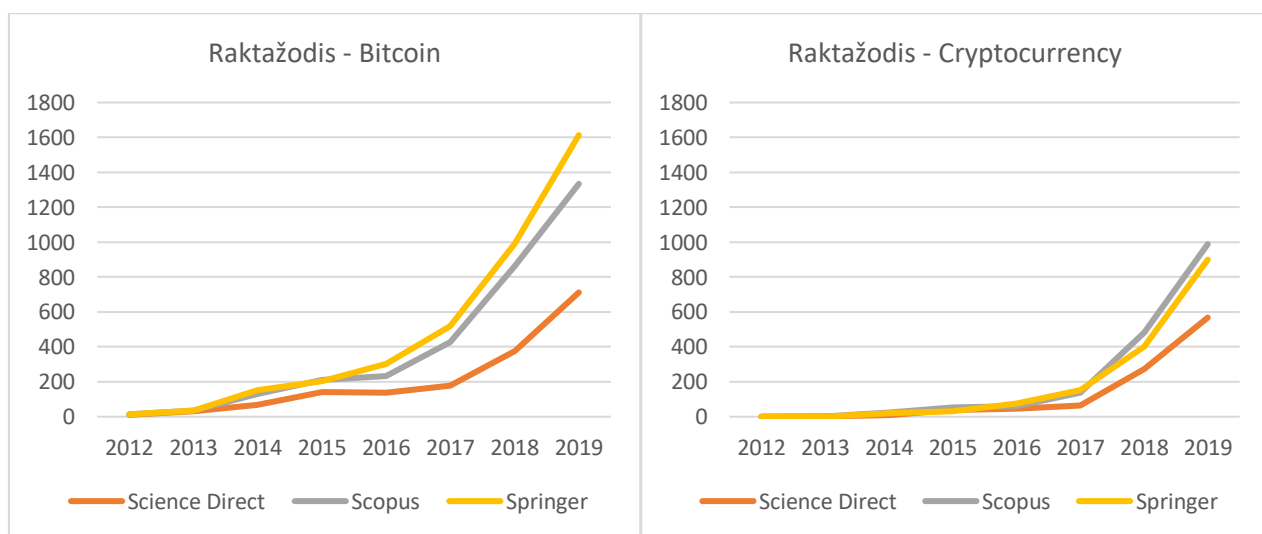
---

<sup>1</sup> CoinMarketCap – viena geriausiai pasaulyje žinoma kriptovaliutų kainų pokyčių stebėjimo svetainė, skirta informuoti vartotojus ir didinti efektyvumą kriptovaliutų rinkoje.

Analizuojant mokslinę literatūrą buvo pastebėti tam tikri raidos etapai. Nuomonei pagrįsti remiamasi gerai žinomų ir dažnai naudojamų duomenų bazių „Science Direct“, „Scopus“ ir „Springer“ paieškos rezultatais, įvedant raktažodį „Bitcoin“ ir „Cryptocurrency“. Išskiriami tokie tyrimų etapai:

1. 2012–2014 m., pirmieji straipsniai atsiranda šia, dar labai mažai kam žinoma tematika, dominavusios tyrimo kryptys – bitkoino esmė ir blokų grandinių (angl. *blockchain*) technologija, kurios veikimu paremtas kriptovaliutų veikimo principas.
2. 2015–2017 m., auga susidomėjimas ir tyrimų skaičius (žr. 1 pav.), dominavusios tyrimo kryptys – bitkoino paskirtis, funkcijos, priskyrimo finansiniam turtui galimybės, bitkoino privalumai ir trūkumai.
3. 2018–2020 m. ženkliai išauga tyrimų skaičius ir susidomėjimas, literatūroje ištyrus, kas yra bitkoinas, tampa aktualios kainos efektyvumo ir kintamumo, panaudojimo ir arbitražo galimybių tyrimo kryptys.

Jeigu pagal raktažodį „Bitcoin“ tyrimų skaičius 2012 ir 2013 m. siekė 15–30, tai pagal raktažodį „Cryptocurrency“ pirmieji straipsniai atsirado tik 2015 m. (žr. 1 pav.). Kai pagal raktažodį „Bitcoin“ 2015 m. jau buvo galima rasti 200–300 tyrimų, tai pagal raktažodį „Cryptocurrency“ tik 2017 m. atsirado 60–150 tyrimų. Kaip prieš tai buvo pastebėta, trečiame etape 2018–2020 m. staiga išaugo tyrimai pagal abu minėtus raktažodžius, šiuo laikotarpiu jau mokslininkai tyrė ne tik bitkoiną, bet ir kitas kriptovaliutas arba analizavo bendrai kriptovaliutų poras.



**1 pav.** Populiariose duomenų bazėse paieškų skaičiaus tendencijos 2012–2019 m. pagal nurodytus raktažodžius

Dėl savito kriptovaliutų veikimo principo, mokslininkai aktyviai tyrė kriptovaliutų paskirtį. Pagrindinis klausimas buvo, ar kriptovaliutos gali būti vertinamos kaip unikalus finansinis instrumentas, kaip spekuliacinis turtas ar kaip valiuta? Ciaian‘as ir Rajcaniova (2016) buvo vieni pirmųjų tyrėjų analizavusių kriptovaliutų galimybes ir teigiančių, kad Bitkoinas negali būti pripažintas tikra valiuta iki tol, kol jis neatliks trijų pagrindinių valiutos funkcijų: apskaitos vienetas (angl. *unit of account*), apsikaitimo priemonė (angl. *medium of exchange*) ir vertės išlaikymas (angl. *store of value*). Baek ir Elbeck (2015), Cheah ir Fry (2015) bandė vertinti bitkoiną iš spekuliacinio finansinio turto perspektyvos. Po daugybės tyrimų aišku yra tai, kad bitkoinas ir kitos kriptovaliutos

yra unikalus finansinis turtas, kuris dažnai naudojamas, kaip valiuta, atsiskaitymo tikslais ir, kaip finansinis instrumentas, spekuliaciniais tikslais.

Negalima teigti, kad kriptovaliutos galėtų būti įvardinamos, kaip įprastos valiutos ir tikėtina, niekada negalės būti prilyginamos valiutai vien dėl apskaitos vieneto funkcijos išpildymo. Dėl didelio kainos kintamumo, kainos nėra vertinamos bitkoinais. Nors bitkoinas jau ir yra plačiai pasaulyje pripažįstamas, kaip atsiskaitymo priemonė, tačiau vertė daugeliu atveju būna išreikšta įprastomis valiutomis, kurias galima konvertuoti į atitinkamą kiekį bitkoinų. Mokslinės literatūros analizė rodo, kad bitkoinas neatlieka ir vertės palaikymo funkcijos dėl didelio kainos kintamumo, tačiau reikia nepamiršti, kad vertės išlaikymas tiesiogiai siejasi su apsikeitimo priemonės funkcijos atlikimu, o bitkoinas daugeliu atveju ir yra naudojamas apsikeitimo tikslais. Turtas galintis būti naudojamas apsikeitimo tikslais turi turėti vidinę vertę. Apibendrinant, bitkoinas sunkiai įsivaizduojamas kaip valiuta vien dėl jo decentralizuoto modelio, kurio pavadinime užšifruota, kad jis negali priklausyti nuo jokių trečiųjų šalių, tačiau apsikeitimo priemonės funkcijos atlikimas suteikia bitkoinui savitumo. Kriptovaliutų naudojimas siejamas su spekuliaciniais tikslais, tačiau jos naudojamos ir apsikeitimo tikslais, todėl kriptovaliutos įvardinamos, kaip unikalus finansinis turtas.

Mokslinėje literatūroje atskleidus bitkoino, kaip finansinio instrumento galimybių, tematiką, 2018 m. atsirado dar daugiau straipsnių, analizuojančių skirtingas tematikas. 2018 m. jau išaugo straipsnių ne tik apie bitkoiną, bet ir apie kitas kriptovaliutas skaičius (Corbet ir kt., 2018). Minėtu laikotarpiu, mokslinėje literatūroje, ieškoma sąsajų tarp kriptovaliutų vidinių ryšių ir jų santykio su finansų rinkomis. Taip pat, tiriama kriptovaliutų, kaip apsidraudimo (angl. *hedge*) sandorių galimybes (Fakhfekh'as ir kt., 2019), vertinamas jų likvidumas (Wei, 2018; Corbet ir kt., 201) bei kainos efektyvumas (Brauneis ir Mestel, 2018; Cheng ir kt., 2019) ir iš to kylančias arbitražo galimybes (Zhang'as, 2017; Cheng'as ir kt., 2019). Salisu ir kt. (2019) teigia, kad bitkoino kaina gali būti nuspėjama ir prognozuojama, o gebant prognozuoti kainą tai turėtų ypač svarbios įtakos investuotojams ir įstatytų leidėjams, mažinant rizikas ir neapibrėžtumus, priimant ateities sprendimus.

Atlikus 50-ies empirinių tyrimų analizę, išskirtos pagrindinės tyrimų kryptys: bitkoino, kriptovaliutų, kainos formavimosi, kintamumo ir efektyvumo bei tarpusavio ryšių (žr. 1 lentelė). Iš jų populiariausios, buvo bitkoino ir kriptovaliutų tematikos, nors daugiausiai tyrimų, visgi, analizavo pagrindinės, bitkoino kriptovaliutos temą. Dažniausiai mokslininkų tiriamas problemos buvo tarpusavio ryšiai tarp kriptovaliutų, keityklų, praeities reikšmių. Tarpusavio ryšių tyrimams naudoti koreliacijų, atsako funkcijų bei Grangerio priežastingumo analizės. Brauneis ir Mestel (2018), Ciaian ir kt. (2018), Makarov ir Schoar (2019), Salisu ir kt. (2019), Zhu ir kt. (2017) analizavo kainos formavimąsi vertindami pagal analizuojamos kriptovaliutos elgesį praeityje bei rinkos veiksnius, turinčius įtakos kainai. Detaliau bitkoino kainai reikšmingą įtaką darantys veiksniai buvo analizuojami Skendelytės ir Šapkauskienės (2018) tyrime. Dažnai buvo analizuojama kainos kintamumo ir efektyvumo problematika. Abi temos glaudžiai susijusios, nes dėl didelio bitkoino ar kitų kriptovaliutų kainos kintamumo, atsiranda efektyvumo problematika. Efektyvioje rinkoje, kainos yra stabilesnės, tačiau kriptovaliutų decentralizuotas modelis, turi kur kas mažiau stabilumo nei įprastų finansinių instrumentų. Kainos neefektyvumas leidžia formuotis arbitražo galimybėms (žr. 2 lentelė).

**1 lentelė.** Empiriniuose tyrimuose dažniausiai išskiriamos bitkoino kainos kintamumo/efektyvumo tematikos

Nr.	Tyrimai	Bitkoinas	Kripto- valiutos	Efekty- vumas	Kainos formavimasis	Kintamu- mas	Ryšiai
1	Yahyae ir kt. (2018)	+		+			+
2	Baek ir Elbeck (2015)	+					
3	Barcilar ir kt. (2017)	+				+	+
4	Baur ir Dimpfl (2018)	+	+			+	
5	Beneki ir kt. (2019)		+			+	
6	Brauneis ir Mestel (2018)		+	+	+		
7	Charfeddine (2019)	+	+				+
8	Cheah ir Fry (2015)		+				
9	Cheng ir kt. (2019)		+				
10	Ciaian ir kt. (2018)		+		+		
11	Corbet ir kt. (2018)		+				
12	Dyhrberg (2016)	+				+	
13	Dwyer (2015)	+	+				
14	Easley ir kt. (2019)	+					+
15	Fakhfekh ir Jeribi (2019)	+					+
16	Feld ir kt. (2014)	+					
17	Fischer ir kt. (2019)		+				
18	Gobel ir kt. (2016)	+					
19	Greebel ir kt. (2015)	+	+				
20	Ji ir kt. (2018)	+					+
21	Jin ir kt. (2019)	+					
22	Irwin ir Milad (2016)	+	+				
23	Katsiampa ir kt. (2019)		+			+	
24	Krückeberg ir Scholz (2019)	+	+	+			+
25	Kubat (2015)	+					
26	Li ir Wang (2016)		+				
27	Makarov ir Schoar (2019)		+		+		
28	Pauna (2018)		+				
29	Peng ir kt. (2017)		+			+	
30	Pinzon ir Rocka (2016)	+					
31	Polasik ir kt. (2016)	+	+				
32	Roth (2015)	+	+				
33	Salisu ir kt. (2019)	+			+		
34	Tasca ir kt. (2017)	+	+				
35	Urquhart'as (2017)	+	+			+	
36	Yi ir kt. (2018)	+	+			+	+
37	Zargar ir Kumar (2018)	+					+
38	Zhang ir kt. (2018a)	+					+
39	Zhang ir kt. (2017)			+			
40	Zhang ir kt. (2018b)		+	+			+
41	Zhu ir kt. (2017)	+			+		
42	Wei (2018)	+	+	+			
43	Skendelytė ir Šapkauskienė (2018)	+	+				+

Beneki ir kt. (2019), Charfeddine (2019), Jin ir kt. (2019) vieną iš tyrimo krypčių išskyrė bitkoino, kaip apsidraudimo priemonės, panaudojimą. Vertingi tyrimai atlikti Menkveld (2013), Pauna (2018), Zargar ir Kumar (2018), Katsiampa ir kt. (2019), turėjusių galimybę vertinti aukšto dažnio duomenis (žr. 2 lentelė). Mokslinės literatūros analizė parodė, kokios kryptys išskiriamos, tiriant bitkoino kainos formavimąsi. Siekiant suteikti naudingų įžvalgų instituciniams investuotojams, fondų valdytojams, įstatymų leidėjams, dominavo bitkoino veikimo principo ir panaudojimo arbitražo, diversifikavimo, apsidraudimo tikslais tyrimo kryptys.

**2 lentelė.** Empiriniuose tyrimuose dažnai išskirtos bitkoino panaudojimo diversifikavimo tikslais tematikos

Nr.	Tyrimai	Bitkoinas	Kriptovaliutos	Arbitražas	Apsidraudimo priemonė	Aukšto dažnio duomenys
1	Beneki ir kt. (2019)		+		+	
2	Charfeddine (2019)	+	+		+	
3	Fischer ir kt. (2019)		+	+		
4	Jin ir kt. (2019)	+			+	
5	Katsiampa ir kt. (2019)		+			+
6	Krückeberg ir Scholz (2019)	+	+	+		
7	Makarov ir Schoar (2019)		+	+		
8	Menkveld (2013)					+
9	Pauna (2018)		+	+		+
10	Zargar ir Kumar (2018)	+				+

Pastaruju metu kriptovaliutos adaptuojasi globalioje rinkoje ir didieji rinkos žaidėjai stengiasi išnaudoti kriptovaliutų suteikiamus privalumus (Fakhfekh'as ir kt., 2019). Pasitikėjimas kriptovaliutomis išaugo ir dėl tokių gigantų kaip *Square* ir *Facebook* susidomėjimo, tai patvirtina decentralizuotų sistemų privalumus, kuriais nori pasinaudoti technologinės kompanijos.

Remiantis *Bloomberg*<sup>2</sup> duomenimis, analitikai prognozuoja pozityvius 2020 metus kriptovaliutų rinkai ir įvyksiantį lūžį šiais metais, kai vis daugiau institucijų domisi, tiria ir pritaiko kriptovaliutas veikloje. Techninės kompanijos gigantės, tokios kaip *Apple*, *Samsung* ir kt., investuoja į kriptovaliutų tyrimus, norėdamos pasinaudoti suteikiamais privalumais ir neatsilikti nuo rinkos aktualijų. Vienas iš įdomių atradimų tampa tai, kad tokios kriptovaliutos, kaip bitkoinas tampa populiaria *fiat* valiuta, paremta blokų grandinės technologijos veikimo principu (Kakushadze ir Yu, 2019). Dėl šio privalumo Jungtinės Karalystės (toliau – JK) valdžia daug investuoja į bitkoino tyrimus ir svarsto apie savo valiutos išleidimą. *J.P. Morgan* 2019 m. vasarį tapo pirmuoju banku Amerikoje, kuris išleido savo kriptovaliutą, susietą su įprasta valiuta. Japonijos, Kanados, Šveicarijos bankai vienijasi tirdami bankų nuosavų virtualių valiutų potencialą.

Corbet ir kt. (2019) tyrimai rodo, kad kriptovaliutos investuotojams gali suteikti diversifikacijos privalumų. Diversifikacijos galimybės labiausiai gali būti išnaudos trumpu laikotarpiu. G7 šalių akcijų grąžas geriau prognozuoja bitkoino kainomis parengtas modelis nei makroekonominiai veiksniai (išskyrus Japoniją). Priešingai nei įprasta akcijų rinkų, kriptovaliutų rinka nėra reguliuojama. Dėl šios priežasties informuoti prekyautojai nesistengia išskaidyti didelės apimties sandorių į daug mažų, kad būtų mažiau pastebėti teisinių institucijų. Kainos jautrumas į aplinkos pokyčius padaro bitkoiną ypač patraukliu informuotiems investuotojams. Charfeddine ir kt. (2019) teigia, kad kriptovaliutos dažniausiai sunkiai gali būti panaudojamos apsidraudimo tikslais, tačiau egzistuoja ryšys tarp kriptovaliutų ir įprasto turto, nes abi rūšys yra jautrios išoriniams ekonominiams ir finansiniams šokams. Kriptovaliutų rinkose egzistuoja atsikartojantys periodai, kai rinkoje atsiranda daugiau arbitražo galimybių ir kai jos sumažėja. Makarov'as ir Schoar'as (2019) pastebi, kad kainos skirtumai yra kur kas didesni tarp skirtingų šalių, tai pabrėžia kapitalo judėjimą kontroliuojančiųjų dėmesio atkeipimą į arbitražo galimybes. Kriptovaliutos tampa neatsiejama rinkų dalis.

<sup>2</sup> [www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-16/biggest-bitcoin-investment-trust-says-hedge-fund-demand-booming](http://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-16/biggest-bitcoin-investment-trust-says-hedge-fund-demand-booming)



## 1.2. Rinkos formuotojų vaidmuo ir arbitražo galimybės

Spekuliuojant kriptovaliutomis atsiranda vis daugiau arbitražo galimybių, kurios įvardijamos, kaip nerizikingos investicijos. Arbitražo galimybės atsiranda įsigyjant tam tikrą kiekį valiutos, kai turi garantiją, kad rinkoje ją tuo metu gali parduoti brangiau ir uždirbti arbitražinį pelną atliekant tarpininko, kuris perka ir iškart parduoda, vaidmenį. Jei rinkoje egzistuoja to paties turto vieneto kainos skirtumai, tokia rinka negali būti laikoma efektyvi. Neefektyvioje rinkoje dėl egzistuojančių kainų skirtumų atsiranda arbitražo galimybės, kurias dalis rinkos vartotojų siekia išnaudoti savo naudai. Dažnai rinkoje prekiauja ne realūs investuotojai, o automatiniai algoritmai, kurie perka bei parduoda užprogramuotomis sąlygomis. Tokie veiksmai mažina spreadą ir automatiškai sunkina galimybes daugiau uždirbti, tuo pačiu jie ir didina rinkos likvidumą.

Nors šiandien ir egzistuoja tyrimų arbitražo ir kainos efektyvumo tematika, tačiau vis dar stinga išsamaus rinkos tyrimo, įvertinant egzistuojančius ryšius bei galimybes kriptovaliutų rinkoje naudojant tikslus aukšto dažnio (angl. *high-frequency*) prekybos duomenis. Remiantis naujausiais empiriniais tyrimais, vadovaujantis kitų mokslininkų naudojamais tyrimų metodais bei savo unikalia tyrimo metodika, tyrimo rezultatai tampa pagrindu norint geriau suprasti kriptovaliutų elgesį.

Pagal Zhu ir kt. (2009), rinkos formuotojas atlieka svarbų vaidmenį formuojant kainą, tačiau jo įtaka ir stabilizavimo poveikis spekuliacinėse rinkose yra palyginti neaiškūs. Mokslininkų atliktame tyrime yra pateikiamas finansinis rinkos modelis, kuris tiria rinkos formuotojo įtaką rinkos stabilumui, kai rinkos formuotojas atlieka likvidumo suteikimo funkciją ir aktyvaus investuotojo funkciją rinkoje, susidedančioje iš dviejų grupių investuotojų, tai racionalūs spekuliuotojai, kurie remiasi fundamentine analize ir spekuliuotojai, sekantys tendencijas. Tyrimo rezultatai rodo, kad rinkos formuotojai nebūtinai sugeba stabilizuoti rinką, kai joje pagrindinis tikslas yra maksimizuoti pelną ir rinkos formuotojų poveikis rinkai stipriai priklauso ir nuo spekuliuotojų įtakos. Tyrimas unikalus tuo, kad tiria rinkos formuotojo vaidmenį ne tik kaip likvidumo suteikėjo, bet ir kaip aktyvaus investuotojo. Kaip agentas, rinkos formuotojas suteikia likvidumą, turėdamas atsargų tam, kad suderintų laikiną užsakymų disbalansą stabilizuojant rinkas, o kaip aktyvus investuotojas, jis siekia išlaikyti ilgalaikę atsargų poziciją, norėdamas maksimizuoti savo portfelio naudingumą ir pelningumą. Tyrimo rezultatai rodo, kad rinkos formuotojas, formuodamas kainą, kiekvienu periodu atsižvelgia ne tik į atsiradusį paklausos perviršį, bet ir į savo iš anksto nustatytą tam tikrą norimą atsargų lygį. Visa tai leidžia daryti išvadą, kad rinkos formuotojui naudinga trumpam destabilizuoti rinką, norint maksimizuoti gaunamą pelną.

Ne visi rinkos formuotojai siekia gauti tam tikrą stabilų pelną ir palaikyti likvidumą rinkoje. Egzistuoja ir tariami rinkos formuotojai, kurie siekia pasipelnyti iš rinkos, imituodami rinkos formavimą ir patys vykdydami trumpalaikius prekybos sandorius. Tokie prekiautojai laukia, kada vertybinių popierių vertė kils arba kris ir tada jie pradeda intensyviai prekiauti. Jiems padeda vis dažniau naudojami algoritmais paremti kompiuteriniai metodai. Tokie rinkos formuotojai neformuoja rinkos, nesuteikia klientams likvidumo ir jiems nepadedą, jie tik stengiasi sukurti tam tikrą judėjimą rinkoje, siekdami iš to gauti pelno.

Pagal Lepone ir Wong'ą (2017) tyrimą buvo analizuota, kaip minimalus vertybinių popierių kainos sumažėjimas paveikia tariamų rinkos formuotojų elgesį ir rinkos kokybę. Tyrimo rezultatai padėjo

---

<sup>3</sup> Spreadas – tai skirtumas tarp paklausos arba pirkimo kainų (ask) ir pasiūlos arba pardavimo (bid) kainos

nustatyti, kad skirtumas tarp pirkimo / pardavimo kainos sumažėja po minimalaus vertybinių popierių kainos pokyčio sumažėjimo. Empirinis tyrimas patvirtina, kad tariami rinkos formuotojai pirmenybę teikia žemos kainos akcijoms, jau esančioms po kainos sumažėjimo, nes jų skirtumai tarp pirkimo ir pardavimo kainų yra didesni. Tiriant 100 didžiausių akcijų, listinguojamų Singapūro vertybinių popierių biržoje (SGX), nustatyta, kad akcijos, turinčios didesnius skirtumus tarp pirkimo / pardavimo kainos generuoja augančią apyvartą, tai gali būti nulemta tariamų rinkos formuotojų veiksmy. Galiausiai, prieita išvados, kad imituojamos rinkos pokyčio išlaidos išaugo vertinant visas grupes (išskyrus dideles sandorių apimtis aukščiausioje kainų grupėje), tai rodo nepalankias rinkos sąlygas, su kuriomis susiduria viso pasaulio vertybinių popierių biržos bandomuoju / pradiniu laikotarpiu.

Pagal Menkveld'ą (2013) tirtą naują dideles prekybos apimtis palaikančio (angl. *high frequency trading*, toliau - HFT) rinkos formuotojo strategiją, rinkoje yra uždirbama rinkos formuotojui patiriant tam tikrą nuostolį dėl sumažėjusių atsargų, bet gaunant pelną dėl padidėjusio skirtumo tarp pirkimo / pardavimo kainos. Pagal šią strategiją, pusė sandorių yra vykdomi nejudrioje rinkoje, o kita pusė – stipriai augančioje rinkoje. Tyrimo rezultatai rodo, kad surinkti mokesčiai už vykdomus sandorius yra reikšminga šia strategija besinaudojančių rinkos formuotojų pelno ir nuostolių dalis. Remiantis šia strategija ir mažus mokesčius siūlančioms vietoms pasirodžius vertybinių popierių biržoje, tai pasirodė patrauklu dažnai sandorius vykdančioms spekuliuotojams. Zhang'as ir kt. (2017) tyrė, kad rinkos formuotojų konkurencingumas didina kainos efektyvumą per du kanalus, tai

- 1) konkurencija mažina sandorių kainas ir
- 2) neinformuoti rinkos formuotojai mokosi iš sandorių patvirtintų informuotų rinkos formuotojų.

Antra sąlyga nurodo, kad informuoti rinkos formuotojai formuoja rinką ir jų veiksmais seka kiti rinkos formuotojai. Pirmoji hipotezė šiame tyrime pasitvirtino ir ją patvirtino dar 2013 m. Daugumos rinkų prekybos mechanizmas yra apimantis daugiau nei kelias rūšis, pvz., NASDAQ leidžia investuotojams surasti vieniems kitus netgi be rinkos formuotojų. Rinkos formuotojai dalyvauja tik dalyje sandorių. Taip pat akcijų pasikeitimo kainos gali būti pasikeitusios labiau dėl investuotojų elgesio ir konkurencijos, nei rinkos formuotojų. Pagal Chen'ą ir kt. (2010) teigiama, kad egzistuoja rinkos formuotojų, kurie vietoj to, kad priimtų ir subsidijuotų spekuliuotojus, pritaiko automatinius rinkos formuotojus, kurie yra pasiruošę pralošti tam tikrą sumą pinigų. Hansono rinkos skaičiavimo taisykle paremtas rinkos formuotojo modelis garantuoja, kad savininkas nepraras daugiau pinigų nei numatyta, nepaisant to, kiek akcijų iškeitė ar koks įvykis atsitiko rinkoje. Kuo didesnė subsidija, tuo didesnis rinkos likvidumas. Šioje strategijoje pelno siekiantysis iš pradžių paaukoja dalį pelno tam, kad suklaidintų kitus prekiautojus ir juos išnaudotų suklaidinimui kitų prekiautojų, taip gaudami pelną.

Tiek įprastoje finansų rinkoje, tiek kriptovaliutų rinkoje rinkos formuotojo funkcija yra ta pati, tačiau tai nereiškia, kad ir abi rinkos veikia pagal tuos pačius principus. Abi rinkos veikia panašiai, tačiau esminis skirtumas tas, kad kriptovaliutų rinka yra decentralizuota ir nereguliuojama jokių valdžios institucijų. 2009 m. atsiradusi bitkoino kriptovaliuta sukėlė perversmą finansų pasaulyje pirmą kartą parodžiusi decentralizuotą blokų grandinės technologijos modelį, kuriuo yra paremtas visų kriptovaliutų veikimo principas. Pagrindinis tokio modelio privalumas yra greitis ir negrižtamumas, tačiau dažnai prieštarinčiai yra vertinamas pats modelio veikimo principas, kuris nurodo, kad neegzistuoja joks reguliavimas ir įstatymai (Pinzon'as ir Rocha, 2016; Irwin'as ir Milad, 2016; Greebel ir kt., 2015; Feld'as ir kt. 2014). Nereguliuojamoje kriptovaliutų rinkoje atsiranda kur kas

didesnė rizika nei įprastoje finansų rinkoje vien dėl to, jog egzistuoja didelės manipuliacijos, už kurias jų skleidėjai pagal įstatymus nėra baudžiami.

Pagal Wang (2018) įmonės pradėdamos tipinius *Wall Street* ICO projektus samdo rinkos formuotojus tam, kad jie padidintų likvidumą ir palaikytų akcijos kainos lygį. Rinkos formuotojai užtikrina sklandų finansų rinkų veikimą. SEC<sup>4</sup> rinkos formuotoją apibūdina kaip įmonę, kuri yra pasiruošusi nupirkti ir parduoti akciją tęstinį laikotarpį rinkos nustatyta kaina. Kripto valiutų rinkoje, dažniausiai pradedančios kompanijos (angl. *startup*) samdo rinkos formuotoją tam, kad padidinti žetonų (angl. *tokens*) likvidumą per pirmus tris ICO išleidimo mėnesius. Nuo 2017 m. atsirado daugybė rinkos formuotojų, pradėjusių vykdyti ICO scenarijus. Tokia situacija susidarė dėl antrinės kripto valiutų rinkos panašumo į tradicinę finansų rinką dėl sandorių sąlygų. Tačiau esminis šių dviejų rinkų skirtumas yra tas, kad kripto valiutų antrinėje rinka yra nereguluojama centrinių institucijų, todėl nereikalaujama licencija. Nemaža dalis rinkos formuotojų nelabai stengiasi padidinti rinkos likvidumą ir paskatinti pardavimus, o verčiau to, jie tik skatina didinti arbitražą.

Dėl įstatymo trūkumo, kripto valiutų antrinė rinkoje didelį vaidmenį atlieka spekuliuotojai, kurie naudodami trumpalaikio investavimo strategijas išnaudoja galimybes užsidirbti. Žetonais gali būti prekiaujama skirtingose biržose ir jų kainos gali labai skirtis. Taip pat, egzistuoja galimybė iš to pasipelninti ateities sandorių rinkoje. Ateities sandorius siūlo *Okex* ir *Bitmap* biržos. Svarbu pastebėti, kad ateities sandoriais gali būti prekiaujama su svertu. Kuo didesnis svertas – tuo didesnė rizika ir esant aukštam svertui net ir dėl labai mažo kainos skirtumo pelnas gali būti labai didelis. Verta atkreipti dėmesį į tai, kad kripto valiutų rinkoje šiai dienai svarbus yra įstatymų poreikio klausimas, nes dėl įstatymų trūkumo galima manipuliacija, kas įprastoje akcijų rinkoje yra laikoma nelegalia veikla. Kadangi nėra tai draudžiančių įstatymų, tai suinteresuoti asmenys skleidžia melagingą informaciją pokalbių kambariuose, forumuose taip manipuluodami kitais rinkos dalyviais. Kripto valiutų rinka unikali ir tuo, kad ji veikia visą parą visomis savaitės dienomis, ko niekada nebus įmanoma įprastoje biržoje, kuri veikia tik darbo dienomis nustatytu laiku.

### 1.3. Bitkoino kainos formavimosi tyrimo metodų išskyrimas ir palyginimas

Cheah ir Fry (2015) teigia, kad fundamentali bitkoino vertė lygi nuliui ir pateikia empirinius tyrimo rezultatus, kad bitkoinas yra tik finansinis burbulas. Ciaian ir kt. (2016) tyrimas rodo, kad bitkoino patrauklumo veiksniai lemia bitkoino kainos kitimą. Polasik ir kt. (2015) teigia, kad bitkoino kaina keičiasi pagrindė dėl populiarumo. Priešingai nei kitos valiutos, bitkoinas nepriklauso nuo bendros ekonominės situacijos. Baur ir Dimpfl (2018) 20-ies kripto valiutų asimetrinių kainos kintamumo efektų analizė rodo, kad kripto valiutų, priešingai nei akcijų rinkai, pozityvūs kainos šokai turi stipresnę įtaką išaugančiam kintamumui nei negatyvūs šokai. Beneki ir kt. (2019) dar labiau gilinasi į šią tematiką, įvertindami kintamumo persidengimo (angl. *volatility spillovers*) ir apsidraudimo galimybes tarp bitkoino ir eterio naudodami impulso atsako analizę ir daugiamatį BEKK-GARCH modelį. Tyrimo rezultatai rodo, kad egzistuoja reikšmingos koreliacijos tarp bitkoino ir eterio, bitkoino grąžų pasikeitimas turi teigiamą, uždelstą poveikį eterio grąžoms.

Stilizuoti faktai finansiniuose duomenyse buvo labai dažnai ir plačiai analizuoti literatūroje įvertinant turto grąžą. Stilizuotų faktų analizė susijusi su masine elgsena (angl. *scaling behaviour*), klasterių

---

<sup>4</sup> SEC – JAV vertybinių popierių ir biržos komisija, angl. The U.S. Securities and Exchange Commission

<sup>5</sup> Eteris – tai ethereum kripto valiutos pavadinimas lietuviškai.

kintamumu (angl. *volatility clustering*), sunkiomis uodegomis (angl. *heavy tails*), sezoniškumu ir koreliacija tarp prekybos apimties ir kintamumo. Kripto valiutos susilaukė didelio akademikų ir praktikų, tokių kaip Anglijos bankas, *J. P. Morgan* bankas, *Samsung* ir *Microsoft* ir daugelio kitų, susidomėjimo. Įdomiausia yra tai, kad tokios kripto valiutos, kaip bitkoinas, tampa populiaria *fiat* valiuta, kurios veikimas paremtas blokų grandinės technologijos kriptografiniu įrodymu. Tai paskatino Anglijos valdžią plėsti tyrimus apie bitkoinus. Pagal Aharon ir Qadan (2019) jei bitkoinas taptų pripažintas valiuta, kurią galima naudoti apsikeitimo (angl. *medium of exchange*), apsidraudimo (angl. *hedging*) arba vertės išlaikymo (angl. *store of value*) tikslais, tokiu atveju, šio visiškai naujo finansų rinkoje instrumento kainų dinamikos ir elgesio supratimas tampa ypatingai svarbus. Trūksta mokslinės literatūros, kurioje būtų analizuojama rinkos efektyvumo problema, tyrimas gali suteikti papildomų įžvalgų susiejant bitkoiną su įprastais finansų instrumentais, tokiais kaip akcijos, obligacijos, valiutų (angl. *forex*) ir prekių rinka (angl. *commodity market*).

Silpnos priklausomybės efektyvumo vertinimui Urquhart (2016) naudojo Fama's (1970) metodiką įvertinant dienes logaritmuotas bitkoino kainos grąžas nuo 2010 iki 2016 m. ir ištiriant autokoreliaciją, nepriklausomumą, serialinę priklausomybę ir dispersijos priklausomybę. Pagal tyrimo rezultatus gauta, kad bitkoino kainos yra neefektyvios visu prekybos laikotarpiu. Urquhart (2016) duomenis išskyrė į dvi skirtingas imtis ir nustatė, kad nuo 2010 iki 2013 m. egzistavo silpnos formos efektyvumo problema, o nuo 2013 iki 2016 m. pastebimas bitkoinų rinkos brendimas. Brauneis ir Mestel (2018) tyrimo rezultatai rodo, kad efektyvumas kripto valiutų rinkoje auga didėjant likvidumui, nors Krückeberg ir Scholz (2019) tyrimo rezultatai teigia priešingai. Krückeberg ir Scholz (2019) tyrime naudojo minimalaus intervalo tikslumo (angl. *tick-level*) duomenis nuo 2013-02 iki 2018-04. Įvertinus skirtumą tarp minimumo ir maksimumo pastebima aiškių klasterių susidarymas. Tyrimo rezultatai rodo, kad spredo augimui įtaką daro ankstyvas paros laikas, naujų biržų atsiradimas ir bitkoino rinkoje įvykusios vagystės ar įsilaužimai (angl. *heist and hacks*). Vertinant ilgalaikio poveikio įtaką, galima teigti, kad bitkoinų rinkos neefektyvumas laikui einant išaugo. Tyrimas pateikia įrodymus, kaip instituciniams investuotojams galima sėkmingai išnaudoti naujos bitkoinų rinkos privalumus, tokius kaip arbitražo galimybės.

Arbitražo galimybės buvo analizuojamos Makarov ir Schoar (2019) tyrime išskiriant įtakos zonas pagal geografinę keityklų padėtį. Nustatyta, kad nuo 2017-12 iki 2018-02 buvo galimybė dėl arbitražo uždirbti net iki 1 mlrd. dol. Mokslininkai analizavo ir daugiau kripto valiutų bei nustatė, kad arbitražo galimybės yra didėjančios. Makarov ir Schoar (2019) teigia, kad kripto valiutų skirtumai tarp skirtingų šalių yra kur kas didesni, nei šalies viduje. Taip pat, arbitražo skirtumai tarp kripto valiutų porų yra žymiai mažesni nei tarp kripto valiutų ir įprastų valiutų porų. Tyrime mokslininkai išskyrė išskaidytą apimtį į bendrą ir neįprastą (angl. *idiosyncratic*) komponentus. Bendras komponentas paaiškina 80% grąžos pokyčio, o neįprastas komponentas leidžia paaiškinti, kodėl atsiranda arbitražo galimybės tarp skirtingų keityklų. Daugybė bruožų padaro kripto valiutų rinką unikalia erdve arbitražo ir kainos formavimosi studijavimui. Lyginant su tradicine akcijų rinka, kripto valiutų rinkoje trūksta tam tikrų sąlygų (angl. *provisions*), kurios garantuotų, kad investuotojai vykdydami sandorius gaus geriausią kainą, kas leidžia atsirasti ir formuotis arbitražo galimybėms. Rinkų analizavimas padeda išsiaiškinti, kas daro įtaką rinkos segmentacijai. Taip pat, tai parodo regioninius skirtumus tarp investuotojų įvertinant kripto valiutų poreikį ir kainų judėjimo koreliacijų struktūrą tarp skirtingų regionų. Analizei naudota 34-ių keityklų susidariusių 19-oje šalių duomenys, kuriuos ištyrus, nustatyta, kad egzistuoja stiprūs svyravimai bitkoinų kainoje tarp skirtingų keityklų, kurie gali išsilaikyti kelias valandas arba net kelias dienas arba savaites. Didžiausi kainų svyravimai egzistuoja tarp šalių su didžiausio

likvidumo keityklomis, tokių kaip JAV, Japonija, Korėja, ir mažesnius mastu, Europa. Dienos vidutinis kainos santykis tarp JAV ir Korėjos nuo 2017-12 iki 2018-02 pradžios buvo didesnis nei 15% ir kelias dienas buvo pasiekęs net 40%. Bitkoino kainos svyravimai tarp skirtingų šalių yra stipriai asimetriški. Bitkoino kaina JAV yra geras matas įvertinant bitkoino kainą pasaulio mastu. Mokslininkai vertino pirkimo įtampos matą (angl. *measure of buying pressure*), kurio didesnė reikšmė rodo, kad šalis jautriau reaguoja į kainos pasikeitimą JAV. Šalys nesančios ES arba JAV dažnai yra pasiruošusios sumokėti daugiau už bitkoiną. Mokslininkai daro išvadą, kad galbūt tai lemia griežtesnė kapitalo kontrolė arba silpnesnė finansinių institucijų veikla tokiose šalyse. Taip pat, pozityvios naujienos rinkoje, tokiose šalyse turi įtakos bitkoino kainos augimui. Kapitalo srauto kontrolė tarp regionų sumažina arbitražo galimybes. Arbitražo galimybės realizuojamos, kai rinkos dalyvis įsigyja bitkoinų šalyje, kurioje kaina yra žemiausia, pvz., JAV ir parduoda bitkoiną šalyje, kur kaina yra didžiausia, pvz., Korėjoje. Toks sandoris reikalauja, kad investuota suma būtų JAV, tačiau sukurtas pelnas *fiat* valiuta būtų Korėjoje. Jei šis pelnas negali įprastai sugrįžti (angl. *repatriated*) į pirmąją šalį, jis gali „užstrigti“ Korėjoje. Reikia pastebėti, kad sandoriai tarp kriptovaliutų nėra veikiami kapitalo srautų, bet kapitalo kontrolė kriptovaliutų ir įprastų valiutų poroms daro įtaką. Korėjoje vietiniai gyventojai norėdami per metus perkelti daugiau nei 50 000 dol. į kitą šalį, turi pateikti dokumentus valdžiai su pervedimo priežastimis, kas gali būti ir nepatvirtinta valdžios. Vis dar yra nedaug literatūros apie kriptovaliutas, todėl mokslininkai stengiasi išsiaiškinti kriptovaliutų, kaip mokėjimo ir sandorio priemonės potencialą. Magistris ir Grassi (2019) tyrime analizuojama tarp skirtingų keityklų (angl. *cross-exchange*) egzistuojančios arbitražo galimybės, efektyvios rinkos hipotezė, sandorių (angl. *order book*) likvidumas. Akcentuojama, kad prekiaujant kriptovaliutomis neegzistuoja jokios garantijos, kaip tradicinėse biržose, kur geriausia kaina yra garantuojama pagal vertybinių popierių keityklos komisijos NBBO<sup>6</sup> taisyklės. Nacionalinė geriausios kainos pasiūlymo bendrovė padeda investuotojams, kurie neturi galimybių palyginti kainas skirtingose keityklose, pasirinkti pačią geriausią kainą, atliekant sandorį. Kriptovaliutų pirkimo atveju, visa atsakomybė tenka rinkos dalyviams. Tokia rinkos segmentacija sukuria palankias galimybes dideles kapitalo sumas turintiems investuotojams laisvai vykdyti sandorius tarp skirtingų šalių. Mokslininkai Magistris ir Grassi (2019) išskiria likvidumo svarbą, argumentuodami, kad jei keitykla negalėtų suteikti likvidumo vieną dieną, labai tikėtina, kad ir bendrai ta keitykla nebūtų vertinama, kaip likvidi ir aktuali analizei. Likvidumo įvertinimui mokslininkai naudojo kiekvienos dienos sandorių skaičių ir sumažino analizuojamų keityklų skaičių iki 9, vertinant tik pačių likvidžiausių ir reikšmingiausių prekybos apimtį turinčių keityklų duomenis. Daugelio keityklų likvidumo koeficientas buvo žemesnis nei 1,005, kas rodo, kad neegzistuoja jokios arbitražo galimybės. Magistris ir Grassi (2019) rezultatai siejasi su Krückeberg ir Scholz (2019), abu tyrimai nurodo, kad egzistuoja mažesnės arbitražo galimybės kriptovaliutų porose ir didesnės kriptovaliutų / valiutų porose. Didžiausia prekyba pastebima tarp *bitfinex*, *coinbase pro* ir *kraken* keityklų, tačiau pastebima, kad kartais rinkoje nuokrypiai išauga dėl atsiradusių individualių arbitražo prekiautojų, kurie staiga pradeda vykdyti pardavimus pasirodžius žinioms apie kriptovaliutas. Daugelis keityklų sukuria fiktyvius prekybos sandorius (angl. *wash trading*), kad tai atsispindėtų didesnėse prekybos apimtyse. Taigi, egzistuoja trys rūšys keityklų, pirma, tai keityklos, kurios neatlieka fiktyvių sandorių, antra - kurios naudoja fiktyvius sandorius savo veikloje, tačiau vis tiek turi dideles prekybos apimtis ir trečia - kurių prekyba yra paremta tik fiktyviais sandoriais. Tyrime

---

<sup>6</sup> NBBO - vertybinių popierių keitykla, reikalaujanti brokerius prekiauti mažiausia galima pirkimo kaina ir didžiausia prieinama pardavimo kaina, perkant ir parduodant vertybinius popierius vartotojams (angl. *The National Best Bid and Offer*)

parodyta, kad kai kuriose keityklose arbitražo galimybės egzistuoja net iki kelių mėnesių. Kaip ir Krückeberg ir Scholz (2019), taip ir Magistris ir Grassi (2019) teigia, kad egzistuoja kur kas didesnės arbitražo galimybės tarp geografinių regionų nei toje pačioje šalyje. Tai leidžia daryti išvadą, kad šalies viduje veikiančios keityklos yra kur kas labiau susijusios lyginant su keityklomis išorėje. Įvertintos kryžminės koreliacijos tarp skirtingų porų rodo, kad kriptovaliutų rinka nėra visiškai efektyvi. Pastebima, kad bendras logaritmuotos gražos komponentas paaiškina didesnę nuokrypio dalį nei apimtys. Akcijų kainose atsispindi visa reikšminga informacija, įtraukiant ir vidinę informaciją, todėl galima sakyti, kad efektyvioje rinkoje negali būti jokio neteisingo įkainojimo (angl. *mispricing*). Jei jis egzistuoja, taip sudaromos galimybės arbitražui.

Pauna (2018) tyrime analizavo, kaip gali būti sukurtos kriptovaliutoms arbitražo prekybos sistemos. Dažniausiai tradicinis arbitražo sandoris turi tokią pačią apimtį abiejuose sandoriuose. Kiekvienam sandoriui pelnas yra lygus skirtumui tarp pardavimo ir pirkimo kainos padaugintos iš sandorio apimties. Geriausių kainų nustatymui yra vertinamas atsako skirtumas ir sukurti arbitražo prekybos signalai. Norint išvengti ilgo patvirtinimo laiko, rinkos dalyviai gali įsigyti bitkoino ir valiutų skirtingose keityklose ir vienu metu abiejose keityklose vykdyti pirkimo bei pardavimo sandorius. Kitas būdas pasipelnyti iš arbitražo yra atitikmens (angl. *margin*) prekyba. Prekiautojas gali pasiskoninti kriptovaliutos keitykloje A, kurioje ši valiuta yra nuvertinta ir jos realus kursas turėtų būti didesnis, tam kad galėtų pigiai nusipirkti bitkoinų. Tuo pačiu, kitoje keitykloje B, galėtų parduoti bitkoiną, kuris yra perkainotas. Populiariausių 6 keityklų analizė parodė, kad vidutiniškai 3,95% sandorių įvyksta ilgiau nei per vieną sekundę. Jei prekyba nėra pilnai automatizuota, tai spreadai gali būti pastebėti mažiausiai po vienos minutės po to, kai jie įvyksta. Arbitražo prekybos programinė įranga atneša reikšmingus pelnus, nes automatiškai identifikuoja ir vykdo pelningus sandorius. Didelis kriptovaliutų kainos kintamumas ir decentralizuotas veikimo principas, sukuria puikias galimybes arbitražinei prekybai. Arbitražinių galimybių tyrimo patikimumas ženkliai išauga įvertinus visus gaunamus pasikeitimo signalus ir aukšto dažnio prekybos duomenis (angl. *high-frequenct data*).

Aukšto dažnio prekybos duomenys buvo naudoti Krückeberg ir Scholz (2019) tyrime vertinant nuo 2013-02 iki 2018-04. Tokia analizė leidžia daryti išvadas dėl ilgalaikės arbitražo galimybių evoliucijos analizuojant minimalaus pokyčio didžiausių kriptovaliutų keityklų (*bitfinex*, *bitstamp*, *coinbase*, *itBit*, *hitBTC*, *kraken*, *CEX*, *coincheck*) aukšto dažnio duomenis, kurie vertinimui konvertuoti į 10 s. intervalus. Taip pat yra tiriamos paros laiko, keityklų vagysčių ar įsibrovimų, naujų keityklų atsiradimo bei likvidumo poveikis arbitražo galimybėms. Bitfinex ir bitstamp keityklose bitkoino kainos atrodo nuvertintos, todėl jose susidaro didžiausias arbitražo galimybės. Mokslininkai pastebėjo ir egzistuojančius reikšmingus klasterius tarp kainų minimumo ir maksimumo. Tyrimo rezultatai rodo, kad dienos pradžioje skirtumas tarp pirkimo / pardavimo kainų išauga, o dienos pabaigoje sumažėja. Naujų keityklų atsiradimas, kaip ir keityklų vagystės arba įsilaužimai turi įtakos bitkoino skirtumo tarp kainos minimumo ir maksimumo išaugimui mažiausiai vieną mėnesį po įvykio. Arbitražo galimybės bitkoinų rinkoje didėja dėl augančių spreadų 2013-2018 m. Zhang ir kt. (2018a) naudojo aukšto dažnio bitkoino gražos duomenis įvertindami skirtingus vėlinimus (angl. – lag) . Pasirinktos keturios pagrindinės kriptovaliutos bitkoinas, eteris, ripple<sup>7</sup> ir litecoin<sup>8</sup> pagal jų kapitalizaciją, nes šios kriptovaliutos bendrai sudaro 90% bendros rinkos kapitalizacijos, todėl tai gerai atspindi rinką. Tyrimo pagrindinis tikslas yra išanalizuoti stilizuotus faktus vertinant Hurst

---

<sup>7</sup> Ripple – tai kriptovaliutos pavadinimas

<sup>8</sup> Litecoin – tai kriptovaliutos pavadinimas

eksponentę ir naudojant abu DFA ir R/S metodus. R/S analizė yra vienas populiariausių metodų naudojamų ilgalaikiam istorinių duomenų vertinimui (angl. long-term memory), tačiau jis nėra toks stabilus. R/S metodas nėra tvirtas ir atsparus dėl tendencijos vertinti ilgo laikotarpio duomenis net jei tai ir nėra pagrindinė problema. DFA metodas, vertinamas, kaip labiau tinkamas tokioje situacijoje susiduriant su nestacionarių laiko eilučių duomenimis. DFA metodas gali įvertinti du skirtingus, atskirus periodus, kurie identifikuoja skirtingą judėjimą. Zargar ir Kumar (2018) išskyrė stilizuotų faktų analizės svarbą vertinant bitkoino grąžas aukšto dažnio duomenims. Mokslininkai tai grindė tuo, jog prieš sudarant tinkamiausią prognozei modelį, būtina išsiaiškinti stilizuotus faktus ir išanalizuoti tai laiko eilutei būdingą elgesį. Stilizuoti faktai apima pagrindinius tris aspektus: grąžos autokoreliaciją, sunkias uodegas didesnio dažnio duomenims ir kintamumo sezoniškumą. Analizuojant ilgo laikotarpio absoliutų kintamumą (angl. *unconditional volatility*) naudoti *bitstamp* keityklos duomenų 15, 30, 60, 120 min. intervalai bei sudarytas ARFIMA modelis. Bitkoino grąža nėra normaliai pasiskirsčiusi pagal Jargue-Bera testą, o Ljung-Box rodo, kad iki 20 vėlinimų egzistuoja autokoreliacija. Lagranžo testas parodo, kad iki 10 vėlinimų egzistuoja heteroskedastija. Grąžos yra stacionarios vertinant pagal ADF<sup>9</sup> testą. *Kurtosis* reikšmė rodo, kad bitkoino grąžos skirtingais laikotarpiais turi sunkesnes nei normaliojo pasiskirstymo uodegas. Asimetriškumo<sup>10</sup> (angl. *skewness*) reikšmė yra neigiama, išskyrus 15 min duomenims. Palyginimo tikslais, mokslininkai papildomai įvertino ir nepersidengiančius laikotarpius pagal R/S, V/S, DFA ir DMA metodus. ARFIMA modelis tinkamai neįvertina bitkoino kainos kintamumo dinamikos, nes neįvertina kintamume egzistuojančios heteroskedastijos. Mokslininkų rezultatai, priešingai nei kai kurių kitų, rodo, kad neigiami kainos pasikeitimai turi stipresnę įtaką sandorių ir kainos kintamumui nei teigiami.

Mokslininkai naudojo įvairius metodus tiriant bitkoino kainos elgseną bei efektyvumo problematiką. Dyhrberg (2016) tyrė bitkoino stilizuotus faktus remiantis GARCH modeliais. Barcilar ir kt. (2017) parodė, kad sandorių apimtis gali padėti prognozuojant grąžas, remiantis Grangerio priešasingumo testu ir priklausomybe tarp šių dviejų kintamųjų. Zhang ir kt. (2018b) rezultatų patvirtinimui naudojo slenkančiu metodu suskaičiuotą Hurst eksponentės įvertinimą pagal MF-DFA metodą. Katsiampa ir kt. (2019) ištyrė bitkoino kainos elgseną naudojantis GARCH tipo modeliais ir nustatė, kad AR-CGARCH modelis buvo pats tiksliausias ir tinkamiausias vertinant bitkoino kainą. Fischer ir kt. (2019) vertino logistinės regresijos ir atsitiktinių miškų metodus. Mediana abejais atvejais buvo neigiama, kas rodo, kad iš sandorių patiriama daugiau nuostolių nei pelno, o pagal aukštą *kurtosis* reikšmę galima daryti išvadą, kad stipri rizika išlieka vertinant ekstremalias dienos grąžų reikšmes (minimumą ir maksimumą). Pagal Fischer ir kt. (2019) galimybės pasiskolinti (angl. *short-selling*) trūkumas ir bendras rinkos likvidumas, sukelia sunkumų pritaikant statistines arbitražo strategijas į vis dar besivystančią kriptovaliutų rinką. Yahyae ir kt. (2018) tyrime taikant MF-DFA metodą gauta, kad bitkoinas ilgiau išlaiko ir reaguoja į praeities informaciją (angl. *long-memory feature*) bei išlaiko daugkartinį duomenų atsikartojimą (angl. *multifractality*). Tokie rezultatai leidžia daryti išvadą, kad bitkoinas yra mažiau efektyvus lyginant su aukso, akcijų ir valiutų rinkomis. 2010-2017 m. dieninių duomenų analizė parodė, kad dėl bitkoino neefektyvumo ir didelio kainos kintamumo, investuotojai, portfelių valdytojai gali stipriai pasipelnyti.

Kiti svarbūs mokslininkų tyimuose naudoti metodai pristatyti 3 lentelėje. Dažniausiai mokslininkai tarpusavio ryšių nustatymui naudodavo įvairias koreliacijas (kryžminė koreliacija, slenkanti

<sup>9</sup> ADF – išplėstas Dikio ir Fulerio vienetinės šaknies testas, skirtas nustatyti ar laikinė seka turi vienetinę šaknį, angl. augmented Dickey-Fuller.

<sup>10</sup> Asimetriškumas – tai koeficiento apibūdinimas lietuviškai verčiant iš anglų kalbos termino skewness

koreliacija, dalinė koreliacija). Grangerio priežastingumo analizė, atsako funkcijos bei FEVD buvo naudojami keturiuose Barcilar ir kt. (2017), Kim ir kt. (2017), Zhu ir kt. (2017) bei Ji ir kt. (2018) tyrimuose norint iširti tarpusavio ryšius ir suteikti modelių prognozės rezultatams svarumo bei patikimumo. Tasca ir kt. (2017) naudojo tinklinę analizę vartotojų grupių identifikavimui ir įvertinimui. Tyrimas identifikavo skirtingas, kasėjų (angl. *miners*), investuotojų, lošėjų, juodajai rinkai priklausančias ir kitas grupes bei buvo įvertina, kaip jos keitėsi nuo 2009 iki 2015 m. Turner ir kt. (2018) naudodami heuristinius ir grafų analizės metodus pristatė bitkoino adresų ir sandorių elgsenos modelį identifikuodami procesus, kurie gali būti įvertinami, kaip potencialūs rizikos faktoriai ir kurių elgesį reikėtų nuolatos stebėti. Nemaža dalis analizuotų tyrimų naudojo GARCH tyrimo metodiką, prognozuodami kainos kintamumo periodus.

### 3 lentelė. Mokslininkų kriptovaliutų rinkos tyrimui naudoti metodai

Nr.	Tyrimai	Koreliacijos	Grangerio priežastingumo analizė	Atsako funkcijos	FEVD	Tinklinė analizė	GARCH
1	Barcilar ir kt. (2017)		+				
2	Baur ir Dimpfl (2018)						+
3	Beneki ir kt. (2019)	+		+			+
4	Charfeddine (2019)	+					+
5	Corbet ir kt. (2018)	+					
6	Dyhrberg (2016)						+
7	Easley ir kt. (2019)	+					
8	Fakhfekh ir Jeribi (2019)						+
9	Ji ir kt. (2018)	+			+	+	
10	Jin ir kt. (2019)	+					+
11	Katsiampa ir kt. (2019)	+					+
12	Kim ir kt. (2017)	+	+				
13	Kristoufek (2015)	+					
14	Li ir Wang (2016)	+					
15	Makarov ir Schoar (2019)	+					
16	Peng ir kt. (2017)						+
17	Tasca ir kt. (2017)	+				+	
18	Turner ir Irwin (2018)					+	
19	Zhang ir kt. (2018a)	+					
20	Zhang ir kt. (2017)	+					
21	Zhang ir kt. (2018b)	+					
22	Zhu ir kt. (2017)		+	+			

Krückeberg ir Scholz (2019) norėdami nustatyti laiko eilučių stacionarumą naudojo ADF (angl. *augmented Dickey-Fuller*) vienetinių šaknų testą. Trendo stacionarumui nustatyti naudojo KPSS<sub>11</sub> (angl. *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*) testą. Atsitiktinumui (angl. *random walk*) nustatyti naudojo dispersijos koeficientą (angl. *variance ratio*) ir galiausiai autokoreliacijai nustatyti naudojo ARCH[1] testą. Testai pritaikyti metinėms ir mėnesinėms laiko eilutėms. Remiantis rezultatais, nerasta jokio ryšio tarp metų ir mėnesių sezoniskumo. Visos metinės laiko eilutės, išskyrus 2017 m. buvo heteroskedastiškos pagal Engle's ARCH H0 hipotezę. Dispersijos koeficientas parodė tą patį, kad visu laikotarpiu laiko eilutėje egzistavo atsitiktinumai. Bendrai vertinant, heteroskedastija rodo, kad spredo dispersija laikui einant keitėsi, bet variacijos koeficientas testas papildė rezultatus, kad spredo dispersija kito nepastoviai tam tikra viena ar kita kryptimi, todėl negalima tiksliai nustatyti krypties ar tendencijų. Visi rezultatai buvo statistiškai reikšmingi ir parodė, kad egzistuoja kas tam tikrą laiką atsikartojantys nesimetriniai pikai, kurie vėliau sugrįžta ties vidurkio reikšme. Vertinant bitkoino rinkoje atsirandančius klasterius naudotas *chi-square goodness-of-fit* testas. H0 hipotezės

<sup>11</sup> KPSS – Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin trendo stacionarumui nustatyti naudojamas testas.



apie tolygų pasiskirstymą atmetimas rodo, kad egzistuoja klasteriai, o *chi-square* statistikos reikšmė kiekvieniems metams rodo klasterizavimo stiprumą. Kainos minimumo ir maksimumo rezultatai parodė reikšmingus klasterius visiems, išskyrus 2013 m., laikotarpiams. *Bitstamp* ir *bitfinex* rinkose egzistavo stiprūs kainos minimumo klasteriai, o kainos maksimumo klasteriai neišsiskyrė jokiose keityklose. Krückeberg ir Scholz (2019) tyrime buvo analizuota ar likvidumas gali būti paaiškintas, kaip arbitražo spredų dydis tarp skirtingų rinkų. Likvidumo vertinimui buvo naudota realios ir standartizuotos paklaidos. Stacionarumas vertintas pagal ADF ir *Phillips-Perron* testus, o heteroskedastija tikrinta Engle's ARCH testu.

Savaitės dienos efekto išskirčių bei tendencijų tyrimui Aharon ir Qadan (2019) naudojo dieninius 2010-2017 m. duomenis ir OLS bei GARCH modelius. Vienetinės šaknys analizuojamos remiantis ADF ir PP testais ir patvirtinamas duomenų stacionarumas. Rezultatai leidžia daryti išvadą, kad paklaidose neegzistuoja heteroskedastija ir kad GARCH(1,1) metodas yra tinkamai parinktas analizei. Pirmadieniai siejami su aukštesnėmis gražomis ir bitkoinų kainų kintamumu palyginus su kitomis savaitės dienomis bei sandorių skaičius yra reikšmingai didesnis, kai kapitalo rinkos yra atidarytos. Pirmuoju analizuotu laikotarpiu nuo 2010-07 iki 2012-12 pirmadieniai siejami su neigiamomis gražomis mažesnėmis nei penktadieniais, antruoju laikotarpiu pirmadieniai jau siejami su teigiamomis gražomis, kurios nedaug skiriasi nuo 0, ir vis dar pastebima, kad pirmadieniai siejami su didesniu kainos kintamumu. Rezultatai leidžia daryti išvadą, kad bitkoinų rinka yra pilnai nepriklausoma nuo tokių išorinių faktorių, kaip akcijų, obligacijų ir prekių rinkos, todėl investuotojai tai gali sėkmingai panaudoti apsidraudimo (angl. *hedge*) tikslais. Išaugus VIX indeksui akcijų rinkoje, investicijos gali būti nukreipiamos į bitkoiną. Fakhfekh ir Jeribi (2019) tiriamuoju laikotarpiu egzistavo daugiau nei 1700 kriptovaliutų, augančioje turto klasėje su bendra kapitalizacija 133 mlrd. dol. matuojant 2018-12-31 d. Kapitalizacija pasiekė viršūnę 2018-01-06, kuomet siekė 800 mlrd. dol. Dėl diversifikacijos suteikiamos galimybės mokslininkai (Corbet ir kt., 2018; Glaser ir kt., 2014; Baek ir Elbeck, 2015; Dyhrberg, 2016) teigia, kad bitkoinas turėtų būti vertinamas labiau kaip turtas nei valiuta. Šokų asimetrijos vertinimui naudoti EGARCH modeliai (Dyhrberg, 2016), o ilgo laikotarpio atminties aspektui tirti (angl. *long memory aspect*) naudota ARIMA modeliai (Bouri ir kt., 2018). Fakhfekh ir Jeribi (2019) naudojo GARCH modelius ir mašininio mokymosi metodus, vienas iš jų - atraminių vektorių regresijos metodas. Rezultatai rodo, kad negatyvios naujienos ir kainos šokai turi didesnę įtaką kainai nei teigiamos naujienos ir teigiami kainos šokai. Asimetrinių naujienų poveikis dažnai suprantamas, kaip pagrindinės veikiančios jėgos efektas (angl. *leverage effect*) ir tokiai problemai spręsti dažniausiai naudojami EGARCH, TGARCH ir PGARCH modeliai. Tyrime nustatyta, kad *ripple* kriptovaliuta patyrė mažiausią riziką per nakties laikotarpį lyginant su kitomis kriptovaliutomis. Wei (2018) analizuojant 456 skirtingų kriptovaliutų likvidumą nustatė, kad gražos prognozavimo galimybės mažėja toms kriptovaliutomis, kurios turi aukštą rinkos likvidumą. Bitkoino graža yra efektyvi, tačiau kitose kriptovaliutose vis dar egzistuoja autokoreliacija ir nepriklausomumas. Tyrimas rodo, kad yra stiprus ryšys tarp *Hurst* eksponentės ir likvidumo vertinant pagal kryžminių-sektorių (angl. *cross-sectional*) bazę. Likvidumas daro didelę įtaką rinkos efektyvumui ir naujų kriptovaliutų gražos prognozavimui. Tyrime naudojant dieninius duomenis, kriptovaliutos sugrupuotos pagal *Amihud's* likvidumo koeficientą, kuris suteikia informaciją apie ryšio tarp kiekio ir kainos pasikeitimą, įtraukiant informaciją apie kainos poveikį dieniniams agreguotiems sandoriams. Autokoreliacija nustatoma naudojant *Ljung-Box* testą. Bertelio testas naudojamas giliau analizuojant ar kriptovaliutų gražos nepriklausomos. Makarov ir Schoar (2019) tyrime nustatyta, kad egzistuoja stiprus reikšmingas teigiamas ryšys tarp bitkoino ir turto kainų bei grynojo sandorių srauto (angl. *net order flow*) tradicinėse finansų rinkose. Vertinant kainos poveikį,

buvo naudota ekonometriniai metodai analizuojantys pagrindinius veiksnius akcijų rinkoje ir sandorių srautus kryžminių–sektorių JAV akcijoms. Makarov ir Schoar (2019) straipsnio autoriai laikosi minties, kad kainos tarp skirtingų rinkų yra kointegruotos ir todėl negali per daug skirtis viena nuo kitos. Tai leidžia kainas suskirstyti į tam tikrus komponentus. Mokslininkai pateikia apimčių ir gražų statistiką, vertina arbitražo indeksą ir arbitražo pelną tarp skirtingų regionų, aptaria koreliacijų struktūrą ir kainos svyravimus bei parodo arbitražo spredus tarp skirtingų kriptovaliutų. Analizuojant arbitražo spredų augimo priežastis, mokslininkai įvertina kainos spaudimo (angl. *price pressure*) įtaką. Analizuoti aukšto dažnio duomenys iš *kaiko* duomenų bazės, įvertinant 7 skirtingų keityklų (*coinbase, bitstamp, bitFlyer, bitfinex, kraken, okCoin, zaif*) ir trijų didžiausių bei likvidžiausių kriptovaliutų bitkoino, eterio ir *ripple* duomenis nuo 2017-01-01 iki 2018-02-28. Makarov ir Schoar (2019) tyrime analizuota 5-min, valandos ir dienos duomenų standartinis nuokrypis, asimetriškumas, *kurtosis*, autokoreliacija vertinant 1, 2 ir 3 vėlinimus ir kryžmines koreliacijas (angl. *cross-correlation*) tarp keityklų. Vertinant dieninius duomenis, gražos kintamumas labai didelis, standartinis nuokrypis siekia net 104%, palyginimui, Nasdaq akcijų rinkoje standartinis nuokrypis nuo 1985 iki 2017 m. siekia 18%. *Kurtosis* reikšmė nežymiai skiriasi nuo normaliojo pasiskirstymo, dienos gražos yra pozityviai nukrypusios. Matyti, kad egzistuoja autokoreliacija 5 min., valandos ir dienos duomenims su 1, 2 ir 3 vėlinimais, kas leidžia daryti išvadą, kad rinkoje egzistuoja priklausomybė, todėl galima tai panaudoti prognozuojant pokyčius. Gražų autokoreliacijos tarp 5 min. duomenų yra gan mažos, tačiau dieninės gražos jau rodo didelę autokoreliaciją. Mažos kryžminės koreliacijos reikšmės rodo, kad kriptovaliutų rinka negali būti vadinama efektyvia rinka. Neįprastai kainos įtampai rinkoje (angl. *idiosyncratic price pressure*) naudotas vektorinis autoregresijos (toliau - VAR) modelis. Salisu ir kt. (2019) tyrime naudotuose duomenyse egzistuoja serijinė koreliacija ir sąlyginė heteroskedastija vertinant pagal *Ljung-Box* ir *ARCH-LM* testus. Užtikrinimui tyrime dar buvo atliktas papildomas *GARCH* paremtas vienetinių šaknų testas. Tyrime naudojant G7 šalių (Kanada, Vokietija, Prancūzija, Italija, Japonija, Jungtinė Karalystė, Jungtinės Amerikos Valstijos) akcijų duomenis, nustatyta, kad šių šalių akcijų kainų gražos yra labiau paaiškinamos bitkoino kainų pokyčiu paremtu modeliu nei šalių makroekonominiais kintamaisiais (išskyrus Japonijai). Jei, iš tiesų, bitkoino prognoze paremti modeliai gali geriau prognozuoti nei makroekonominiai rodikliai, tokia analizė tampa ypač svarbi norint priimti ateities sprendimus, sumažinti rizikas ir neapibrėžtumus susietus su finansiniu turtu. Corbet ir kt. (2018) įrodė empiriniame tyrime, kad kriptovaliutos turi potencialą suteikti investuotojams diversifikavimo galimybių ir bitkoinų kainomis paremti modeliai gali trumpuoju laikotarpiu prognozuoti akcijų gražas. Pagal Salisu ir kt. (2019) individualių makroekonominių veiksnių ir bitkoino kainos kombinacija prognozuojant akcijų kainas, gali padėti padidinti modelio prognozės tikslumą.

Mokslininkai tirdami tarpusavio ryšius dažniausiai naudodavo dieninių gražų duomenis ir tirdavo tokias kriptovaliutas, kaip bitkoinas ir eteris. Tyrėjų įžvalgos leidžia daryti išvadą, kad bitkoinas yra pagrindinė kriptovaliuta diktuojanti tendencijas. Kai kurie mokslininkai analizavo ir ryšius tarp kriptovaliutų keityklų ir nustatė, kad arbitražo galimybės susidaro dėl tam tikrose keityklose nuvertintos bitkoino kainos. Būtina pastebėti, kad jokiuose tyrimuose nebuvo pateikiami realūs arbitražo sumų duomenis. Visi mokslininkai, analizavę arbitražą, vertino potencialas arbitražo sumas, apskaičiuotas pagal jų pasirinktas skirtingas metodikas. Šis tyrimas unikalus tuo, kad vertinamos realios arbitražo galimybės, analizuojant konkrečios įmonės, vykdančios arbitražinę prekybą, duomenis. Daugelis mokslininkų tarpusavio ryšių tyrimą atlieka naudodami koreliacijos, kryžminės koreliacijos, atsako funkcijų bei Grangerio priežastingumo testo metodus. Naudojant apimčių ir gražų statistiką, daugeliu atveju tyrėjai vertina arbitražo indeksą ir nustato, kad arbitražo pelnas tarp

skirtingų regionų reikšmingai skiriasi. Keliuose tyrimuose yra naudojami aukšto dažnio duomenys, kurių dėka gali būti daromos pagrįstos išvados apie tarpusavio ryšius papildomai vertinant jų pokyčius atitinkamu laiko momentu, taip pat tyrėjai išskiria aktyviausią, pelningiausią paros metą. Šiame tyrime taip pat vertinami egzistuojantys ryšiai tarp skirtingų šalių bei naudojami aukšto dažnio duomenys, kurie konvertuojami į dienišius duomenis. Pagal Zhang ir kt. (2018b), tyrimo rezultatus nustatyta, kad kriptovaliutos turi potencialą suteikti investuotojams diversifikavimo galimybių ir bitkoinų kainomis paremti modeliai gali trumpuoju laikotarpiu prognozuoti akcijų grąžas bei sumažinti rizikas ir neapibrėžtumus susietus su finansiniu turtu. Diversifikavimo galimybes patvirtino ir Salisu ir kt. (2019), Aharon ir Qadan (2019), Corbet ir kt. (2018) tyrimų rezultatai, kuriuose pabrėžiama bitkoino arbitražinių galimybių svarba ir jų efektyvaus panaudojimo galimybės investiciniuose portfeliuose. Zhang ir kt. (2018b) mokslininkų išvados rodo, kad kriptovaliutos nėra susijusios su įprastais finansiniais instrumentais ir jų pokyčiais, todėl tyrimo rezultatai būtų labai reikšmingi ir krizės laikotarpiais, kai prastėjant ekonominei situacijai, krenta daugelio ekonominių indeksų reikšmės, akcijų ir obligacijų rinkos tampa nebe tokios patrauklios. Ekonominės krizės laikotarpiu investuotojai gali turimas lėšas nukreipti į kriptovaliutų rinką, tačiau vis dar išlieka detalių, sąsajas tarp šių skirtingų rinkų analizuojančių keityklų, tyrimų poreikis. Turint 18-os skirtingų keityklų, esančių skirtingose šalyse, bitkoino arbitražo duomenis galima atlikti išsamų tyrimą, identifikuojant egzistuojančius ryšius tarp keityklų, šalių bei pateikiant rekomendacijas, kuriose keityklose paranku įsigyti ir kuriose parduoti bitkoiną. Tyrimo rezultatai pateiktų ir papildomas įžvalgas vertinant kriptovaliutų elgesį pradinio kriziniu laikotarpiu atsiradus masinei panikai (2020 m. vasario – kovo mėn.). Mokslinėje literatūroje tinklinė analizė pagrinde naudojama norint išskirti esminius impulsus ir grupes skirtingais laiko momentais, rasti ryšius tarp jų. Dažniausiai tinklinė analizė naudota vartotojų grupių identifikavimui ir bitkoino elgsenos modelio sukūrimui. Analizuojant mokslinę literatūrą nebuvo rasta straipsnių naudojančių tinklinę analizę arbitražo vertinimui, nes toks tyrimas gali būti labai aktualus ir pagrįstas tik turint realias arbitražo sumas. Turint prieigą prie realių aukšto dažnio bitkoino rinkos arbitražo duomenų galima pateikti išvadas apie egzistuojančias keityklų grupes bei bitkoino elgseną vertinant sezoniškumą bei ekonomikos smukimo laikotarpį. Tinklinės analizės rezultatai atneštų didelę pridėtinę vertę investuotojams, įstatymų leidėjams bei finansiniams instituciniams vienetams, kurie domisi kriptovaliutų elgsenos modeliu, nori jį geriau pažinti, stengiasi neatsilikti nuo aktualijų bei bando pritaikyti kriptovaliutas savo veikloje.

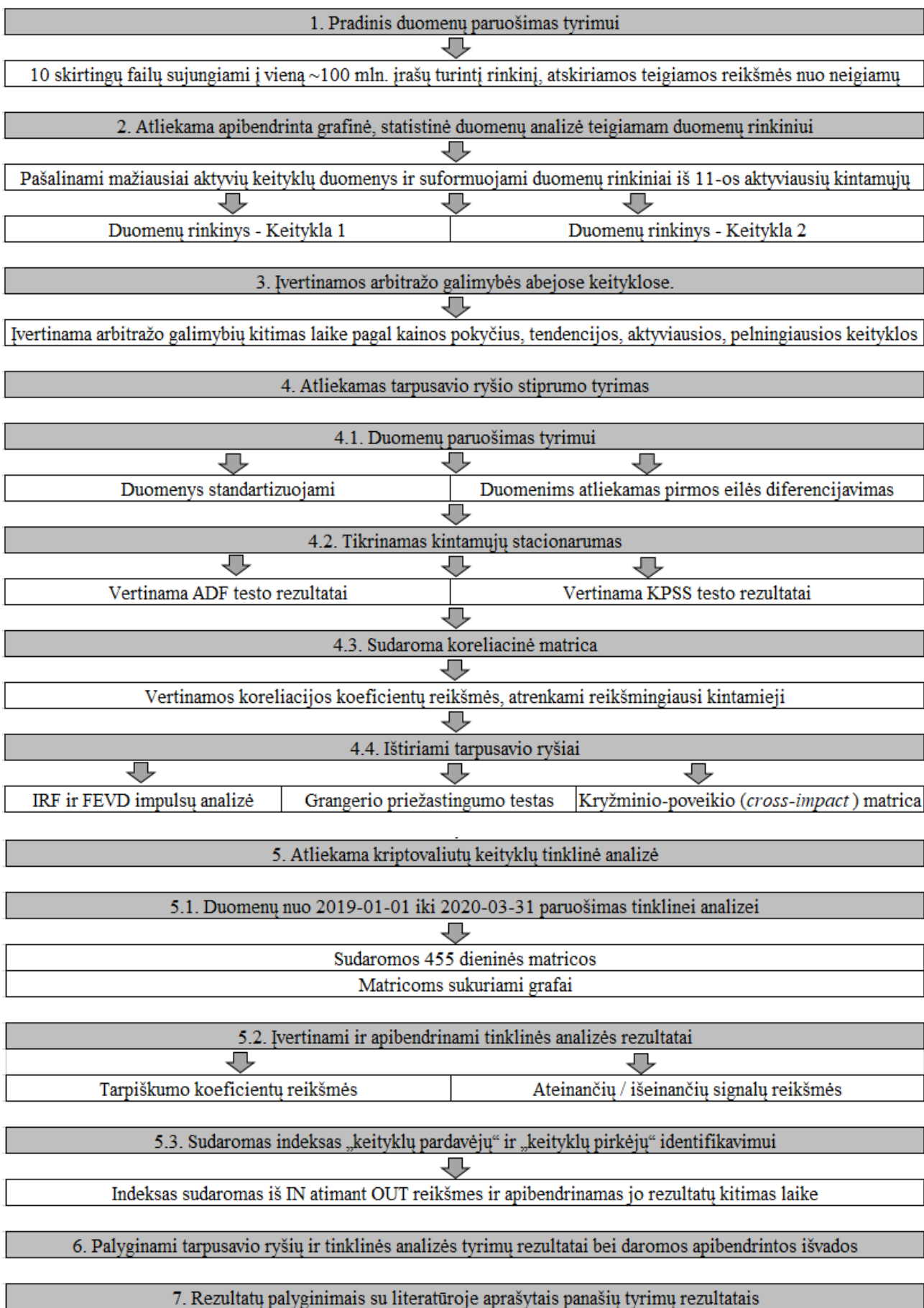
## 2. Tarpusavio ryšių bei tinklinės analizės panaudojimo bitkoino rinkos tyrime metodika

Šiame skyriuje detalizuojama tyrimo eiga, pateikiama informacija apie tyrimui naudotus duomenų rinkinius, jų dydį, aprašomąją statistiką, atliekamas detalus duomenų rinkinių aprašymas bei analizė, aprašomi tyrimui naudoti tarpusavio ryšių nustatymo bei tinklinės analizės metodai, pristatoma, kokia buvo naudota įranga duomenų apdorojimui, įvertinamas tyrimų patikimumas ir atsikartojamumas.

### 2.1. Tyrimo eiga

Tyrimo eiga atvaizduota 11 pav. pateiktoje struktūrogramoje. Prieš pradėdant tyrimą, pirmiausia buvo pradiniai duomenys paruošiami analizei sujungiant 10 failų, gautas failas turėjo ~100 mln. įrašų. Tuomet buvo atskiriamos neigiamas reikšmės nuo teigiamų ir toliau naudojamas duomenų rinkinys su teigiamais duomenimis. Tolimesnei analizei pasirinkta buvo bitkoino kriptovaliutos duomenys vertinant bitkoino su euru kursą (toliau – BTCEUR). Duomenys turėjo 9 799 130 reikšmių, tarp kurių buvo skirtingų keityklų porų duomenys, suteikiantys informaciją apie atitinkamą sekundę susidariusias arbitražo sumas. Pirminiai duomenys fiksuoti 18-oje biržų, kuriose atitinkamu metu buvo galima patrauklia kaina įsigyti kriptovaliutos ir 18-oje biržų, kuriose atitinkamai galima buvo parduoti. Nors duomenys ir sekundiniai, tačiau juose egzistavo laiko tarpų, kai reikšmės nesikeisdavo dėl rinkos ar biržos likvidumo ar kitų problemų. Kai kurių keityklų duomenys buvo užfiksuoti tik atitinkamą trumpą laiko tarpą, savaitę / mėnesį, todėl tolimesnėje analizėje jie buvo pašalinti, kaip neaktualūs. Atlikus išsamią grafinę bei statistinę analizę, identifikuotos populiariausios keityklos ir pagal tai sudaryti skirtingi „Keitykla 1“ ir „Keitykla 2“ duomenų rinkiniai. Sekantis žingsnis buvo abiejų duomenų rinkinių arbitražo galimybių vertinimas, išsamiai aprašomos tendencijos, dėsningumai, aktyviausios bei pelningiausios keityklos. Išsianalizavus duomenis, vertinamas tarpusavio ryšio stiprumas bei egzistuojantys ryšiai tarp keityklų, pradėdant nuo duomenų paruošimo. Kadangi duomenys buvo nestacionarūs, o norint atlikti patikimą tyrimą būtinas stacionarumas, tai duomenys buvo diferencijuoti integruojant pirmu lygiu bei standartizuoti naudojant Min – Max mastelio keitimo metodą. Paruošus duomenų rinkinius, buvo įvertinama jų tinkamumas tyrimui surandant stacionarumui įvertinti naudojamų išplėsto Dikio ir Fulerio (toliau - ir ADF) ir KPSS testų reikšmes. Patvirtinus duomenų tinkamumą, norint žinoti, kuriuos kintamuosius verta analizuoti, abiem duomenų rinkiniams buvo sudarytos koreliacinės matricos bei įvertinamas koreliacijos koeficientų ryšio stiprumas. Atrinkus reikšmingai susijusius kintamuosius bei atmetus silpną įtaką darančius, buvo suformuojami galutiniai duomenų rinkiniai naudojami tarpusavio ryšių tyrimui. Tiriant tarpusavio ryšius buvo naudota IRF, FEVD impulsų analizė, Grangerio priežastingumo testas, kryžminio–poveikio matricos reikšmės. Testų rezultatai parodė, kurios keityklos siunčia stipriausius signalus ir yra aktyviausios rinkoje.

Norint atlikti visapusišką tyrimą 5-ame tyrimo etape buvo vertinama tinklinė analizė, kurią norint atlikti reikėjo sukurti dienes matricas analizuotam laikotarpiui nuo 2019-01-01 iki 2019-03-31. Atlikus tinklinę analizę, buvo įvertinti svarbiausi koeficientai kiekvienai dienai bei lentelėse bei grafikuose pateikiami apibendrinti jų rezultatai. Tolimesniame žingsnyje buvo apskaičiuojamas bendras visą tinklą apimantis indeksas kiekvienai dienai iš gaunamų signalų atimant išeinančius signalus bei įvertinamas jo pokytis laike ir besikeičiančios tendencijos. Taip pat, įvertintos tarpšukumo koeficiento reikšmės. Atlikus išsamius, visapusiškus tyrimus buvo palyginami tarpusavio ryšių analizės bei tinklinės analizės tyrimų rezultatai tarpusavyje ir pateikiamos apibendrinančios išvados. Galiausiai, tyrimo rezultatai palyginami su kitų mokslininkų rezultatais ir remiantis visu tyrimu padarytos pagrįstos išvados bei pateikiamos rekomendacijos.



2 pav. Detali tyrimo eiga

## 2.2. Duomenų rinkinio unikalumas ir naudojama programinė įranga

Kaip pirmoje darbo dalyje buvo aptarta, visi mokslininkai, analizavę arbitražą, vertino potencialas arbitražo sumas, apskaičiuotas juos pagal skirtingas pasirinktas metodikas. Šis tyrimas unikalus tuo, kad vertinamos realios arbitražo galimybės, analizuojant konkrečios įmonės, vykdančios arbitražinę prekybą, duomenis. Kadangi arbitražo reikšmės yra fiksuojamos tuo momentu, kai atsiranda nauja arbitražo galimybė, duomenys pateikiami ne vienodais intervalais. Dažnai egzistuoja minučių ar net valandų, kai tam tikrose keityklose neegzistuoja jokios arbitražo galimybės, todėl nuspręsta, kad tinkamiausi tyrimui būtų dieniniai duomenys susumuojant visų per dieną atsiradusių arbitražinių galimybių sumas ir kiekius konkrečiai dienai.

Duomenys buvo pateikiami skirtinguose failuose, kurie apėmė kiekvieno mėnesio nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio įrašus, todėl, prieš naudojant, juos reikėjo papildomai sutvarkyti ir apdoroti. Kiekvienas failas turėjo tiek neigiamus, tiek teigiamus dydžius, todėl duomenis reikėjo atskirti, duomenų nuskaitymui ir atskirymui buvo naudojama R programinė įranga. Kadangi duomenys turėjo *.json* formatu pateiktų reikšmių, pirmiausia jas reikėjo konvertuoti. Tam naudojama buvo *data.table*, *plyr* paketai (angl. *packages*) ir naudojant *fread* funkciją nuskaitomi bei konvertuojami duomenys. Naudojant *dplyr* paketą buvo atliekamas duomenų iš skirtingų failų sujungimas. Atskyrus teigiamus dydžius nuo neigiamų, duomenys buvo sujungti į vieną didelį, viso laikotarpio teigiamus dydžius apimantį, duomenų rinkinį, kuris turėjo 11 kintamųjų ir 39 744 716 sekundžių tikslumu užfiksuotų įrašų nuo 2019-01-01 00:00:07 iki 2020-03-30 23:59:48. Neigiami dydžiai analizėje buvo neaktualūs, todėl nebuvo naudojami. Turint vieną duomenų rinkinį su visais teigiamais kintamaisiais, buvo įvertinta bendra duomenų rinkinio statistika ir nustatyta, kad egzistuoja 18-os skirtingų keityklų duomenys. Tos pačios 18-likos keityklų užėmė pirmos ir antros keityklos poziciją, todėl viso buvo 324 skirtingos kriptovaliutų keityklų poros. Norint pasirinkti, ką verta analizuoti, naudojantis R programine įranga, duomenys buvo agreguoti įvairiais pjūviais naudojantis *dplyr* paketu ir sudaryti du skirtingi duomenų rinkiniai, iš kurių pirmas duomenų rinkinys vertino pirmos keityklos duomenis iš pirkimo pozicijos ir antras duomenų rinkinys vertino antros keityklos duomenis iš pardavimo pozicijos.

Kadangi naudojantis R programine įranga, detalai įvertinti tokius didelius duomenų rinkinius būtų buvęs labai laiku imlus procesas, agregavus duomenis ir, naudojantis *reshape2* ir *tidyr* paketais, jiems priskyrus atitinkamus datų formatus, kad vietoj sekundinių duomenų būtų vertinami dieniniai duomenys, tolimesnė grafinė duomenų analizė buvo atliekama naudojantis „Power BI“ verslo analitikos įrankiu. Išanalizavus tendencijas, atskyrus pagrindines keityklas, aktyviausius ir pasyviausius laikotarpius, bitkoino kainos pokyčius ir arbitražo galimybes skirtingais laikotarpiais, suformuoti galutiniai du duomenų rinkiniai pagal kiekvienos keityklos duomenis pasirenkant 11-os likvidžiausių keityklų reikšmes. Išanalizavus duomenis „Power BI“ įrankiu, toliau tyrimas buvo tęsiamas naudojantis R programine įranga.

Tolimesnei analizei pasirinkta buvo bitkoino kriptovaliutos duomenys vertinant BTCEUR kursą. Duomenys turėjo 9 799 130 reikšmių, tarp kurių buvo skirtingų keityklų porų duomenys, suteikiantys informaciją apie atitinkamą sekundę keitykloje 1 ir keitykloje 2 susidariusias arbitražo sumas. Pirmoji keitykla yra ta keitykla, kurioje, susidarius arbitražo galimybei, yra perkama kriptovaliutą už palankiausią kainą tuo momentu. Antroji keitykla yra ta keitykla, kurioje, tuo momentu, galima pelningai parduoti kriptovaliutą už palankiausią kainą, jei ji įsigyta pirmoje keitykloje. Arbitražo suma automatiškai paskaičiuota įvertinus geriausią pirkimo ir geriausią pardavimo kainas ir kiekius

atitinkamose biržose. Tarpusavio ryšių tyrimas tarp keityklų atliktas naudojantis R programine įranga, *dplyr*, *zoo*, *plyr*, *pacman* paketais. Stacionarumo vertinimui naudotas *tseries*, o koreliacinei analizei *corrplot* paketai. Tinklinė analizė pradėta nuo matricų sukūrimo, naudojant *dplyr*, *reshape2* ir *plyr* paketus. Grafų sukūrimui naudotas *igraph* paketas bei tinklinei analizei naudoti *qgraph*, *ggraph*, *tidyverse*, *netrankr*, *CINNA* paketai.

Konvertavimas iš dieninių indekso reikšmių į mėnesines buvo atliekamas vidurkinant duomenis ir tokiu būdu apibendrinami tinklinės analizės rezultatai. Grafiniam mėnesinių indeksų atvaizdavimui naudota „Microsoft Excel“.

### 2.3. Tarpusavio ryšių tyrimui naudojami metodai

Skyreliuose 2.3.1 ir 2.3.2 aprašomi tarpusavio ryšių nustatymo tyrimui naudoti metodai bei formulės, kuriomis naudojantis gauti rezultatai. Tarpusavio ryšių nustatymui buvo naudojama koreliacinė matrica, IRF ir FEVD impulsai, Grangerio priešastingo testas, kryžminio poveikio matrica.

#### 2.3.1. Duomenų stacionarumo vertinimui naudojami metodai ir koreliacinė analizė

Pirmiausia buvo tikrinamas kintamųjų stacionarumas vertinant ADF ir KPSS testų rezultatus. Pasirinkta vertinti ADF, o ne DF testą dėl baltojo triukšmo, kurio prielaida buvo pažeidžiama dėl paklaidų autokoreliuotumo. Jeigu gauta, kad egzistuoja vienetinė šaknis, tai reikia integruoti duomenis pirma ar aukštesne eile, kol duomenys taps stacionarus. Išplėstas Dikio Fulerio vienetinės šaknies testas tikrina hipotezes:

$H_0$ :  $y_t$  procesas turi vienetinę šaknį

$H_a$ :  $y_t$  procesas yra stacionarus

Ir yra apskaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$y_t = \alpha y_{t-1} + \sum_{i=2}^i \beta \Delta y_{t-i+1} + w_t \quad (1)$$

Tuomet buvo įvertinami KPSS testo rezultatai. KPSS testas buvo sukurtas papildant vienetinių šaknų testų rezultatus dėl silpnesnio šių testų galingumo, vertinant procesus artimus vienetinei šakniai bei turinčius ilgalaikes tendencijas. KPSS testas tikrina hipotezes:

$H_0$ :  $y_t$  procesas yra stacionarus

$H_a$ :  $y_t$  procesas turi vienetinę šaknį

Ir yra apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$y_t = \beta_t + (r_t + \alpha) + e_t, \text{ kur} \quad (2)$$

$r_t = r_{t-1} + u_t$  yra atsitiktinis klajojimas, o pradinė vertė  $r_t = \alpha$  yra atskaitos taškas,

$t$  – laiko indeksas,

$u_t$  – nepriklausomas pasiskirstymas.

Vertinant abu duomenų rinkinius (keitykla 1 ir 2) bei atlikus pirminę duomenų analizę, nustatyta, kad duomenys nėra stacionarus. Pagal ADF vienetinių šaknų testą duomenys turi vienetinę šaknį, o pagal KPSS stacionarumo testo rezultatus, visų keityklų laiko eilutės yra nestacionarios. Duomenys

diferencijuoti integruojant pirma eile bei standartizuoti naudojant Min – Max mastelio keitimo metodą (3). Atlikus pakeitimus visų keityklų duomenų laiko eilutės tapo stacionarios.

Duomenų standartizavimui naudotas Min – Max mastelio (angl. *Min – Max scaling*) keitimo metodas, kurio pagalba duomenys normalizuojami visų kintamųjų vertes pakeičiant ir perskirstant į diapazoną nuo 0 iki 1 pagal (3) formulę:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

Šis metodas normalizuojant duomenis išsaugo visus nuokrypius, tačiau sumažina standartinių nuokrypių sumas dėl ko duomenys tampa lengviau palyginami.

Turint stacionarius standartizuotus duomenis, vertinamas ryšys tarp kintamųjų, sudarant koreliacinę matricą ir įvertinant koreliacijos koeficientų reikšmes, kurios parodo koreliacijos stiprumo matą. Jeigu dviejų kintamųjų koreliacijos koeficientas lygus nuliui, tai tarp tų kintamųjų neegzistuoja tiesinis arba netiesinis ryšys. Intervaliniams kintamiesiems, netenkinantiems normalumo prielaidos, ir ranginiams kintamiesiems dažniausiai yra skaičiuojamas Spirmeno (angl. *Spearman*) koreliacijos koeficientas, kuris buvo vertinamas ir šiame darbe pagal (4) formulę:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n^3 - n}, \text{ kur} \quad (4)$$

$D_i$  – visų porų skirtumų kvadratų suma;

$r_s$  – Spirmeno koreliacijos koeficientas;

$n$  – lyginamų elementų skaičius.

Koreliacijos stiprumas vertinamas skalėje nuo 0 iki 1, jei ryšys yra teigiamas, arba nuo 0 iki -1, jei ryšys yra neigiamas. Koreliacijos stiprumas vertinamas pagal koreliacijos koeficiento reikšmę (žr. 12 pav.). Dažniausiai vertinami Pirsono ir Spirmeno koreliacijos koeficientai. Šiame tyrime pasirinkta vertinti Spirmeno koreliacijos koeficientą. Spirmeno ranginės koreliacijos koeficientas apibūdina ryšio tarp X ir Y stiprumą monotoniškumo prasme, t.y. X didėjant, Y monotoniškai didėja (nebūtinai tiesiškai). Gauti koreliacinės analizės rezultatai rodo ar tarp pasirinktų kintamųjų egzistuoja statistiškai reikšmingas (nebūtinai tiesinis) ryšys monotoniškumo prasme.

$r_s$ reikšmė	Vertinimas
0,00 – 0,19	Labai silpnas tarpusavio ryšys
0,20 – 0,39	Silpnas ryšys
0,40 – 0,69	Vidutinis ryšys
0,70 – 0,89	Stiprus ryšys
0,90 – 1,00	Labai stiprus tarpusavio ryšys

**3 pav.** Ryšio stiprumas vertinant pagal koreliacijos koeficiento reikšmes

Įvertinus abiejų keityklų duomenis, iš pirmojo keityklos 1 duomenų rinkinio, turinčio palyginti stiprias koreliacijas, buvo pašalinti mažiausiai susijusių keityklų *coindeal*, *bitmarketlt* ir *bitsane* duomenys, kurių koreliacijos koeficientų reikšmės buvo intervale nuo 0,17 iki 0,44. Antrame keityklos 2 duomenų rinkinyje, turinčio silpnesnes koreliacijas, egzistavo beveik nesusijusių *coindeal* ir *exmo* keityklų, kurių koreliacijos koeficientų reikšmės buvo intervale nuo -0,11 iki 0,27, todėl keityklų duomenys buvo pašalinti ir tolimesnei analizei naudojami tik susijusių keityklų duomenys.



### 2.3.2. Impulsų atsako funkcijos ir Grangerio priežastingumo testas

Atrinkus reikšmingus kintamuosius, toliau atliekam IRF analizė. Ortogonalizuotos impulso atsako funkcijos apskaičiuojamos pagal (5) formulę:

$$IRF_{ij}(l) = \frac{\partial y_{j,t+l}}{\partial \zeta_{it}} = [A_l P]_{ji}, \quad (5)$$

Gaunami impulsai parodo ryšių tarp keityklų kryptį ir padeda išsiaiškinti ar keityklos veikia viena kitą abupusiu ryšiu, ar ryšys tarp keityklų yra vienpusis, ar išvis neegzistuoja. Buvo pasirenkamas 90 proc. pasiklovimo lygmuo ir įvertinami 1, 3, 5, 9, 12, 15 vėlinimai taip nustatant ir apibendrinant, kuris vėlinimas tiksliausiai aprašo modelio rezultatus. Pasirinkus 24 dienų prognozės periodą, grafiškai atvaizduoti impulsai ir jų besikeičiantys signalai iki 24 dienų. Pastebima, kad pirmomis dienomis impulsai būna stipriausi ir vidutiniškai po 14 d. normalizuojasi ties 0 reikšme.

O atitinkamai FEVD komponentas  $h$  laikotarpiui nustatomas pagal (6) formulę taip pat vertinant su 90 proc. pasiklovimo lygmeniu:

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{\sum_{l=0}^h IRF_{ij}^2(l)}{\sum_{i=1}^K \sum_{l=0}^h IRF_{ij}^2(l)}, \text{ kur} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^K \gamma_{ij}(h) = 1 \text{ duotam } j.$$

Grangerio priežastingumo testas naudojamas norint surasti egzistuojančius teigiamus ir neigiamus ryšius ir norint išsiaiškinti ar vienas kintamasis turi įtakos nuspėjant kito kintamojo ateities reikšmes. Grangerio priežastingumo testas tikrina hipotezes:

$H_0$ :  $y_t$  egzistuoja Granger ryšys

$H_a$ :  $y_t$  neegzistuoja Granger ryšys

Vertinant  $x_1$  (7) ir  $x_2$  (8) kintamųjų tiesinį autoregresinį modelį, kur

$$x_1 = \sum_{j=1}^p A_{11,j} X_1(t-j) + \sum_{j=1}^p A_{12,j} X_2(t-j) + E_1(t) \quad (7)$$

$$x_2 = \sum_{j=1}^p A_{21,j} X_1(t-j) + \sum_{j=1}^p A_{22,j} X_2(t-j) + E_2(t), \text{ kur} \quad (8)$$

$p$  – maksimalus vėlinimų skaičius modelyje;

Matrica  $A$  – modelių koeficientų sumos (kiekvienos  $X_1(t)$  ir  $X_2(t)$  prognozuojamos reikšmės su įvertintu vėlinimu);

$E_1$  ir  $E_2$  – prognozavimo paklaidos.

Galiausiai skaičiuojama F-statistikos reikšmė pagal (9) formulę:

$$F = \frac{\frac{RSS_i - RSS_{i+1}}{p_2 - p_1}}{\frac{RSS_{i+1}}{n - p_2}}, \text{ kur} \quad (9)$$

$RSS_i$  – modelio kvadrato paklaidų suma.

Grangerio analizė vizualiai atvaizdavo egzistuojančių ryšių tarp keityklų teigiamą arba neigiamą kryptį. Pirmajame duomenų rinkinyje, kuriame egzistavo stipresni ryšiai tarp keityklų, Grangerio analizė parodė, kad dauguma keityklų yra susijusios vienos su kitomis ir egzistuoja tiek neigiami, tiek teigiami ryšiai. Antrajame duomenų rinkinyje mažiau sąsajų ir buvo labiau atsiskyrusių keityklų.

Kryžminio poveikio matricos analizė sudaryta siekiant parodyti skirtingų porų tarpusavio priklausomybes, matrica sudaryta atliekant šiuos veiksmus:

1. Įvykių ir tendencijų, į kurias reikia atsižvelgti, nustatymas;
2. Įvykių tikimybių nustatymas;
3. Kiekvieno įvykio tikimybės įvertinimas priklausomai nuo kitų veiksnių;
4. Jautrumo analizė

Modelio privalumai yra tarpusavio ryšio nustatymas tarp skirtingų porų bei ateities perspektyvų įvertinimas. Išskiriami tokie modelio trūkumai, kaip pagrįsta kintamųjų atranka, norint gauti reikšmingus rezultatus; užima daug laiko, nes atsižvelgiama į daug skirtingų įvykių; tuo pačiu metu keli kintamieji gali daryti įtaką, todėl gali būti sunku atskirti, iš kur gaunamas pagrindinis impulsas.

Impulsų atsako funkcijos parodo ryšį tarp keityklų, Grangerio analizė papildoma rezultatais atvaizduojant neigiamus ir teigiamus ryšius tarp keityklų, o kryžminio–poveikio matricos rezultatai padeda duomenis suskirstyti į skirtingas veiksnių grupes: aktyvūs, pasyvūs, silpni ir stiprūs, bei pamatyti centrines, tendencijas formuojančias keityklas.

#### 2.4. Tinklinės analizės metodas

Įvertinus tarpusavio ryšius, atliktas tinklinės analizės tyrimas, norint patvirtinti rezultatus bei gauti papildomos informacijos apie susidariusį bitkoino keityklų tinklą. Tinklinės analizės pagrindinis tikslas yra gerai suprasti grupės duomenis, įvertinant pagrindinius ryšius tarp konkrečių kintamųjų bei išskiriant pagrindinius kintamuosius grupėje.

Atliekant tinklinę analizę buvo sudaryta 455 matricos kiekvienai dienai nuo 2019 m. sausio 1 d. iki 2020 m. kovo 31 d., kiekvienai matricai buvo sudaryti sistemos struktūrą apibūdinantys grafai ir apskaičiuojami bei grafiškai atvaizduojami grafų pagrindiniai koeficientai: *In Degree* ir *Out Degree* reikšmės, artumas (angl. *closeness*), tarpškumas (angl. – *betweenness*). Sistemoje egzistuoja susikirtimo taškai (angl. – *nodes*), iš kurių kiekvienas vaizduoja tam tikrą keityklą.

Tinklinė analizė pradedama nuo grafų ir jų susikirtimo taškų (10) sudarymo ir vieno paprasčiausiai vertinamo padėties (angl. *degree*) mato (11), identifikuojančio susikirtimo taškus, turinčius daugiausiai jungčių tinkle:

$$G = (V, E), \text{ kur} \quad (10)$$

susikirtimo taško padėtis arba viršūnė  $v$ , ( $v \in V$ ) gali būti išreikšta naudojant (11) lygtį:

$$C_d(v) = \text{deg}(v), \text{ kur} \quad (11)$$

$\text{deg}(v)$  yra viršūnės  $v$  kraštinių skaičius.

Gali būti skaičiuojami *In Degree* ir *Out Degree* reikšmės, nurodančios gaunamus ir išsiunčiamus signalus.

Konkrečiai analizuojamu atveju *In Degree* reikšmė parodo, su kiek kitų keityklų yra susijusi susikirtimo taške esanti keitykla, t. y., kokiose keityklose įsigijus bitkoino, atsiradus palankiai galimybei, ji būtų galima pelningai parduoti susikirtimo taške esančioje keitykloje. *Out Degree* reikšmė, priešingai, rodo, jei įsigyta bitkoino susikirtimo taške esančioje keitykloje, kokiose biržose, atsiradus progai, būtų galima pelningai parduoti bitkoiną. Apibendrinant, kuo daugiau *In Degree* reikšmių, tuo labiau susikirtimo taške esanti keitykla yra patraukli bitkoino pardavimui ir tuo daugiau ji turėjo arbitražinių galimybių su skirtingomis keityklomis. Kuo daugiau *Out Degree* reikšmių, tuo labiau, susikirtimo taške esanti, keitykla yra patraukli bitkoino pirkimui, nes atsiradus palankiai galimybei, ji būtų galima pelningai parduoti susijusiose keityklose. Aktyviausių keityklų IN ir OUT atžvilgiu analizė rodo, kuriose keityklose dažniausiai galima parduoti ir kuriose dažniausiai atsiranda palanki galimybė pirkti. Tuomet, atsiradus progai pelningai parduoti bitkoiną konkrečioje keitykloje, galima įvertinti, kokios kitos keityklos ta proga pasinaudoja, t. y., kur vartotojai turi įsigiję kriptovaliutos, kad galėtų ją tuo momentu parduoti.

Kitas svarbus vertinimo matas yra artumas, kuris nurodo trumpiausią atstumą tarp susikirtimo taško ir visų kitų tinkle esančių susikirtimo taškų.  $G$  grafui, turinčiam  $n$  susikirtimo taškų, jų  $v$  artumas gali būti išreiškiamas naudojant (12) lygtį:

$$C_c(v) = \frac{n-1}{\sum_{k=i}^n d(u_i, v)}, \text{ kur} \quad (12)$$

$d(u_i, v)$  žymi geodezinį atstumą tarp  $u_i$  ir  $v$ .

Nemažiau svarbus yra tarpiskumo (angl. – *betweenness*) mato įvertinimas, identifikuojantis tinklo lyderius. Tarpiskumo koeficientas matuoja arčiausią kelią iš vieno susikirtimo taško į kitą susikirtimo tašką įtraukiant kitus susikirtimo taškus, kaip tarpininkus, per kuriuos būtina pereiti norint pateikti iš taško A į tašką B. Viršūnės  $v$  tarpiskumo koeficientas išreiškiamas naudojant (13) lygtį:

$$C_b(v) = \sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}, \text{ kur} \quad (13)$$

$\sigma_{st}$  – viso egzistuojančių trumpiausių kelių nuo susikirtimo taško  $s$  iki  $t$  ir  $\sigma_{st}(v)$  yra kelių, pereinančių per  $v$  skaičius.

Tarpiskumo koeficientas, taip pat labai svarbus vertinant keityklas „tarpininkes“ arba „informacijos paskirstytojas“. Susikirtimo taškai, turintys aukštas tarpiskumo koeficiento sumas, rinkoje išsiskiria, kaip pagrindiniai veikėjai paskirstantys informacijos srautus, todėl keityklos su aukščiausiomis koeficientų reikšmėmis atlieka ypač svarbų vaidmenį.

Tinklinė analizė vertinant *In Degree* ir *Out Degree* reikšmės, artumo, tarpiskumo reikšmes padeda nustatyti, kiek kiekvieną dieną buvo aktyvi sistema ir kurios keityklos buvo aktyviausios perkant / parduodant. Šiame tyrime tarpiskumo koeficiento reikšmės parodo pagrindines keityklas, paskirstančias informaciją rinkoje, o *In Degree* ir *Out Degree* reikšmės leidžia nustatyti, kuriose keityklose verta pirkti bitkoiną, o kuriose verta parduoti bitkoiną.

## 2.5. Tiriamas duomenų rinkinys

Tęsiant atrinktų keityklų analizę, buvo įvertinta kiekvienoje keitykloje susidariusios arbitražo sumos. 4-oje lentelėje aprašytas pirmos keityklos duomenų rinkinys, kuriame pateikiama analizuotų biržų reikšmių skaičius, laikotarpis ir arbitražo sumų statistika. Mažiausia arbitražo galimybė, prie kurios galėjo būti vykdomas automatinis prekybos sandoris, buvo 0,01 euro cento, o didžiausia visose keityklose siekė maždaug 1000 Eur. Pagal 1-ojo kvartilio sumas, nustatyta, kad didžiausia reikšmė, siekianti 0,82, buvo *dsx* ir *coinfloor* keityklose, tai rodo, kad 25 proc. arbitražo reikšmių siekė 0,82 arba mažesnes sumas. Minėtose keityklose buvo ir didžiausios medianos ir trečio kvartilio reikšmės. *Dsx* biržoje 75 proc. reikšmių buvo mažesnės arba lygios 16,13, *coinfloor* biržoje 75 proc. reikšmių buvo mažesnės arba lygios 14,77 Eur, o *exmo* ir *bitstamp* biržose 75 proc. reikšmių buvo mažesnės arba lygios atitinkamai 8,13 Eur ir 8,14 Eur. Kadangi *coinfloor* (49508 reikšmės) ir *bitstamp* (199966 reikšmės) sandoriai nepasitaikė taip dažnai, kaip *dsx* (1970431 reikšmė) ir *exmo* (3752031 reikšmės) keitykloje, *dsx* ir *exmo* analizėje išlieka aktualios, dėl dažnesnių arbitražinių galimybių, tačiau svarbu identifikuoti ir rečiau pasirodančias reikšmingas galimybes kitose keityklose.

4 lentelė. Keityklos 1 duomenų rinkinio keityklų apibendrinta statistika

Keitykla 1	Dsx	Exmo	Bitmarketlt	Coideal	Bitbay	Kraken
Reikšmių sk.	1 970 431	3 752 031	603 852	604 327	408 465	238 158
<b>Laikotarpis:</b>						
nuo	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01
iki	2020-03-24	2020-03-30	2019-11-11	2020-03-30	2020-03-30	2020-03-30
<b>Arbitražo suma:</b>						
min	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1 kv.	0,82	0,63	0,20	0,15	0,08	0,30
Mediana	4,17	1,78	1,15	0,85	0,36	1,57
Vidurkis	33,35	17,48	10,13	7,48	7,49	12,31
3 kv.	16,13	8,13	5,03	4,88	2,17	7,45
Max	999,22	999,89	992,39	955,95	996,07	990,73
Keitykla 1	Cexio	Bitlish	Bitstamp	Coinfalcon	Coinfloor	
Reikšmių sk.	486 130	293 894	199 966	561 188	49 508	
<b>Laikotarpis:</b>						
nuo	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-02	
iki	2020-03-30	2020-03-17	2020-03-30	2020-03-30	2020-03-30	
<b>Arbitražo suma:</b>						
min	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
1 kv.	0,12	0,13	0,28	0,07	0,82	
Mediana	0,58	1,08	1,69	0,24	3,55	
Vidurkis	5,83	9,61	12,60	2,47	18,24	
3 kv.	2,72	6,72	8,14	1,25	14,77	
Max	993,46	990,18	998,92	994,76	990,72	

5-oje lentelėje, kaip pačios populiariausios keityklos, kuriose įsigijus bitkoiną, dažniausiai pasitaiko pelningos galimybės jį parduoti kitoje keitykloje, išsiskiria *Coideal* (1 784 381 reikšmės) ir *Kraken* (1 243 239 reikšmės). Mažiau galimybių pasitaiko *bitstamp* (919 001 reikšmės) ir *cexio* (872 390 reikšmės), o mažiausiai *bitsane* (231 516 reikšmės). Jeigu pavyksta palankiu momentu įsigyti bitkoino *coinfloor* ir *bitsane* keityklose, tai didžiausia tikimybė, kad, pigiai nupirkus, pasitaikys pelningiausios arbitražo galimybės, nes pagal arbitražo sumas, matyti, kad 75 proc. reikšmių *bitsane* buvo mažesnės arba lygios 18,21 Eur, o *coinfloor* mažesnės arba lygios 23,17 Eur. Vertinant dažniau pasitaikančias galimybes nupirkti palankia kaina, išsiskiria *kraken* ir *bitstamp* biržos, kuriose atitinkamai 75 proc. reikšmių buvo mažesnės arba lygios atitinkamai 10,37 ir 9,48 Eur.

5 lentelė. Keityklos 2 duomenų rinkinio keityklų apibendrinta statistika

Keitykla 2	Kraken	Coindeal	Bitstamp	Coinfloor	Cexio	Bitlish
Reikšmių sk.	1 243 239	1 784 381	919 001	375 378	872 390	664 580
<b>Laikotarpis:</b>						
nuo	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01	2019-01-01
iki	2020-03-30	2020-03-30	2020-03-30	2020-03-30	2020-03-30	2020-03-24
<b>Arbitražo suma:</b>						
min	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1 kv.	0,39	0,34	0,43	0,35	0,41	0,35
Mediana	1,93	1,64	1,93	3,42	1,65	1,44
Vidurkis	23,79	14,89	20,60	39,08	16,53	20,21
3 kv.	10,37	7,83	9,48	23,17	6,53	7,49
Max	999,84	998,92	998,60	995,97	996,26	998,91
Keitykla 2	Bitbay	Bitmarketlt	Coinmate	Bitsane	Coinfalcon	
Reikšmių sk.	703 664	651 592	475 002	231 516	711 007	
<b>Laikotarpis:</b>						
nuo	2019-01-01	2019-01-01	2019-03-11	2019-01-01	2019-01-01	
iki	2020-03-28	2019-11-11	2020-03-30	2019-06-10	2020-03-30	
<b>Arbitražo suma:</b>						
min	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
1 kv.	0,32	0,43	0,19	0,50	0,23	
Mediana	1,27	1,57	0,99	1,71	1,03	
Vidurkis	14,67	11,80	14,04	24,35	7,82	
3 kv.	4,93	6,56	5,78	18,21	4,49	
Max	999,60	999,58	997,56	999,89	958,94	

Papildomai pateikiant informaciją apie keityklas, buvo vertinama kiekvienoje analizuotoje keitykloje esantys prekiavimo ir išsigryninimo mokesčiai, kuriais metais ir kurioje šalyje buvo įkurta keitykla, ar prekyba vykdoma ir JAV (žr. 6 lentelė). Ši informacija pateikta pagal [www.cryptowisser.com](http://www.cryptowisser.com) pateikiamus duomenis. Taip pat buvo įvertinta informacija apie keityklų sandorių apimtį 2020-05-21, likvidumą, top vietą reitinge *CoinMarketCap* svetainėje, remiantis [www.coinmarketcap.com/](http://www.coinmarketcap.com/) pateikiamais duomenimis. *CoinMarketCap* svetainėje top keityklų vertinimas atliekamas įvertinant keityklose egzistuojančias prekybos apimtis, srautus ir likvidumą.

6 lentelė. Papildoma informacija apie keityklas

Keitykla	Įkūrimo metai	Šalis	Prekiav. mok. %	Išsigryn. mok. BTC	USA invest.	Sandorių apimtis dol. 2020-05-21	Likvidumo balas	Top iš 343 keityklų <i>CoinMarketCap</i>
dsx	2014	UK	0,25	0,0004	Ne	569 736 269	120	287
kraken	2011	USA	0,26	0,0005	Taip	227 270 847	356	4
bitstamp	2011	UK	0,5	0,0005	Taip	173 705 871	264	29
bitbay	2014	PL	0,30-0,43	0,0005	Ne	33 597 392	0	24
exmo	2013	UK	0,2	0,0003	-	19 239 139	143	41
coindeal	2018	MT	0,39	0,0008	Taip	8 827 436	158	104
cexio	2013	UK	0,25	0,0005	Taip	6 453 469	132	46
coinfloor	2013	UK	0,3	0,0005	-	2 517 745	0	157
coinmate	2014	UK	0,15	0,00015-0,00043	Ne	805 301	0	120
coinfalcon	2017	UK	0,2	0	Taip	29 889	0	143
bitlish	2015	UK	-	-	-	-	-	-
bitsane	2016	IE	-	-	-	-	-	-
bitmarketlt	2014	LT	-	-	-	-	-	-

Sudaryta autorės remiantis [www.cryptowisser.com](http://www.cryptowisser.com) ir [www.coinmarketcap.com/rankings/exchanges/reported/](http://www.coinmarketcap.com/rankings/exchanges/reported/) duomenimis

Kaip likvidžiausios ir patikimiausios pagal top vertinimo reikšmę buvo išskirtos *kraken* ir *bitstamp* keityklos. Apie *bitmarketlt* nepavyko rasti detalesnės informacijos, bet 4-oje ir 5-oje lentelėse matyti, kad keityklos duomenys egzistuoja tik iki 2019-11-11. Lėšų pervedimui *bitmarketlt* naudojami *Mistertango*, kurios veikla buvo pristabdyta nuo 2019 m. lapkričio mėn., įmonės tarpininkavimo paslaugomis, todėl nuo lapkričio, kai nebuvo galimybių išsigryninti pinigų, algoritminė prekyba buvo sustabdyta ir nepateikiami jokie duomenys. *Bitlish* ir *bitsane* jau nebeegzistuojančios keityklos. *Bitlish* sustabdė savo veiklą 2020-03-30, o *bitsane* buvo apgaulinga keitykla (angl. *scam*), išviliojusi klientų pinigus.

Net 8-ios iš 13-os keityklų veikia Jungtinėje Karalystėje. Tik vienos *kraken* keityklos duomenys yra už Europos Sąjungos (toliau – ES) ribų Jungtinėse Amerikos Valstijose (toliau – JAV). *Kraken* keitykloje yra patrauklus prekiavimo mokestis, tačiau papildyti sąskaitą galima tik įnešant pinigus kriptovaliutomis. *Bitstamp*, kaip ir *kraken*, yra viena seniausiai įkurtų keityklų ir ji taip pat yra viena iš pagrindinių keityklų ES.

*Kraken* ir *bitstamp* keityklos analizėje galėtų būti išskiriamos, kaip vienos iš patikimiausių bei likvidžiausių, taip pat jose dažnai pasitaiko arbitražinių galimybių.

### 3. Bitkoino arbitražo galimybių tarpusavio ryšių tyrimo ir tinklinės analizės rezultatai

Šioje dalyje pateikiami bitkoino arbitražo galimybių tarpusavio ryšių tyrimo rezultatai ir jų aptarimas. Naudojant atsako funkcijų, prognozuojamų paklaidų dispersijos suskaidymo, Grangerio priešastingo testų rezultatus bei tinklinę analizę, nustatytos centrinės keityklos. Rezultatai palyginti vieni su kitais ir gautos apibendrintos išvados. Aptartas rezultatų kitimas bei tendencijos, pateikiant rezultatų interpretaciją. Rezultatai palyginti su literatūroje aprašytais panašių tyrimų rezultatais bei aptariama gautų rezultatų svarba.

#### 3.1. Bitkoino kainos dinamikos tyrimas

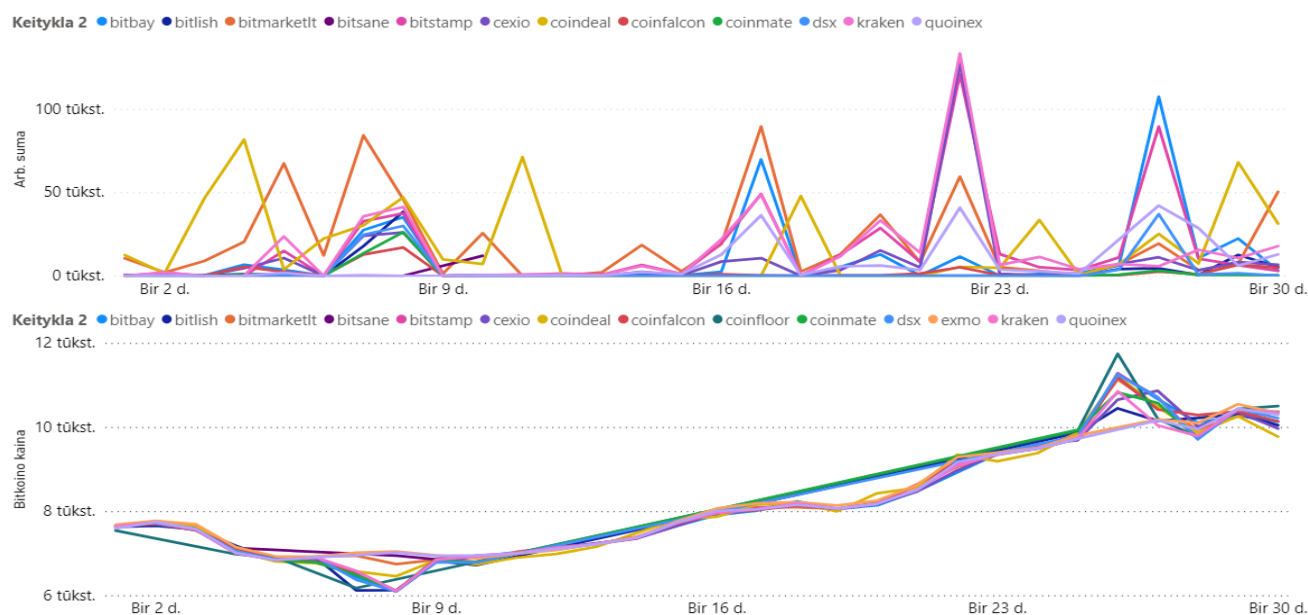
Bitkoino kainos pokyčiai vertinami pagal BTCEUR kursą. Arbitražo galimybės paskaičiuojamos įvertinus geriausių pirkimo ir geriausių pardavimo kainas ir kiekius atitinkamose biržose. Pirmoji keitykla yra ta keitykla, kurioje, susidarius arbitražo galimybei, yra perkama kriptovaliutą už palankiausia kaina tuo momentu. Antroji keitykla yra ta keitykla, kurioje, tuo momentu, galima pelningai parduoti kriptovaliutą už palankiausia kaina, jei ji įsigyta pirmoje keitykloje. Bendram duomenų supratimui išnagrinėjama bitkoino kainos kitimo eiga ir toliau detalesnei analizei naudojami arbitražo sumų duomenys įvertinant, kurias dienas, kuriose keityklose atsirado daugiausiai arbitražo galimybių. Bitkoino kainos skirtingose keityklose kitimo grafikas pateiktas 4-ame paveiksle, kuriame pastebima, kad kainos keityklose keitėsi sinchroniškai (duomenų apie *exmo* biržą 2019 m. gegužės mėnesį nebuvo). Po 2019 m. pirmame ketvirtyje įvykusio bitkoino kainos nuosmukio, gegužės mėnesį kaina pradėjo kilti, birželį kainos kilimas tapo spartesnis ir liepos mėnesį buvo pasiektas kainos pikas.



4 pav. Bitkoino kainos pokyčiai nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn.

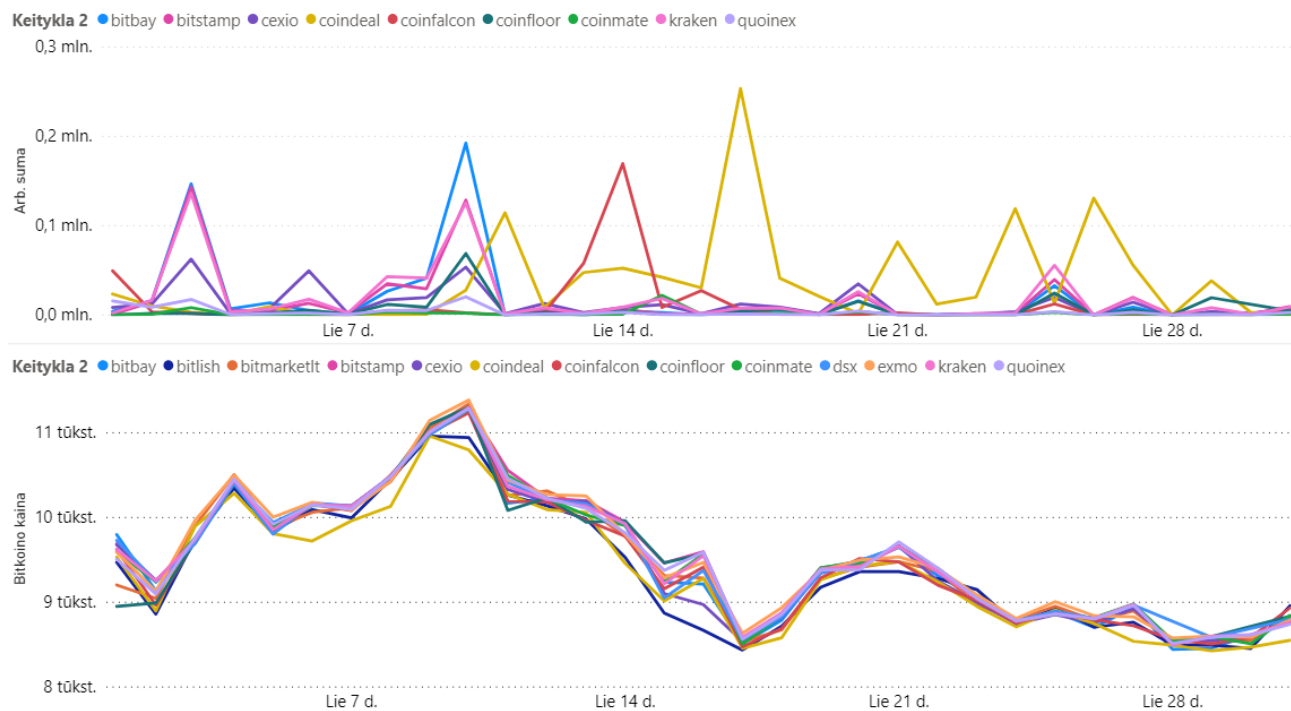
Apibūdinant bendrą bitkoino kainos elgesį, arbitražo galimybės daug dažniau atsiranda, kai bitkoino kaina auga nei atvirkščiai, todėl, analizuojamu laikotarpiu, aktyviausiai arbitražo galimybės pasireiškė birželio–liepos mėnesiais. 2019 m. birželio mėn. pastebimas gana tendencingas bitkoino kainos augimas skirtingose biržose. Staiga augant kainai ne visos biržos vienodai greitai spėja sureaguoti į kainos pasikeitimus, kas sudaro sąlygas arbitražo atsiradimui. Uždelsta kainos reakcija į gaunamus impulsus iš centrinių rinkoje esančių keityklų atsispindi birželio 8, 17, 20, 22, 24, 27, 29 d. (žr. 5 pav. viršutinis grafikas), kai vienu metu atsiranda arbitražo sumos daugelyje keityklų. Vertinant situaciją liepos mėnesį, pastebima, kad bitkoino kaina visose keityklose judėjo gana

tendencingai (žr. 6 pav. apatinis grafikas) išskyrus *coindeal* ir *coinfalcon*, kurių judesiai vėluodavo ar nebūtinai sutapdavo jų judėjimo kryptys.



**5 pav.** Išaugusios arbitražo galimybės kylant bitkoino kainai

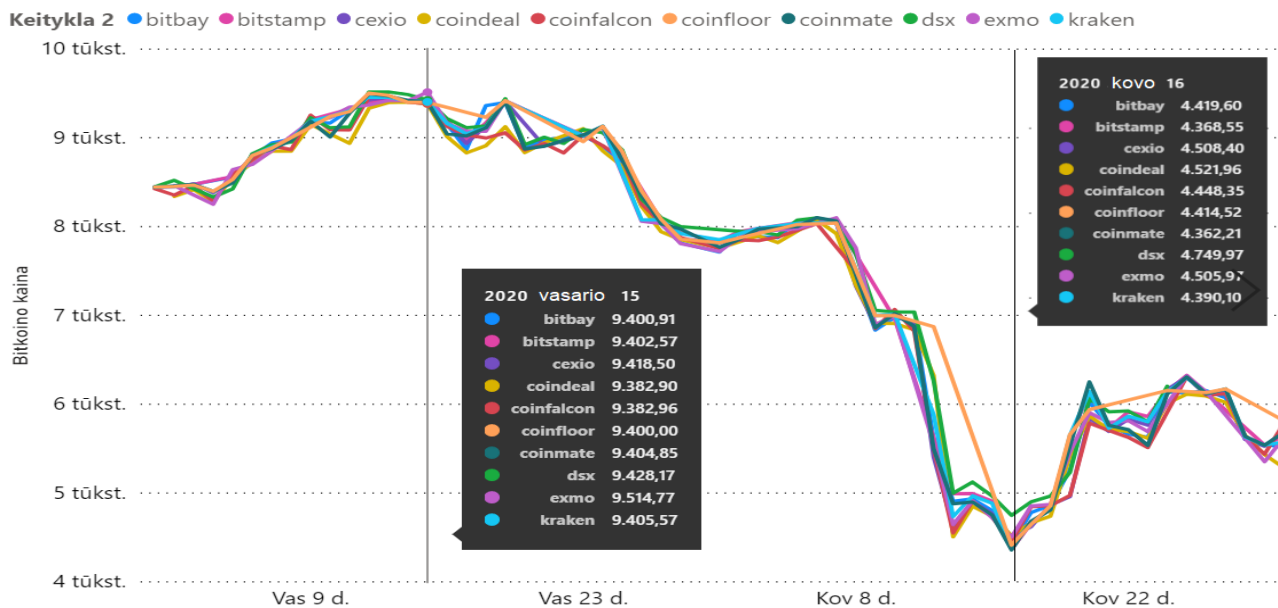
Liepos 2, 9, 19 ir 24 d. daugumoje keityklų bitkoino kaina kilo, o tai sekančią dieną sąlygojo staigų arbitražo sumų atsiradimą tose keityklose, kurios nespėjo laiku sureaguoti į kainos pokyčius. Liepos 10 d. *bitlish* ir *coindeal* biržose bitkoino kaina krito (žr. 6 pav. apatinis grafikas), nors kitose biržose vis dar išliko augimo tendencija. Kadangi liepos 11 d. visose biržose kaina krito, tai *bitlish* ir *coindeal* gali būti biržos davusios signalą kitoms keitykloms arba jos gali būti tiesiog nesusijusios su kitomis biržomis. Norint pateikti pagrįstas išvadas reikalinga detalesnė analizė.



**6 pav.** Arbitražo galimybės 2019 m. liepos mėn.

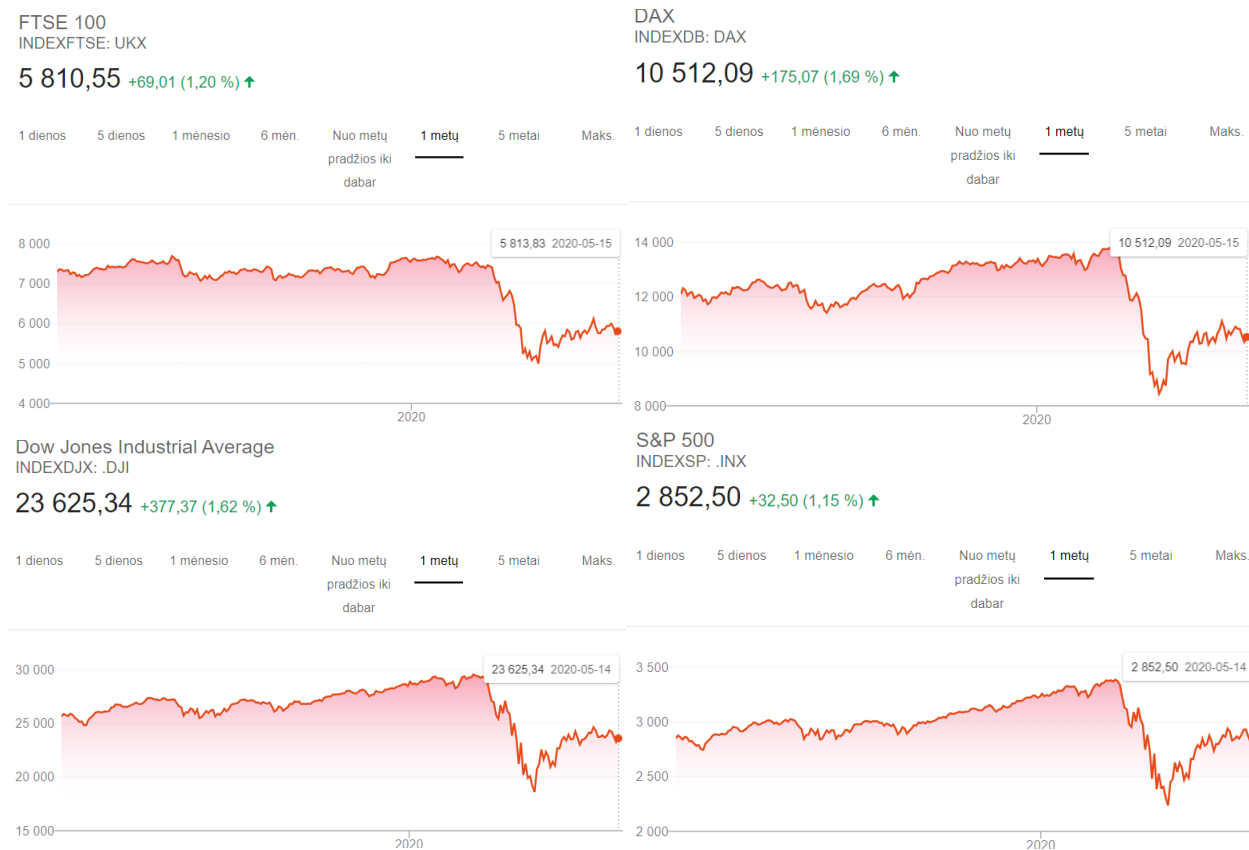


Bitkoino kainai, kaip ir kitam finansiniam turtui, įtakos turi ir svarbūs įvykiai pasaulyje (žr. 7 pav.). Pastebima, kad 2020 m. vasario mėn. pasaulį sukrėtusi COVID-19 pandemija paveikė ir bitkoino kainą, kuri per mėnesį krito daugiau nei dvigubai ir kainai atsistatyti pririekė lygiai dviejų mėnesių.



7 pav. Bitkoino kainos kritimas 2020 m. vasario – kovo mėn.

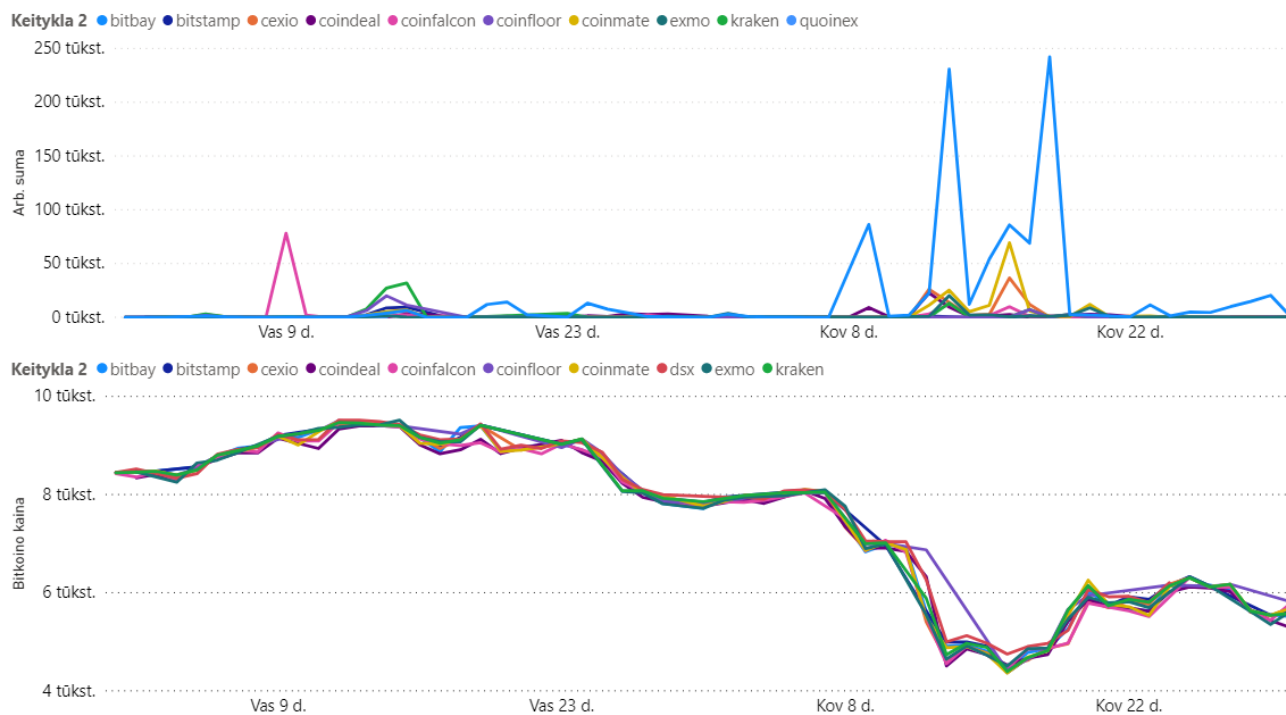
Įdomu tai, kad bitkoino kriptovaliutos, kuri laikomu vienu nestabiliausių finansinių instrumentų, kainai atsistatyti po staigaus kainos kritimo pririekė kelių mėnesių, o įprastiems vieniems populiariausių finansinių *FTSE 100*, *DAX*, *DJIA*, *S&P 500* indeksų vis dar tai nepavyksta (žr. 8 pav.).



8 pav. Populiariausių finansinių FTSE 100, DAX, DJIA, S&P 500 indeksų pokyčiai pandemijos metu

Finansų pasaulyje dideli sukrėtimai ilgiau atsispindi rinkoje, o šiuo atveju, matyti, kad kriptovaliutos yra atsparesnės stipriems šokams. Galima tikimybė, kad dalis vartotojų, suabejoję finansinių institucijų veikla, renkasi kriptovaliutų rinką, kaip alternatyvą bankui ar investiciniais tikslais.

Kiek anksčiau aptartas bitkoino kainos kilimas sąlygoja didesnę arbitražo galimybių kiekį. Tai papildomai pagrindžia ir grafiškai pavaizduotos 2020 m. vasario–kovo mėn. reikšmės (žr. 9 pav.), kai matoma priešinga situacija, jog kainai krentant arbitražo galimybės tampa minimalios ir kur kas mažesnės bei retesnės nei kilimo laikotarpiais.



9 pav. Arbitražo galimybių sumažėjimas krentant bitkoino kainai 2020 vasario–kovo mėn.

Bendrai vertinant, arbitražo galimybės auga kylant kainai ir mažėja krentant kainai. Bitkoino kaina, kaip ir kitų finansinių investicinių indeksai, jautriai reaguoja į pasaulį sukrečiančius įvykius, tačiau greičiau atsistato ir sugrįžta į pradinę padėtį, o pasaulio finansų rinkai reikia daugiau laiko atsigauti.

### 3.2. Arbitražo galimybių detali analizė

Efektyvi nuo neefektyvios rinkos skiriasi tuo, kad efektyvioje rinkoje judėjimai vyksta panašiu metu, o neefektyvioje dėl uždelsto veikimo gali susidaryti dideli kainos skirtumai sąlygojantys arbitražo galimybių atsiradimą. Pagal turimus unikalios realios arbitražo duomenis skirtumai susidaro tada, kai tam tikru momentu perkame kriptovaliutą pirmoje keitykloje ir parduodame ją antroje.

Vertinant arbitražo galimybes pagal keityklas, matyti, kad pirmoje keitykloje daugiausiai patrauklių galimybių įsigyti kriptovaliutą atsirado *kraken*, *coindeal*, *bitstamp*, *coinfloor*, *cexio*, *bitlish* ir kt. biržose (žr. 10 pav. kairėje). Lyginant, kokios susidarė arbitražo sumos ir kiek pasitaikė arbitražo galimybių, nustatyta, kad pagal arbitražo sumą (žr. 10 pav.) *coinfalcon* keitykla buvo 11-oje vietoje, o pagal pasitaikiusių galimybių skaičių 5-oje vietoje, tai rodo, kad vidutiniškai buvo daugiau arbitražo galimybių mažesnėmis sumomis nei kitose keityklose. Vertinant viso laikotarpio duomenis, nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio, pasinaudojus visomis arbitražo galimybėmis visose 18-oje keityklų atlikus 9,8 mln. sandorių buvo galima uždirbti 160 mlrd. Eur. Antros keityklos duomenų analizė

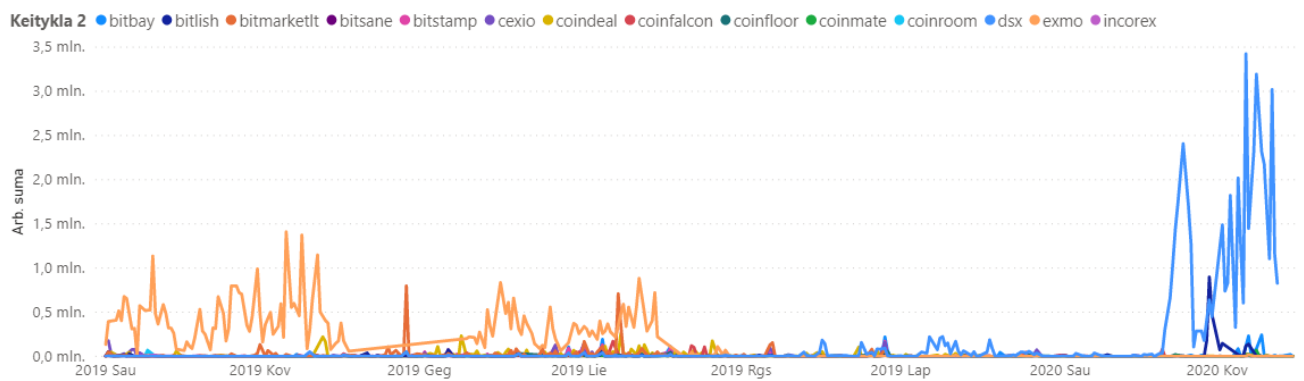
parodė, kad didžiausios arbitražo sumos, kaip ir kiekiai, buvo *dsx*, *exmo*, *bitmarketlt*, *coindeal* biržose (žr. 10 pav. dešinėje).

*Dsx* ir *exmo* keityklose arbitražo sumos ženkliai skyrėsi nuo sumų kitose keityklose dėl 2019 ir 2020 m. atsiradusio nestabilumo šiose keityklose. *Dsx* biržoje 2020 m. vasario–kovo mėnesiais arbitražo galimybės staiga stipriai išaugo. Kovo mėnesio paskutinėmis dienomis net siekė kiek daugiau nei 3 mln. per dieną. Būtina pastebėti, kad už didelės arbitražo sumos, iš tikrųjų, slypi *dsx* biržoje 2020 m. pradžioje atsiradusios likvidumo problemos, kurios pastebėtos vėluojant klientų mokėjimams. Tokia situacija paskatina vartotojų nepasitikėjimą dėl turimos kriptovaliutos, kurios neturi galimybės išsigrąžinti ir tuomet jie staiga pradeda pirkti kitas kriptovaliutas, taip siekdami išsigrąžinti eurus, kas sąlygoja kriptovaliutos kainos kilimą. Nuo vasario vidurio *dsx* problemos buvo paviešintos, įmonė *ePayments* tarpininkaujanti *dsx* biržai atliekant mokėjimus, buvo pristabdyta dėl pažeidimų. 2020-05-27 d. duomenimis situacija nepasikeitusi, prekyba biržoje dar nėra įmanoma dėl tebesitęsiančių problemų.

Keitykla 1	Arb. suma	Keitykla 1	Arb. kiekis	Keitykla 2	Arb. suma	Keitykla 2	Arb. kiekis
kraken	29.570.988,76	coindeal	1784381	dsx	65.721.958,07	exmo	3752031
coindeal	26.564.809,90	kraken	1243239	exmo	65.575.213,92	dsx	1970431
bitstamp	18.934.922,71	bitstamp	919001	bitmarketlt	6.114.230,69	coindeal	604327
coinfloor	14.669.232,44	cexio	872390	coindeal	4.520.140,76	bitmarketlt	603852
cexio	14.422.726,39	coinfalcon	711007	bitbay	3.058.977,39	coinfalcon	561188
bitlish	13.433.453,72	bitbay	703664	kraken	2.931.448,39	cexio	486130
bitbay	10.320.598,48	bitlish	664580	cexio	2.835.811,87	bitbay	408465
bitmarketlt	7.690.033,31	bitmarketlt	651592	bitlish	2.825.070,97	bitlish	293894
coinmate	6.670.011,89	quoinex	512046	bitstamp	2.519.488,25	incorex	260328
bitsane	5.637.871,63	coinmate	475002	coinfalcon	1.383.379,18	kraken	238158
coinfalcon	5.562.453,08	coinfloor	375378	coinfloor	902.853,98	bitstamp	199966
quoinex	2.073.917,95	dsx	263089	coinmate	622.923,40	coinmate	167253
dsx	2.029.090,50	bitsane	231516	quoinex	582.319,93	quoinex	132753
coinroom	1.248.415,39	singularityx	112503	bitsane	216.873,71	coinfloor	49508
singularityx	588.253,96	therock	102957	incorex	184.437,68	bitsane	35110
therock	365.681,67	coinroom	95611	coinroom	80.442,55	singularityx	20452
incorex	310.143,50	incorex	56273	singularityx	44.849,71	therock	11152
exmo	44.567,97	exmo	30975	therock	16.752,80	coinroom	10206
<b>Iš viso</b>	<b>160.137.173,25</b>	<b>Iš viso</b>	<b>9805204</b>	<b>Iš viso</b>	<b>160.137.173,25</b>	<b>Iš viso</b>	<b>9805204</b>

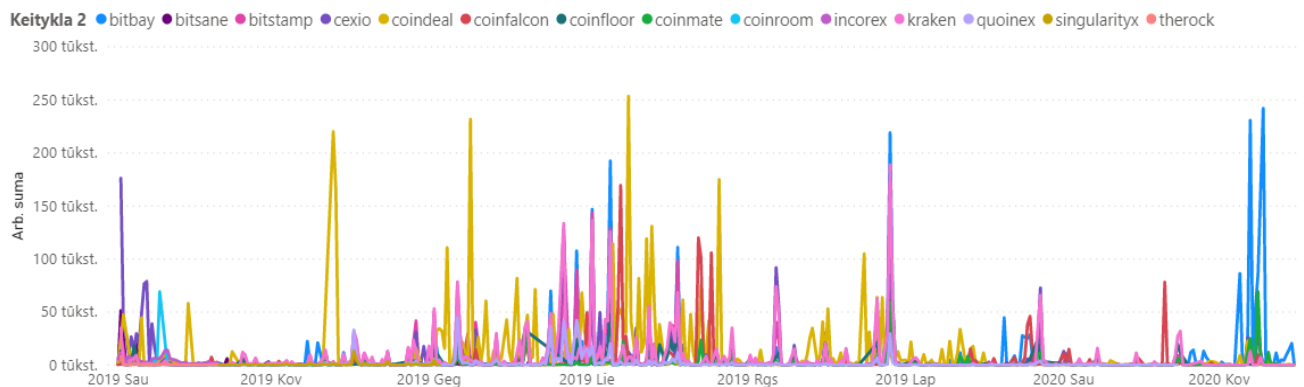
**10 pav.** Abiejų duomenų rinkinių keityklų duomenys bei arbitražo sumos ir kiekiai per analizuojamą laikotarpį nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn.

Pirmoje 2019 m. pusėje *exmo* arbitražinės galimybės taip pat stipriai išsiskyrė (žr. 11 pav., gegužę nebuvo jokių duomenų) dėl biržos ne visiškai patikimos veiklos ir dėl to besikeičiančių, mokėjimus atliekančių, tarpininkų. Mokėjimams atlikti keitykla privalo naudotis tarpininkų paslaugomis, tačiau tarpininkai pamatę tam tikrų standartų nesilaikymą, nutraukia bendradarbiavimą. Tuomet vartotojai negali išsigrąžinti pinigų, todėl staiga kyla arbitražinės sumos. Pastebimi ir staigūs arbitražo „šuoliai“ *bitmarketlt* ir *bitlish* keityklose, todėl minėtos keturios keityklos buvo pašalintos iš grafiko, norint vizualiai įvertinti lengviau palyginamus duomenis (žr. 12 pav.).



**11 pav.** Visų keityklų arbitražo sumos visu analizuotu laikotarpiu nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn.

Matyti, kad kai kuriose keityklose egzistavo staigūs arbitražo „šuoliai“, kai turint galimybę visais pasinaudoti, būtų buvę galima uždirbti apie 200 tūkst. eurų per dieną, tačiau 2019 m. vasario–kovo ir 2020 m. sausio–vasario mėn. arbitražo galimybės buvo labai neįžymios (žr. 12 pav.). Priešingai pastebima, kad 2019 m. birželis, liepa ir rugpjūtis išsiskyrė dideliu arbitražiniu aktyvumu.



**12 pav.** Arbitražo sumos visu analizuotu laikotarpiu nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn. pašalinus stipriausią poveikį dariusių keityklų duomenis

Tolimesnėje analizėje analizuojamų keityklų kiekis buvo sumažintas iki 11-os keityklų, atrinkus tiek pirmoje, tiek antroje keityklose tas biržas, kuriose buvo įmanoma daugiausiai uždirbti. Mažiausios arbitražo sumos buvo *bitsane*, *incorex*, *coinroom*, *singularitix* ir *therock*, todėl jų duomenys pašalinti iš tolimesnės analizės.

Analizuojant duomenis, buvo susumuota visų keityklose buvusių bitkoino pirkimo / pardavimo arbitražo galimybių sumos ir kiekiai (žr. 7 lentelė). Duomenys apima skirtingų keityklų poras nurodytu laiko momentu. Arbitražo suma rodo, kiek būtų buvę galima tais mėnesiais uždirbti, jei būtų pasinaudota visomis atsiradusiomis galimybėmis, o kiekis – kiek iš viso arbitražo galimybių, mažesnėmis ar didesnėmis sumomis, atsirado per mėnesį. Kadangi 2019 m. pirmoje pusėje *exmo* ir 2020 m. pradžioje *dsx* keityklose buvo atsiradę pinigų išsigryninimo problemų arbitražiniai pelnai tapo nepasvertai dideli, todėl norint analizuoti labiau palyginamus duomenis šių keityklų sumos buvo pašalintos (visi duomenys pateikti 2 priede). Vertinant duomenis, pastebima, kad arbitražo suma 2019 m. liepos mėn. yra kelis kartus didesnė nei kitais mėnesiais, arbitražo galimybių liepos mėn. taip pat yra daugiausiai (žr. 7 lentelė). Nors 2019 m. birželį ir spalį arbitražo sumos yra panašios, tačiau spalį buvo mažesnis arbitražo galimybių kiekis, tai rodo, kad spalį arbitražai buvo didesnėmis sumomis. Liepa, spalvis ir birželis buvo pelningiausi mėnesiai. Pirmos keityklos duomenys neaptariami, nes

kiekiai ir sumos beveik analogiškai, neženkliai skiriasi dėl atrinktų skirtingų keityklų (pirmos keityklos duomenys pateikti 1 priede).

**7 lentelė.** Arbitražo sumos ir kiekiai nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio (keitykla 2)

Data	Viso arbitražo suma	Viso arbitražo galimybių kiekis
2019-01-01	1 400 569	255 909
2019-02-01	293 094	114 271
2019-03-01	1 103 967	233 111
2019-04-01	1 816 932	270 280
2019-05-01	2 194 501	301 384
2019-06-01	2 953 380	227 981
2019-07-01	6 218 336	386 955
2019-08-01	2 325 771	259 796
2019-09-01	1 144 744	149 533
2019-10-01	2 812 795	176 410
2019-11-01	311 716	139 961
2019-12-01	756 615	326 673
2020-01-01	232 289	125 728
2020-02-01	1 897 251	198 976
2020-03-01	1 629 441	278 520
<b>Suma</b>	<b>27 091 401</b>	<b>3 445 488</b>

Detalizuojant duomenis, antros keityklos, kurioje parduodamas bitkoinas, duomenys suskirstyti pagal keityklas ir mėnesius (žr. 3 ir 4 priedai). *Dsx* ir *exmo* biržų stipriai išsiskiriantys duomenys buvo aptarti anksčiau, *bitmarketlt* duomenys nuo 2019 m. buvo nepateikti, nes pinigų pervedimui naudojamos įmonės tarpininkės *Mistertango* veikla buvo pristabdyta. Jei analizuojamu laikotarpiu būtų buvę galima pasinaudoti visomis arbitražo galimybėmis, tai *bitmarketlt* būtų buvę galima uždirbti 6,11 mln. Eur, *coindeal* – 4,52 mln. Eur, o *bitbay* – 3,06 mln. Eur (žr. 3 priedas). *Bitmarketlt*, kaip ir *coindeal*, taip pat buvo kiek daugiau nei 0,6 mln. arbitražo galimybių. Įdomus pastebėjimas, kad *coinfalcon* keitykloje sandorių skaičius buvo panašus, kaip ir *bitmarketlt* ir *coindeal*, tačiau bendra suma siekė 1,38 mln. Eur, tai rodo, kad dažniausiai buvo fiksuojamos nedidelės arbitražo sumos. *Coinfloor* buvo vos 49,5 tūkst. arbitražo galimybių, kuriomis pasinaudojus buvo galima uždirbti 903 tūkst. Eur, todėl galima teigti, kad vidutiniškai arbitražo sumos vienam sandoriui buvo didesnės. Vertinant dinamiką keityklose sunku pastebėti aiškias tendencijas. Stipriausi arbitražo pikai užfiksuoti *bitmarketlt* ir *coindeal* biržose 2019 m. birželio mėn., *bitmarketlt* kovo mėn. ir *bitlish* 2020 m. sausio mėn. Daugeliu atveju *bitmarketlt*, *coindeal*, *kraken*, *cexio* ir *bitstamp* biržose laikotarpiu nuo 2019 m. kovo iki 2019 m. spalio dominavo didesnės, šimtatūkstantinės arbitražo sumos.

Analogiškai vertinant, kokia situacija buvo pirmoje keitykloje, nustatyta, kad 2020 m. vasario–kovo mėn., kilus panikai rinkose dėl COVID-19 pandemijos, visose keityklose, kurių duomenys pateikiami, buvo galima gera kaina įsigyti bitkoino, nes žmonės jį masiškai pardavinėjo, kas atsispindėjo ir bitkoino kainoje. Bendrai vertinant situaciją pagal skirtingas keityklas, sunku įžvelgti tendencijas, tačiau, galima pastebėti, kad nuo 2019 m. rugpjūčio mėn. iki 2020 m. vasario buvo ženkliai sumažėjusios galimybės įsigyti kriptovaliutos palankia kaina (žr. 5 ir 6 priedai).

### 3.3. Bitkoinais prekiaujančių kriptovaliutų keityklų tarpusavio ryšio tyrimas

Keityklos dažniausiai yra susijusios ir jei vienoje atsiranda arbitražo galimybės, tikėtina, kad tai atsikartos ir kitose keityklose. Tokiu atveju tampa svarbu išsiaiškinti, kurios keityklos yra susijusios ir kuriose galima tikėtis parduoti kriptovaliutą. Tyrimuose, ieškant tarpusavio ryšių, naudojami

impulsų atsako funkcijos rezultatai ir surandama keityklos, kuriose susidaręs staigus arbitražas duoda impulsą kitų keityklų arbitražo susidarymui. Grangerio priežastingumo analizė parodo, kad arbitražo sumos tarp keityklų yra susijusios ir įvertina, kuri keitykla duoda teigiamą ar neigiamą signalą kitai keityklai. Tokie rezultatai leidžia suprasti, į kurias keityklas verta atkreipti didžiausią dėmesį. Išsiaiškinus, kurios keityklos uždelstai reaguoja į arbitražo susidarymą, galima tai sėkmingai pritaikyti praktikoje ir būti pasiruošus parduoti kriptovaliutą, kai ji sureaguos į atitinkamą signalą. Ši analizė aktualiausia, jeigu mes išsigijome daugiau bitkoino konkrečioje keitykloje ir norime žinoti, kuriose keityklose atsiranda daugiausiai gerų progų parduoti. Kryžminio–poveikio matrica padėjo išskirti keturias pagrindines keityklų grupes, tai aktyvios, stiprios, pasyvios ir silpną įtaką darančios.

### 3.3.1. Duomenų parengimas ir geriausio modelio išskyrimas

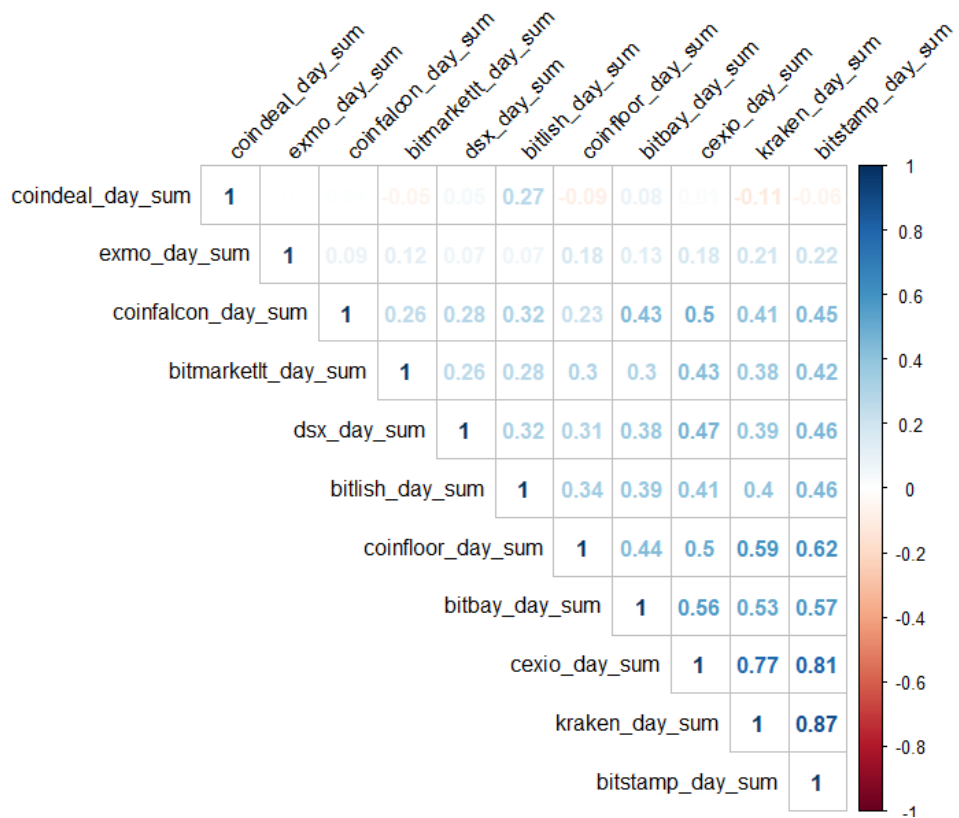
Sudarius iš išanalizavus keityklos 1 ir keityklos 2 duomenų rinkinius, tolimesnė analizė buvo atliekama abiems duomenų rinkiniams atskirai, įvertinant pirkimo galimybes keitykloje 1 ir pardavimo galimybes keitykloje 2. Analizė orientuota į atsiradusias pardavimo galimybes, nes tai aktualiausia investuotojų atžvilgiu ir įvertinus pardavimo galimybes pagal jas buvo parenkama keitykla, kurioje tuo momentu buvo patraukliausia pirkimo kaina ir dėl to susidarė arbitražas.

Keityklos 2 duomenų rinkinio pirminė analizė parodė, kad vertinant ADF vienetinių šaknų testą duomenys turi vienetinę šaknį bei vertinant KPSS stacionarumo testą, nustatyta, kad visų keityklų laiko eilutės yra nestacionarios. Tai išsiaiškinus, duomenys standartizuoti naudojant Min – Max mastelio keitimo metodą ir, norint pasiekti stacionarumą, diferencijuoti. Visų keityklų duomenys diferencijuoti vieną kartą integruojant pirma eile ir atlikus pakeitimus, laiko eilutės tapo stacionarios, todėl buvo galima taikyti Grangerio priežastingumo testą (žr. 8 lentelė).

**8 lentelė.** KPSS ir ADF testų rezultatai

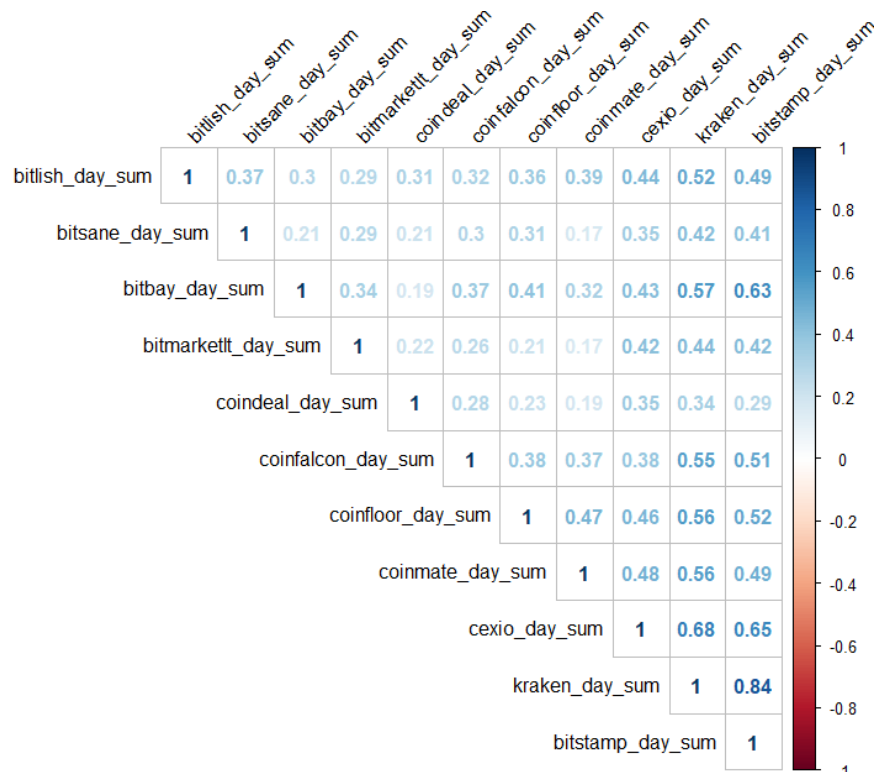
Keitykla	KPSS stacionarumo testas			Išplėstinis Dikio ir Fulerio (ADF) testas		
	KPSS	Vėlinimas (lag)	P-reikšmė	DF	Vėlinimas (lag)	P-reikšmė
dsx	0,019	3	0,10	-7,379	4	0,01
exmo	0,026	3	0,10	-8,803	4	0,01
bitmarketlt	0,011	3	0,10	-10,969	3	0,01
coindeal	0,010	3	0,10	-11,555	4	0,01
bitbay	0,008	3	0,10	-10,683	4	0,01
kraken	0,008	3	0,10	-11,231	3	0,01
cexio	0,094	3	0,10	-12,987	3	0,01
bitlish	0,009	3	0,10	-9,765	3	0,01
bitstamp	0,009	3	0,10	-10,791	3	0,01
coinfalcon	0,007	3	0,10	-11,197	5	0,01
coinfloor	0,015	3	0,10	-9,225	3	0,01

Prieš taikant Grangerio priežastingumo testą, būtina įvertinti, kurie kintamieji yra susiję, kitu atveju, analizė gali būti nereikšminga. Ryšiai tarp kintamųjų nustatyti sudarius koreliacinę matricą ir vertinant koreliacijos koeficientų reikšmes. Antros keityklos koreliacinė analizė parodė, kad *coindeal* ir *exmo* keityklų duomenys nereikšmingai susiję su visomis kitomis keityklomis (visos koreliacijos koeficientų reikšmės yra intervale nuo -0,11 iki 0,27), todėl minėtų keityklų duomenys buvo pašalinti iš analizės (žr. 13 pav.).



13 pav. Keityklos 2 kintamųjų koreliacinė matrica

Pirmos keityklos koreliacinė analizė parodė stipresnius ryšius. Tarp jokių kintamųjų nebuvo neigiamo ryšio, mažiausiai susiję (visos koreliacijos koeficientų reikšmės yra intervale nuo 0,17 iki 0,44) su kitais buvo *coindeal*, *bitmarkettt* ir *bitsane*, todėl šių keityklų duomenis nenaudinga toliau analizuoti ir jie buvo pašalinti iš tarpusavio ryšių tyrimo (žr. 14 pav.).



14 pav. Keityklos 1 kintamųjų koreliacinė matrica

Atlikus koreliacijų analizę, galima vertinti atsako funkcijų impulsus (toliau - IRF), FEVD ir priežastingumo ryšius bei kryžminio–poveikio matricą. Pagrįstoms išvadoms pateikti svarbus yra uždelsto veikimo įvertinimo laikotarpis. Pasirinkus skirtingus vėlinimus (angl. – *lag*) rezultatai gali skirtis, todėl būtina įvertinti, kaip arbitražo sumos reaguoja su trumpesniu ir su ilgesniu uždelstu veikimu. Pasirinkta ištirti 1, 3, 5, 9, 12, 15 vėlinimų įtaką abiejų keityklų rezultatams. Įvertinus antros keityklos duomenų rinkinį, nustatyta, kurios keityklos su skirtingais vėlinimais buvo išskirtos, kaip aktyvios, pasyvios, stiprią arba silpną įtaką darančios (žr. 9 lentelė). Sudarius skirtingus modelius, nustatyta, kad tiksliausiai duomenis aprašo modelis su 3 vėlinimais, todėl toliau detaliau aptariami duomenys, pasirinkus 3 vėlinimus.

**9 lentelė.** Tarpusavio ryšių analizė įvertinant modelių rezultatus su 1, 3, 5, 9, 12, 15 vėlinimais

Keityklos	Aktyvūs					Stiprūs					Silpni					Pasyvūs							
	Lag					Lag					Lag					Lag							
	1	3	5	9	12	15	1	3	5	9	12	15	1	3	5	9	12	15	1	3	5	9	12
kraken	+						+	+	+	+	+												
bitstamp	+						+	+	+	+	+												
bitbay							+	+	+	+	+												
cexio				+	+	+	+	+										-					
coinfloor							+	+	+		+												
coinfalcon																		-					
bitmarketlt																		-					
dsx																		-					
bitlish																		-					

Apibendrinti rezultatai pateikiami 10-oje lentelėje, kurioje matyti, kad stipriausią įtaką darančios pagal aktyvumo sumą yra *kraken*, *bitstamp* ir *bitbay* keityklos. *Cexio* keitykla turi vieną pasyvumo sumą, tačiau reikia pastebėti, kad pasyvumo suma buvo ant ašies ribos tarp pasyvumo ir aktyvumo, todėl *cexio* įtaka taip pat išlieka stipri. *Coinfloor* vertinama, kaip stiprią įtaką daranti keitykla, tačiau priskyrimas stipriems veiksniams rodo, kad keitykla ir pati yra stipriai veikiama kitų. Likusių keityklų duomenys buvo apibūdinami, kaip silpni ar pasyvūs.

**10 lentelė.** Tarpusavio ryšių analizė susumuojant modelių su 1, 3, 5, 9, 12, 15 vėlinimais rezultatus

Keityklos	Aktyvūs (+ suma)	Stiprūs (+ suma)	Silpni (- suma)	Pasyvūs (- suma)	Aktyvumo suma	Pasyvumo suma
kraken	1	5			6	-
bitstamp	1	5			6	-
bitbay		6			6	-
cexio	3	2	1		5	1
coinfloor		4		1	4	1
coinfalcon			1	4	-	5
bitmarketlt			2	3	-	5
dsx			6		-	6
bitlish			5		-	5

Analogiškai išanalizavus skirtingų vėlinimų įtaką pirmai keityklai, nustatyta, kad dėl stiprių ryšių tarp keityklų rezultatai persidengia ir sunku išskirti atitinkamas grupes vertinant 1, 5, 9, 12 ir 15 vėlinimus. Tolimesnėje analizėje aptariamas, geriausiai duomenis aprašantis, modelis pasirinkus 3 vėlinimus.



### 3.3.2. Ryšių tarp keityklų aprašymas ir centrinių keityklų išskyrimas

Modelio su 3 vėlinimais rezultatų analizė prasideda nuo pirmos keityklos duomenų IRF vertinimo. IRF rezultatai parodo egzistuojančius ryšius tarp analizuojamų duomenų ir aprašant keityklų porą, galima nustatyti, kaip vienoje keitykloje atsitikus staigiam kainos pokyčiui, sureaguotų kita keitykla (žr. 15 pav.). Atsako impulsų testo rezultatai pateikiami 8 priede.

kraken	↔	bitstamp
kraken	↔	coinfloor
kraken	→	cexio
kraken	↔	bitlish
kraken	↔	bitbay
kraken	↔	coinmate
kraken	↔	coinfalcon
bitbay	→	bitlish
bitbay	↔	cexio
bitbay	↔	coinmate
bitbay	↔	coinfalcon
bitbay	↔	kraken
bitbay	→	bitstamp
bitbay	↔	coinfloor
bitstamp	→	coinfalcon
bitstamp	↔	kraken
bitstamp	↔	coinfloor
bitstamp	↔	cexio
bitstamp	↔	bitlish
bitstamp	↔	bitbay
bitstamp	↔	coinmate
bitlish	←	bitbay
bitlish	↔	coinmate
bitlish	↔	coinfalcon
bitlish	↔	kraken
bitlish	↔	bitstamp
bitlish	↔	coinfloor
bitlish	↔	cexio
coinfloor	←	cexio
coinfloor	↔	bitlish
coinfloor	↔	bitbay
coinfloor	↔	coinmate
coinfloor	→	coinfalcon
coinfloor	↔	kraken
coinfloor	↔	bitstamp
cexio	→	coinfalcon
cexio	↔	bitlish
cexio	↔	bitbay
cexio	↔	coinmate
cexio	←	kraken
cexio	↔	bitstamp
cexio	→	coinfloor
coinfalcon	↔	kraken
coinfalcon	←	coinfloor
coinfalcon	←	cexio
coinfalcon	←	bitstamp
coinfalcon	↔	coinmate
coinfalcon	↔	bitlish
coinfalcon	↔	bitbay
coinmate	↔	coinfalcon
coinmate	↔	kraken
coinmate	↔	bitstamp
coinmate	↔	bitbay
coinmate	↔	bitlish
coinmate	↔	cexio
coinmate	↔	coinfloor

15 pav. Keityklos 1 IRF impulsai

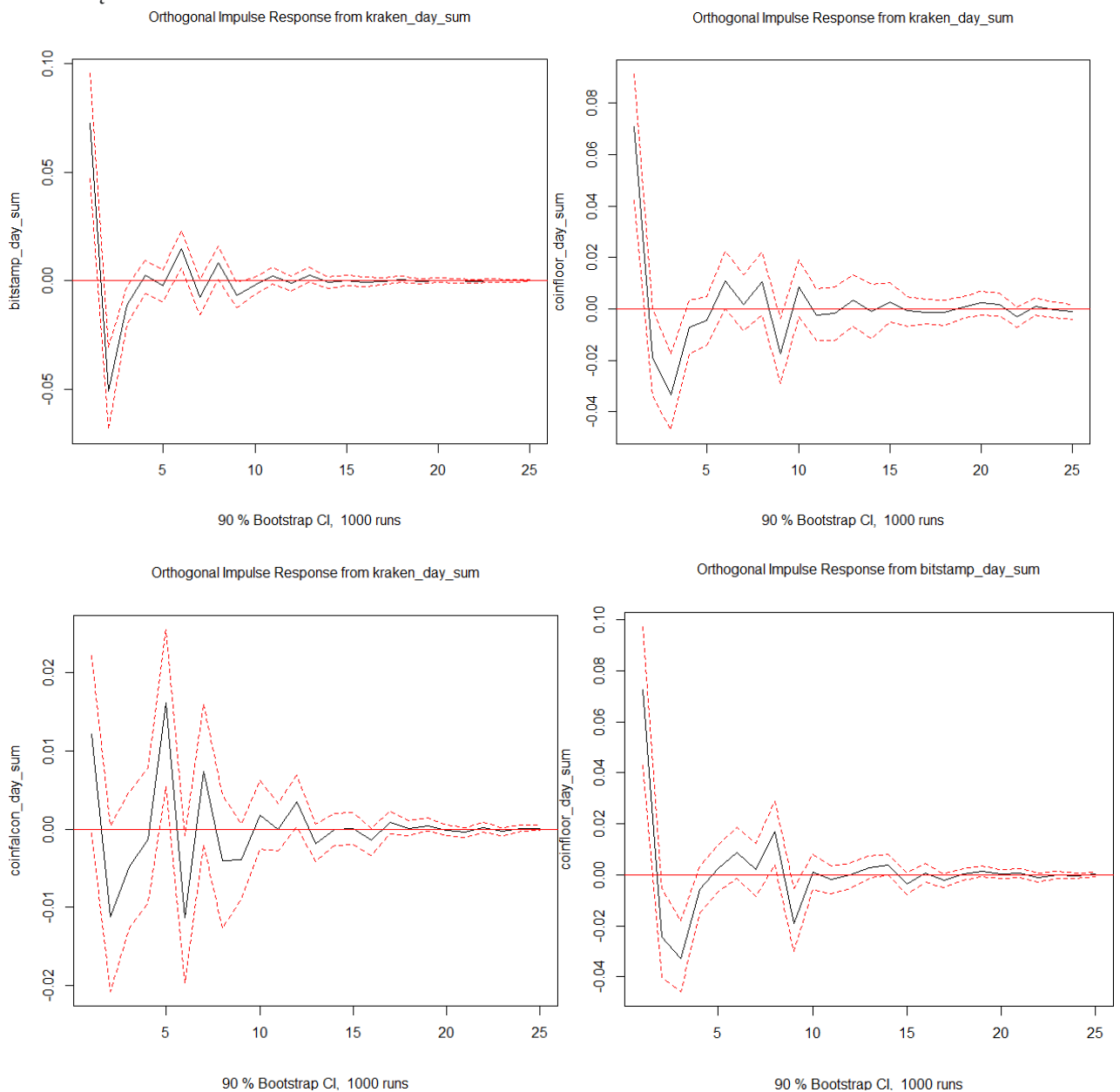
Pastebima, pirmoje keitykloje, kurioje atliekami kriptovaliutų pirkimo sandoriai, dažniausiai egzistuoja abipusė įtaka ir keityklos perneša informaciją vienos kitoms. *Coinfalcon* tik gauna daugiausiai vienpusių signalų iš kitų keityklų. *Cexio* ir *bitbay* siunčia vienpusius signalus kelioms kitoms keitykloms, bet bendrai galima vertinti, kad dauguma keityklų veikia vienos kitas.

Antroje keitykloje, kurioje parduodamas bitkoinas, egzistuoja įvairesni ryšiai, tačiau jų yra mažiau. Skirtingų keityklų analizė parodė, kad *cexio*, *bitmarketlt*, *dsx* ir *bitlish* mažiausiai siejasi su kitomis keityklomis. *Cexio* keitykla susijusi tik su *coinfloor*, kuriai siunčia signalus, o *bitmarketlt* siejasi tik su *coinfalcon*, su kuria egzistuoja abipusiai ryšiai. *Bitbay* gautus signalus iš *dsx* perduoda *coinfalcon* ir *coinfloor*. *Coinfalcon* gauna iš, palyginti, daug biržų signalus, kuriuos perduoda *coinfalcon*. *Coinfalcon* taip pat gauna daug signalų iš kitų keityklų, kuriuos perduoda *bitmarketlt* keityklai. *Kraken*, *bitstamp* ir *bitbay* išsiskiria, kaip aktyvesnės keityklos, darančios kitoms įtaką (žr. 16 pav.). Atsako impulsų testo rezultatai pateikiami 7 priede.

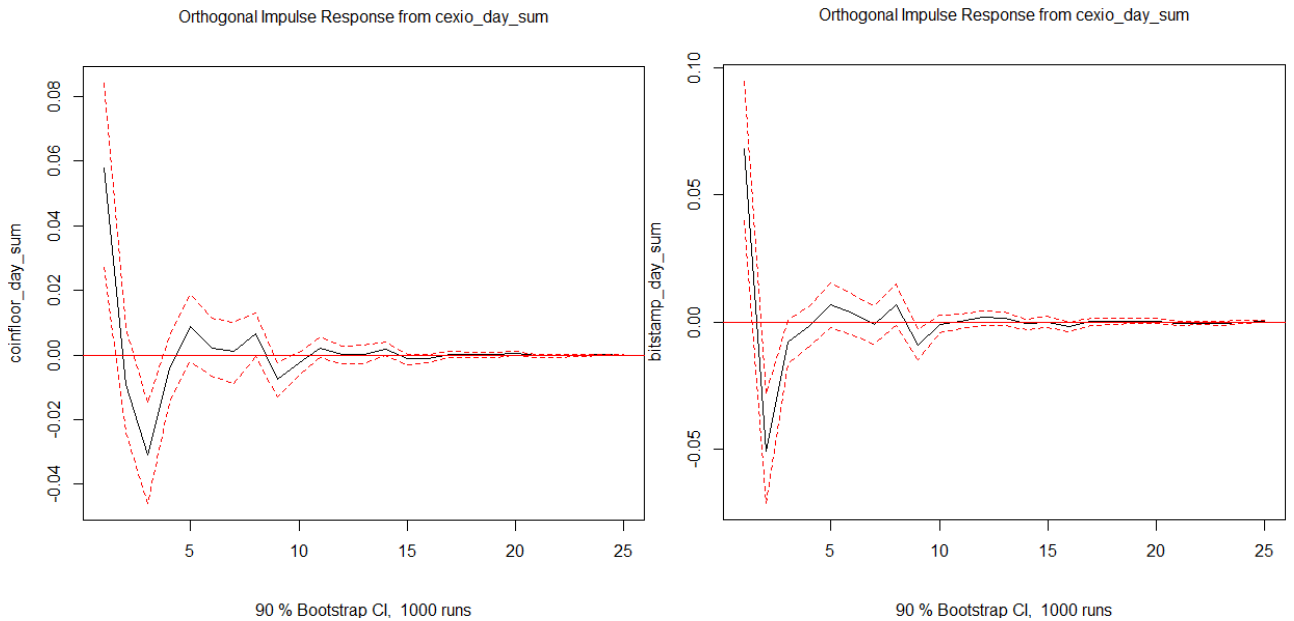
bitstamp	→	coinfalcon
bitstamp	→	coinfloor
bitstamp	↔	kraken
kraken	→	coinfalcon
kraken	→	coinfloor
kraken	↔	bitstamp
bitbay	→	coinfalcon
bitbay	↔	dsx
bitbay	→	coinfloor
coinfloor	→	coinfalcon
coinfloor	←	bitbay
coinfloor	←	kraken
coinfloor	←	cexio
coinfloor	←	bitstamp
coinfalcon	←	bitbay
coinfalcon	←	kraken
coinfalcon	←	bitstamp
coinfalcon	←	coinfloor
coinfalcon	↔	bitmarketlt
bitlish	→	dsx
bitlish	→	bitbay
dsx	←	bitlish
dsx	↔	bitbay
bitmarketlt	↔	coinfalcon
cexio	→	coinfloor

16 pav. Keityklos 2 IRF impulsai

Grafiškai atvaizdavirus IRF įtaką, nustatyta, kad stipriausius signalus siunčia bei stipriausią įtaką daro *kraken*, *bitstamp*, *cexio* ir keityklos. Su 90 proc. pasiklovimo lygmeniu, galima teigti, kad *kraken* keitykloje 1 proc. išaugus arbitražo sumai per pirmas dvi dienas tai turės stiprią neigiamą įtaką *bitstamp*, *coinfloor* ir *coinfalcon* keitykloms, kuriose arbitražo sumos sumažės atitinkamai 5, 3 ir 1 proc. (žr. 17 pav.). Su 90 proc. pasiklovimo lygmeniu, galima teigti, kad *cexio* keitykloje 1 proc. išaugus arbitražo sumai per pirmas dvi dienas tai turės stiprią neigiamą įtaką *bitstamp*, o per tris dienas ir *coinfloor* keitykloms, kuriose arbitražo sumos sumažės atitinkamai 5 ir 3 proc. Analogiškai *bitstamp* 1 proc. išaugus arbitražo sumai per pirmas tris dienas tai sąlygos 3 proc. arbitražo sumų sumažėjimą *coinfloor*. Pastebima, kad vidutiniškai reakcija po impulso sugrįžta į pradinę padėtį po 10 dienų, išskyrus *kraken* impulsus *coinfloor* ir *coinfalcon*, kurie normalizuojasi po 15 dienų.

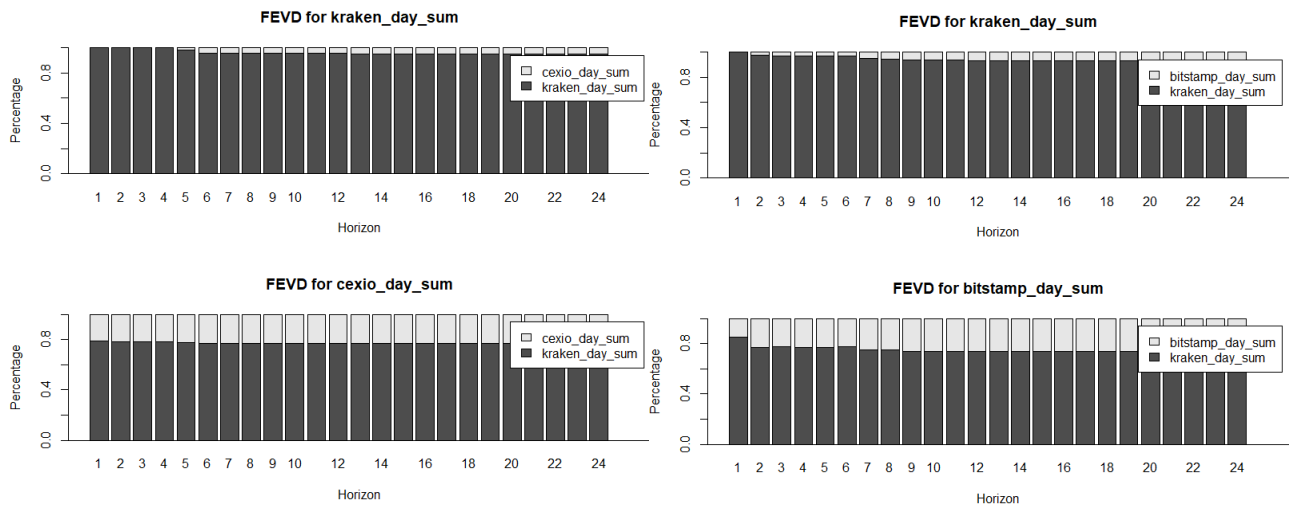


**17 pav.** Keityklos 2 stipriausi IRF impulsai iš *kraken*, *bitstamp* ir *cexio* keityklų



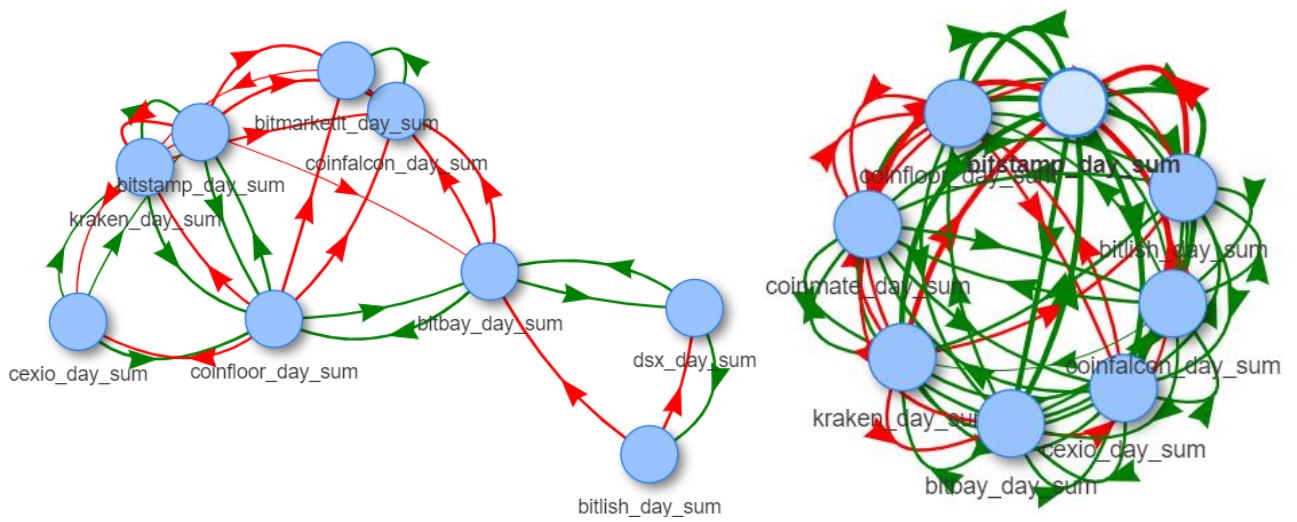
**17 pav.** Keityklos 2 stipriausi IRF impulsai iš *kraken*, *bitstamp* ir *cexio* keityklų (tęsinys)

Atlikus prognozavimo paklaidos dispersijos skaidymo (angl. *forecast error variance decomposition*, toliau – FEVD) analizę, nustatyta, kad vertinant *cexio* ir *bitstamp* keityklų prognozuojamą paklaidos dispersiją ateityje maždaug 80 proc. pokyčio būtų galima paaiškinti remiantis *kraken* duomenimis, tai rodo stiprią *kraken* įtaką (žr. 18 pav.).



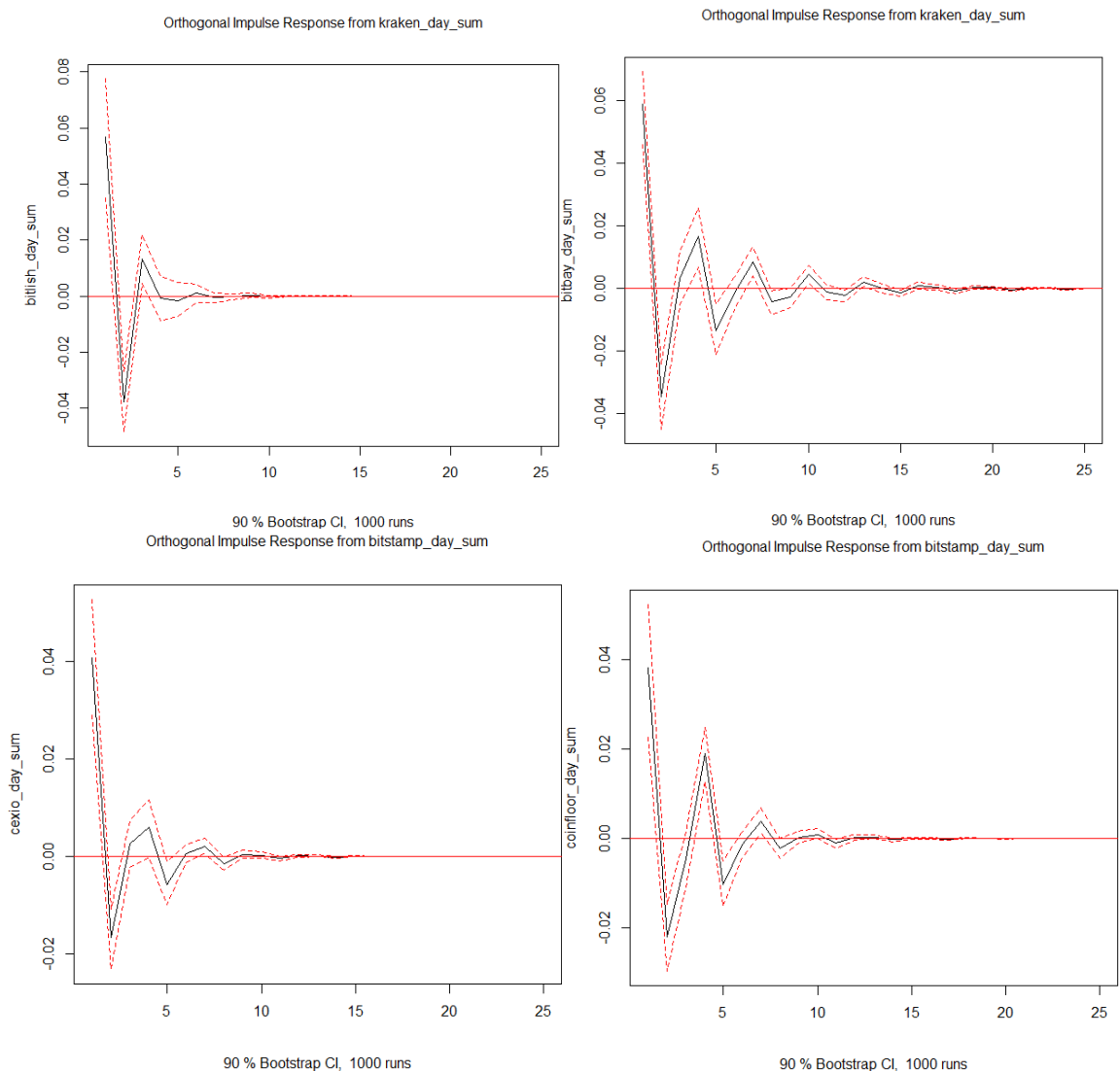
**18 pav.** Keityklos 2 FEVD įtaka bitstamp ir cexio keitykloms kraken atžvilgiu

Grangerio priežastingumo testo analizė papildomai parodė ne tik egzistuojančius ryšius tarp keityklų, bet ir jų teigiamą arba neigiamą įtaką. Pagal išsidėstymą matyti, kad *kraken* glaudžiai susijusi su *bitstamp*, o *bitstamp* daugeliui kitų keityklų siunčia neigiamus signalus. *Cexio* keitykla susijusi tik su *kraken*, *bitstamp* ir *coinfloor*, kurioms siunčia teigiamus signalus, o pati gauna neigiamus signalus iš *bitstamp* ir *coinfloor*. *Coinfalcon* jautriai reaguoja į pasikeitimus kitose biržose ir gauna daug neigiamų signalų, o pati keitykla siunčia teigiamą signalą *bitmarketlt* keityklai. *Bitmarketlt* gauna teigiamą signalą tik iš minėtos *coinfalcon* keityklos ir neigiamus signalus iš *bitstamp*, *coinfloor* ir *bitbay*, pati *bitmarketlt* perduoda neigiamą signalą *kraken* keityklai. *Coinfloor* ir *bitstamp* keityklos siunčia daugiausiai signalų kitoms keitykloms, kurie dažniausiai yra neigiami (žr. 19 pav. kaireje).



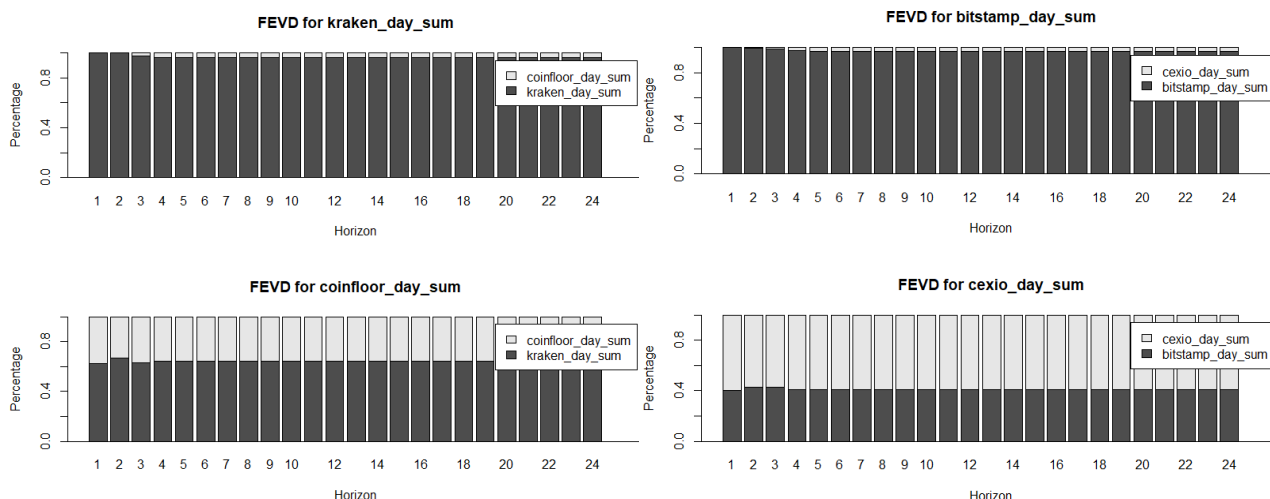
**19 pav.** Kairėje keityklos 2 (interaktyvus grafikas <https://rpubs.com/rasske/620757>), o dešinėje keityklos 1 (interaktyvus grafikas <https://rpubs.com/rasske/621075>) Grangerio priežastingumo testo grafinis įvertinimas

Analizuojant pirmos keityklos duomenis, nustatyta, kad keityklos yra kur kas labiau susijusios ir beveik visos keityklos daro įtaką vienos kitoms (žr. 19 pav. dešinėje). Analogiški rezultatai buvo gauti atlikus ir IRF vertinimą. Svarbiausi impulsai pavaizduoti 20-ame pav.



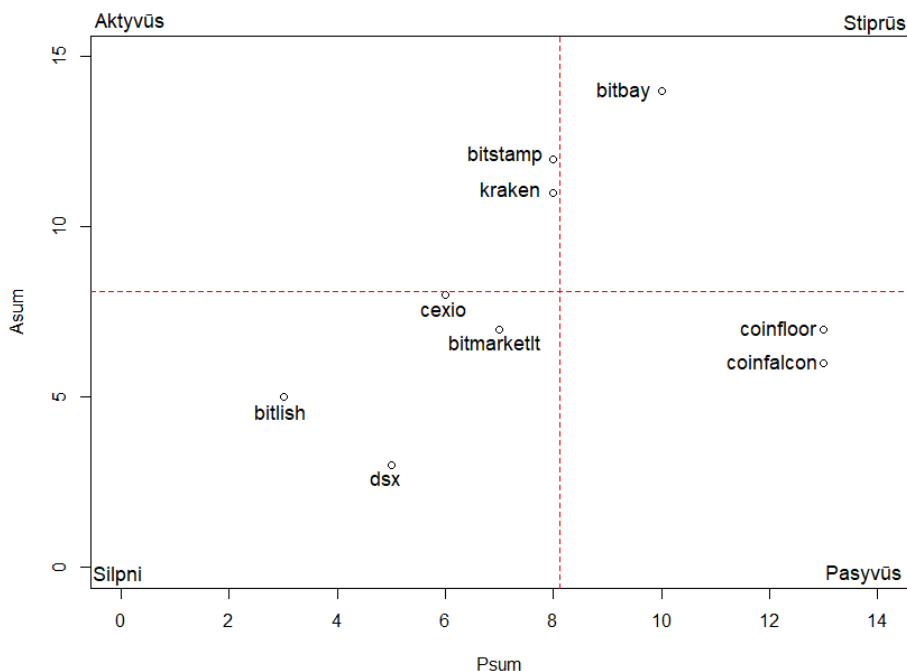
**20 pav.** Keityklos 1 stipriausi IRF impulsai iš kraken ir bitstamp keityklų

Su 90 proc. pasiklovimo lygmeniu, galima teigti, kad *kraken* keitykloje 1 proc. išaugus arbitražo sumai per pirmas dvi dienas tai turės stiprią neigiamą įtaką *bitbay* ir *bitlish*, kuriose arbitražo sumos sumažės atitinkamai ~3,5 proc. Su 90 proc. pasiklovimo lygmeniu, galima teigti, kad *bitstamp* keitykloje 1 proc. išaugus arbitražo sumai per pirmas dvi dienas tai turės neigiamą įtaką *cexio* ir *coinfloor*, kuriose arbitražo sumos sumažės atitinkamai ~2 proc. Atlikus FEVD analizę, nustatyta, kad vertinant *coinfloor* keityklos prognozuojamą paklaidos dispersiją ateityje maždaug 60 proc. pokyčio būtų galima paaiškinti remiantis *kraken* duomenimis, tai rodo stiprią *kraken* įtaką (žr. 21 pav.). Vertinant *cexio* keityklos prognozuojamą paklaidos dispersiją ateityje maždaug 40 proc. pokyčio būtų galima paaiškinti remiantis *bitstamp* duomenimis, tai rodo stiprią *bitstamp* įtaką.



21 pav. Keityklos 1 FEVD kraken ir bitstamp keityklų įtaka coinfloor ir cexio keitykloms

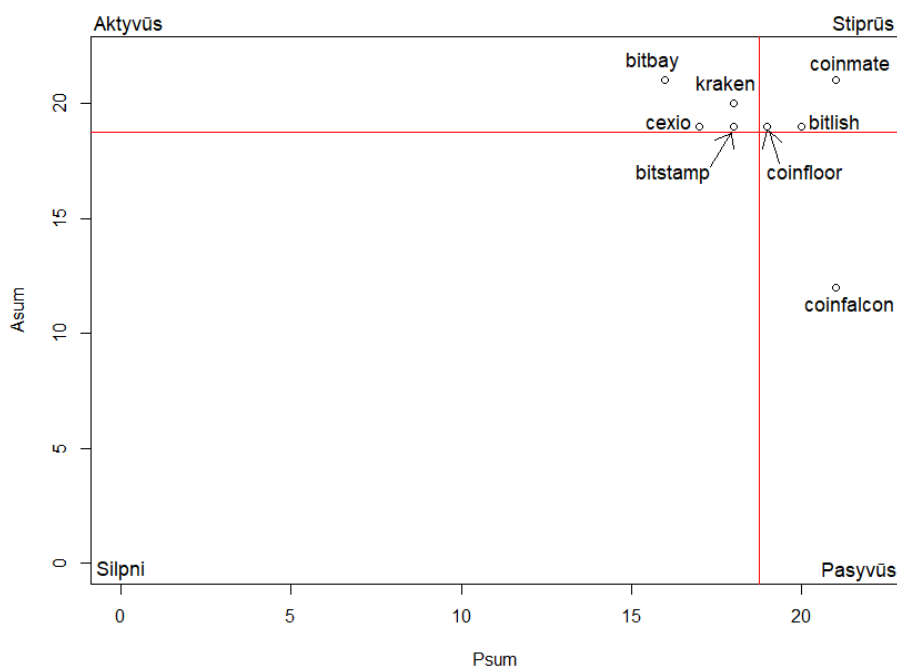
Kryžminio poveikio (angl. *cross-impact*) matricos rezultatai gauti vertinant prieš tai jau analizuotus atsako impulsus. Kiekvienai keityklai priskirtos atitinkamos aktyvumo ir pasyvumo sumos ir pagal tai keityklos suskirstytos į skirtingas keturias aktyvių, pasyvių, stiprių ir silpnų veiksmų grupes. Pirmiausia analizuoti antros keityklos duomenys (žr. 22 pav.).



22 pav. Kryžminio poveikio (angl. *cross-impact*) matricos rezultatai su grupių išskyrimu (keitykla 2)

- **Stiprūs veiksniai** – tai veiksniai turintys kartu didžiausias aktyvumo ir pasyvumo sumas, tai reiškia, kad jie kartu ir daro stiprią įtaką kitiems kintamiesiems, ir yra patys stipriai nuo jų priklausomi. Analizuojamu atveju, galima daryti apibendrinančią išvadą, kad *bitbay* yra stiprią įtaką daranti keitykla. Ši keitykla turėjo aukščiausią aktyvumo reikšmę (toliau – Asum), kuri yra didesnė už pasyvumo reikšmę (toliau – Psum).
- **Aktyvūs veiksniai** – tai veiksniai turintys aukštesnę aktyvumo ir žemesnę pasyvumo sumas, jie labiau veikia kitus veiksnius, negu patys yra veikiami. Šiai grupei priskiriama *bitstamp* ir *kraken*. Reikia pastebėti, kad keityklos yra beveik ant ašies skiriančios aktyvius / stiprius veiksnius. Panaši situacija ir su *cexio* keitykla, kuri patenka ant ašies tarp silpnų ir aktyvių veiksmių, todėl jos poveikio nereikėtų nuvertinti, nors rezultate ir yra priskiriama silpnai grupei.
- **Pasyvūs veiksniai** – tai veiksniai mažiau veikiantys kitus, tačiau patys priklausomi nuo kitų veiksmių. Šiuo atveju *coinfloor* ir *coinfalcon* keityklos išskiriamos, kaip silpniau veikiančios kitas keityklas nei pačios veikiamos jų.
- **Silpni veiksniai** – tai veiksniai su žemiausiomis aktyvumo ir pasyvumo sumomis. Jie daro mažiausią įtaką kitiems veiksmiams bei patys mažiau yra nuo jų priklausomi. Šiuo konkrečiu atveju tai būtų *bitlish* ir *dsx* keityklos, kurios yra silpnai priklausančios nuo kitų. *Bitmarketlt* turi aukštesnę aktyvumo sumą nei *dsx* ir *bitlish*, tačiau jos pasyvumo suma visgi aukštesnė, todėl ji labiau yra veikiamas kitų keityklų nei pati jas veikianti.

Vertinant pirmos keityklos duomenis, pastebima, kad kaip ir anksčiau atlikta analizė parodė veiksniai yra stipriai susiję ir jų aktyvumo / pasyvumo sumos yra panašios (žr. 23 pav.). Vis dėlto, išskiriant grupes *bitbay*, *kraken*, *bitstamp* ir *cexio* priklausytų aktyviai – svarbiausiai grupei, kuri parodo, kad šios keityklos labiau veikia kitas nei yra jų veikiamos. Stipriai grupei, turinčiai aukštesnes pasyvumo ir aktyvumo sumas priskiriama *coinmate*, *bitlish* ir *coinfloor*. Šios keityklos yra veikiamos stipresnę įtaką turinčių keityklų, bet ir siunčia signalus kitoms. *Coinfalcon* keitykla išskirta, kaip pasyvi, kuri yra veikiamas kitų keityklų.



23 pav. Kryžminio poveikio (angl. cross-impact) matricos rezultatai su grupių išskyrimu (keitykla 1)

Apibendrinant rezultatus, galima daryti išvadą, kad *kraken* daro stipriausią neigiamą įtaką daugiausiai keityklų vertinant IRF reikšmes bei pagal FEDV jos poveikis atsispindi *bitstamp* ir *cexio* biržose. Grangerio priežastingumo analizė rodo, kad *kraken* ir *bitstamp* veikia viena kitą ir *bitstamp* daro įtaką dar keturių keityklų duomenims. Pagal IRF reikšmes *cexio* turi neigiamą įtaką *bitstamp* ir *coinfloor* arbitražams, o Grangerio priežastingumo testas parodė, kad tarp *cexio* ir *bitstamp* bei *cexio* ir *coinfloor* egzistuoja abipusis ryšys. *Bitbay* veikia kaip tarpininkas tarp *bitlish* ir *dsx* keityklų su likusiomis keityklomis, pagal IRF reikšmę *bitbay* duoda staigų neigiamą poveikį *coinfloor* arbitražo sumai. Grangerio priežastingumo testo rezultatai rodo, kad *bitbay*, kaip ir *coinfloor*, tiek siunčia, tiek gauna signalus, o *bitmarketlt* ir *coinfalcon* dažniausiai tik gauna signalus iš kitų keityklų. Vertinant pirmos keityklos, duomenis, pastebima, kad keityklos yra stipriai susijusios vienos su kitomis.

### 3.4. Tinklinės analizės rezultatai

Sudarius 455 matricas, įvertinus grafus ir egzistuojančius ryšius tarp skirtingų keityklų, nustatyta, kiek kiekvieną dieną buvo aktyvi sistema ir kurios keityklos buvo aktyviausios. Kaip aprašyta tyrimo metodikoje, aktyviausių keityklų IN ir OUT reikšmių atžvilgiu analizė parodytų, kuriose keityklose dažniausiai galima parduoti ir kuriose dažniausiai atsiranda palanki galimybė pirkti bitkoiną. Tuomet, atsiradus progai pelningai parduoti bitkoiną konkrečioje keitykloje, galima įvertinti, kokios kitos keityklos ta proga pasinaudoja, t. y. kur vartotojai turi įsigiję kriptovaliutos, kad galėtų ją tuo momentu parduoti. Jeigu tikimasi, kad atsiras galimybė parduoti konkrečioje keitykloje, tokiu atveju galima iširti, kuriose keityklose naudingiausia turėti nusipirkus bitkoino kriptovaliutos, kad būtų galima sėkmingai pasinaudoti atsiradusia galimybe.

Tarpiškumo koeficientas irgi yra labai svarbus vertinant keityklas „tarpininkes“. Aukštos jo reikšmės rodo, kurios keityklos pagrinde paskirsto informacijos srautus. Matyti, kad 2019 m. pagrindinė keitykla, per kurią pereidavo didžiausi informacijos srautai, buvo *coindeal*, o nuo 2019 m. pabaigos šią poziciją perėmė *dsx* (žr. 11 lentelė).

**11 lentelė.** Tarpiškumo koeficientų mėn. vidurkių reikšmės nuo 2019 sausio iki 2020 m. balandžio mėn.

Data	Kraken	Coindeal	Coinfalcon	Exmo	Bitmarketlt	Bitstamp	Cexio	Bitlish	Bitbay	Dsx	Coinfloor
2019-01-01	2,45	7,81	2,27	2,43	3,55	1,46	0,00	0,27	1,07	2,21	0,05
2019-02-01	1,20	6,33	2,87	0,00	3,09	0,93	0,00	2,09	0,27	4,10	0,42
2019-03-01	0,60	3,99	3,09	8,52	1,33	0,61	0,00	4,82	1,90	6,41	0,24
2019-04-01	1,73	9,45	3,56	1,00	4,75	4,01	0,01	4,12	1,48	2,51	0,09
2019-05-01	1,56	18,71	4,31	2,78	3,89	8,00	0,00	3,63	1,27	2,49	0,62
2019-06-01	1,71	9,41	6,28	3,40	2,97	2,08	0,00	4,93	1,44	2,07	0,42
2019-07-01	1,88	15,61	10,74	5,48	3,64	6,37	0,00	4,69	4,22	4,10	2,07
2019-08-01	1,33	24,47	10,18	3,47	1,76	3,80	0,08	2,63	1,78	4,99	0,52
2019-09-01	2,24	25,82	4,79	2,32	3,15	5,67	4,02	3,81	1,74	5,82	1,44
2019-10-01	1,52	24,45	2,62	0,52	0,96	0,89	0,56	0,62	0,44	25,97	1,16
2019-11-01	2,01	13,24	6,33	2,27	1,04	0,98	0,56	1,19	0,85	34,83	0,35
2019-12-01	1,63	0,00	15,12	2,31	0,00	2,56	0,77	3,60	2,59	33,47	0,04
2020-01-01	2,39	0,00	6,13	1,66	0,00	1,85	1,44	3,40	0,90	22,77	0,35
2020-02-01	2,18	0,00	7,55	0,63	0,00	2,63	0,60	3,08	0,08	39,17	0,14
2020-03-01	1,63	0,00	3,61	0,68	0,00	0,03	0,43	1,30	0,00	20,08	0,10

Vertinant gaunamus signalus buvo apskaičiuotos vidutinės kiekvieno mėnesio IN reikšmės, kurios rodo, kiek konkrečioje keitykloje buvo galima pelningai parduoti. Analizuojant konkretų *bitmarketlt* pavyzdį matyti, kad 2019 m. liepos mėn. IN reikšmė buvo didžiausia ir siekė 9,87, tai rodo, kad vidutiniškai tą mėnesį įsigijus 10 keityklų, t. y. beveik visose analizuojamose keityklose, bitkoino ji

pelningi būtų buvę galima parduoti *bitmarketlt*. Dažniausiai didžiausios IN reikšmės buvo *bitmarketlt*, *coindeal*, *coinfalcon*, *exmo*, *cexio*, *bitbay* ir *bitlish* keityklose (žr. 12 lentelė).

**12 lentelė.** Keityklos 2 IN reikšmės

Data	Kraken	Coindeal	Coinfalcon	Exmo	Bitmarketlt	Bitstamp	Cexio	Bitlish	Bitbay	Dsx	Coinfloor
2019-01-01	2,35	3,71	2,77	7,74	6,16	1,81	7,19	2,10	2,16	0,84	1,35
2019-02-01	2,58	2,77	2,73	8,00	6,08	2,27	3,58	1,65	1,42	0,88	0,92
2019-03-01	2,62	1,31	4,12	8,50	5,96	3,04	3,35	3,08	5,19	1,50	1,27
2019-04-01	4,81	3,65	6,23	1,38	8,31	4,00	6,73	6,81	4,73	2,73	1,04
2019-05-01	5,15	8,52	6,96	3,48	8,15	4,89	6,59	6,00	4,93	2,81	1,63
2019-06-01	3,70	6,53	5,97	7,73	7,47	3,37	4,00	3,83	4,90	1,00	1,10
2019-07-01	4,37	9,10	8,33	8,00	9,87	2,70	8,17	7,30	7,00	2,37	2,53
2019-08-01	2,60	8,00	8,13	5,03	8,17	1,90	5,50	5,03	4,13	1,37	2,00
2019-09-01	2,88	6,96	4,46	4,04	7,69	1,85	5,19	4,35	5,62	2,00	1,96
2019-10-01	2,40	7,16	3,40	1,80	4,32	2,04	4,56	3,00	3,88	4,96	1,64
2019-11-01	2,13	8,22	4,30	2,96	1,09	1,17	5,22	2,48	4,22	7,43	1,04
2019-12-01	2,06	4,00	7,71	2,68	0,00	1,00	5,10	3,65	7,90	5,77	0,77
2020-01-01	2,71	5,58	6,03	1,71	0,00	1,52	3,48	3,58	4,71	3,81	1,23
2020-02-01	1,72	4,97	5,45	1,10	0,00	1,14	2,48	3,72	3,72	7,03	0,97
2020-03-01	1,77	5,20	3,67	3,20	0,00	1,57	3,03	2,00	6,80	5,97	0,90

Vidutinės kiekvieno mėnesio OUT reikšmės rodo, kokiam skaičiui kitų keityklų buvo galima parduoti įsigijus bitkoino konkrečioje keitykloje. Analizuojant *dsx* pavyzdį nustatyta, kad 2019 m. liepos mėn. OUT reikšmė buvo didžiausia ir siekė 10,47, tai rodo, kad *dsx* keitykloje gera kaina įsigijus bitkoino, tą mėnesį vidutiniškai buvo galima pelningai parduoti dešimčiai kitų keityklų, t. y. beveik visose analizuojamose keityklose. Dažniausiai didžiausios OUT reikšmės buvo *dsx*, *bitstamp*, *kraken*, *coindeal*, *coinfloor* ir *coinfalcon* keityklose (žr. 13 lentelė).

**13 lentelė.** Keityklos 2 OUT reikšmės

Data	Kraken	Coindeal	Coinfalcon	Exmo	Bitmarketlt	Bitstamp	Cexio	Bitlish	Bitbay	Dsx	Coinfloor
2019-01-01	5,03	4,58	4,58	0,68	2,52	4,06	0,00	2,29	3,61	6,10	3,19
2019-02-01	3,42	3,85	3,46	0,00	2,00	2,73	0,00	4,23	1,96	5,54	4,04
2019-03-01	3,69	5,77	3,15	2,15	1,35	3,31	0,04	3,92	1,88	8,92	2,81
2019-04-01	5,15	6,31	4,42	4,08	2,65	6,92	0,15	3,23	4,38	8,31	4,96
2019-05-01	5,85	7,15	5,07	5,59	4,22	6,93	0,00	5,26	4,26	7,93	6,52
2019-06-01	6,23	5,10	6,07	2,93	3,30	3,90	0,00	6,10	2,73	8,73	4,73
2019-07-01	8,23	6,43	7,90	5,63	3,67	7,60	0,00	5,80	5,47	10,47	6,63
2019-08-01	5,87	5,07	4,83	3,70	2,50	5,90	0,50	4,07	3,83	9,23	3,93
2019-09-01	4,81	4,88	4,38	3,62	1,50	5,19	1,88	2,77	2,08	8,46	4,19
2019-10-01	4,56	5,64	2,92	3,00	1,52	3,20	1,08	2,40	0,92	7,60	4,88
2019-11-01	5,00	2,22	4,22	3,39	2,70	5,13	1,39	2,83	0,96	6,57	3,09
2019-12-01	6,06	0,00	4,03	4,16	1,16	6,06	1,97	2,94	1,16	7,29	1,68
2020-01-01	4,03	0,00	2,39	3,87	1,32	5,03	1,55	2,52	1,26	7,29	2,52
2020-02-01	4,24	0,00	2,76	3,79	1,93	3,14	1,41	2,97	0,34	6,24	2,69
2020-03-01	6,20	0,00	4,57	3,57	2,20	0,70	1,63	4,80	0,00	6,73	4,27

Išanalizavus IN ir OUT reikšmes, pastebima, kad jos nepastoviai kito visu laikotarpiu, todėl sunku vertinti rinkos lyderes (grafiskai atvaizduotas IN ir OUT reikšmių kitimas žr. 9 priedas). Taip pat 10–20 prieduose viršutiniuose grafikuose pateikiama atvaizduotos IN ir OUT koeficientų kitimo reikšmės pagal kiekvieną keityklą, o apatiniuose grafikuose IN-OUT skirtumo nurodytai keityklai indekso kitimas laike. Norint išsiaiškinti centrines keityklas, kuriose dažniausiai yra perkamas ir parduodamas bitkoinas, buvo apskaičiuojamas bendras mėnesio indeksas iš IN (kiek kartų buvo galima pelningai parduoti bitkoiną atitinkamoje keitykloje) atėmus OUT (kiek kartų buvo galima pelningai įsigyti bitkoino atitinkamoje keitykloje) reikšmę. Mėnesinės indekso reikšmės pateiktos 14-oje lentelėje. Pastebima, kad *dsx* dažniausiai turėjo didžiausią neigiamą reikšmę, kas reiškia, kad analizuojamu laikotarpiu ji daugeliu atveju užėmė „keityklos pirkėjos“ poziciją. Kiek mažesnės neigiamos reikšmės buvo *kraken*, *bitstamp* ir *coinfloor* biržose, tai rodo, kad daugeliu atveju šiose



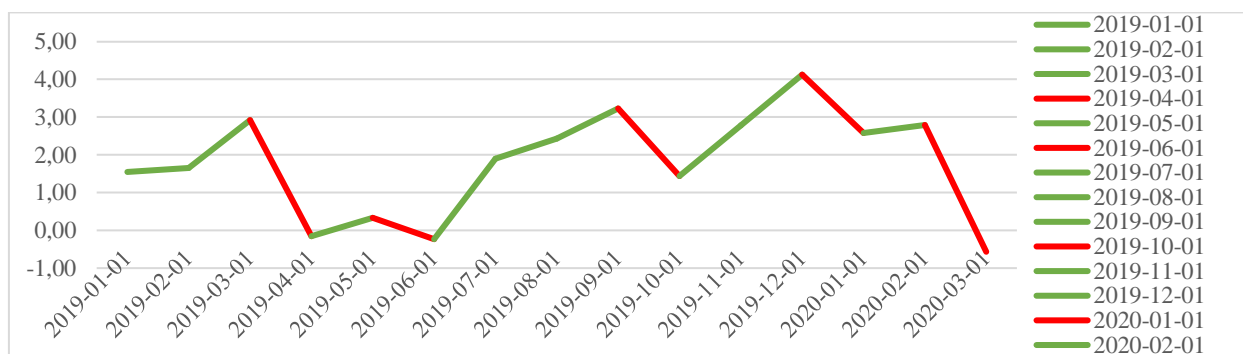
biržose būdavo galima sėkmingai įsigyti bitkoino, bet ne atvirkščiai. *Cexio*, ypač 2019 m. pirmoje pusėje, ir *bitbay*, ypač nuo 2019 m. pabaigos iki 2020 m. balandžio, dominavo, kaip „keityklos pardavėjos“, kuriose dažniausiai atsirasdavo pelninga galimybė parduoti.

**14 lentelė.** Keityklos 2 indekso reikšmės apskaičiuotos iš IN atėmus OUT reikšmes

Data	Kraken	Coin-deal	Coin-falcon	Exmo	Bit-marketlt	Bitstamp	Cexio	Bitlish	Bitbay	Dsx	Coin-floor	Suma pagal mėn.
2019-01-01	-2,68	-0,87	-1,81	7,06	3,65	-2,26	7,19	-0,19	-1,45	-5,26	-1,84	1,55
2019-02-01	-0,85	-1,08	-0,73	8,00	4,08	-0,46	3,58	-2,58	-0,54	-4,65	-3,12	1,65
2019-03-01	-1,08	-4,46	0,96	6,35	4,62	-0,27	3,31	-0,85	3,31	-7,42	-1,54	2,92
2019-04-01	-0,35	-2,65	1,81	-2,69	5,65	-2,92	6,58	3,58	0,35	-5,58	-3,92	-0,15
2019-05-01	-0,70	1,37	1,89	-2,11	3,93	-2,04	6,59	0,74	0,67	-5,11	-4,89	0,33
2019-06-01	-2,53	1,43	-0,10	4,80	4,17	-0,53	4,00	-2,27	2,17	-7,73	-3,63	-0,23
2019-07-01	-3,87	2,67	0,43	2,37	6,20	-4,90	8,17	1,50	1,53	-8,10	-4,10	1,90
2019-08-01	-3,27	2,93	3,30	1,33	5,67	-4,00	5,00	0,97	0,30	-7,87	-1,93	2,43
2019-09-01	-1,92	2,08	0,08	0,42	6,19	-3,35	3,31	1,58	3,54	-6,46	-2,23	3,23
2019-10-01	-2,16	1,52	0,48	-1,20	2,80	-1,16	3,48	0,60	2,96	-2,64	-3,24	1,44
2019-11-01	-2,87	6,00	0,09	-0,43	-1,61	-3,96	3,83	-0,35	3,26	0,87	-2,04	2,78
2019-12-01	-4,00	4,00	3,68	-1,48	-1,16	-5,06	3,13	0,71	6,74	-1,52	-0,90	4,13
2020-01-01	-1,32	5,58	3,65	-2,16	-1,32	-3,52	1,94	1,06	3,45	-3,48	-1,29	2,58
2020-02-01	-2,52	4,97	2,69	-2,69	-1,93	-2,00	1,07	0,76	3,38	0,79	-1,72	2,79
2020-03-01	-4,43	5,20	-0,90	-0,37	-2,20	0,87	1,40	-2,80	6,80	-0,77	-3,37	-0,57
Suma pagal keityklas	-34,54	28,6	15,51	17,19	38,72	-35,56	62,56	2,46	36,46	-64,9	-39,7	

Įdomu, kad *coindeal*, *exmo* ir *bitmarketlt* pozicija analizuotu laikotarpiu keitėsi. Jei *exmo* ir *bitmarketlt* 2019 m. pirmoje pusėje dominavo, kaip „keityklos pardavėjos“, tai antroje metų pusėje pozicija pasikeitė į „keityklas pirkėjas“. Priešinga situacija buvo *coindeal*, kai 2019 m. pirmus mėnesius dominavo neigiamos reikšmės, rodančios „keityklos pardavėjos“ poziciją, o likusiu laikotarpiu reikšmės keitėsi į „keityklos pirkėjos“ poziciją. *Bitmarketlt* anksčiau buvusi aktyvi „keitykla pardavėja“ nuo 2019 m. lapkričio pakeitė poziciją į „keityklos pardavėjos“ dėl pristabdytos *bitmarketlt* veiklos, dėl kurios keitykloje nebuvo vykdomi jokie pardavimo sandoriai ir klientai gali nebent tik įsigyti bitkoino.

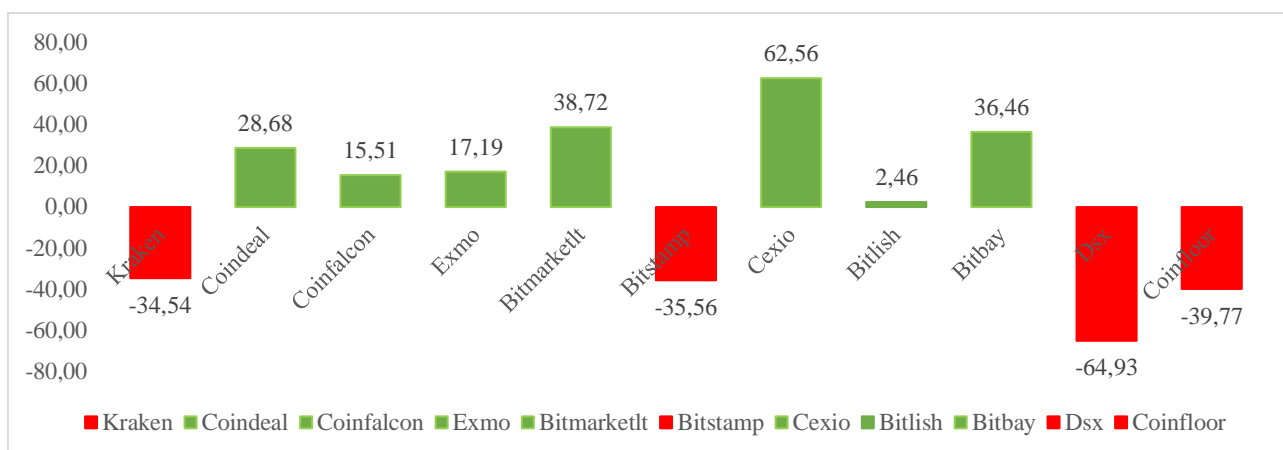
Apibendrinant 14-oje lentelėje pateiktus duomenis grafiškai atvaizduota jų kitimas pagal mėnesius (žr. 24 pav.), nustatyta, kad 2019 m. liepos–rugsėjo mėnesiais indekso reikšmės buvo teigiamos ir augančios, todėl rinkoje egzistavo daugiau pelningų pardavimo sandorių. 2019 m. spalio mėnesį pardavimo indeksas sumažėjo, tačiau lapkričio–gruodžio mėnesiais toliau augo ir 2019 m. pabaigoje pasiekė didžiausią 4,13 sumą. 2020 m. pradžioje indeksas tendencingai mažėjo ir kovo mėnesį buvo neigiamas, tai rodo, kad rinkoje sumažėjo pardavimo sandorių ir dažniau buvo galima įsigyti, o ne parduoti bitkoiną.



**24 pav.** Mėn. indekso reikšmės vertinant keityklų duomenis nuo 2019 sausio iki 2020 m. balandžio mėn.

Grafiškai atvaizduojant 14-os lentelės duomenis pagal keityklas, nustatyta, kad, susumuojant viso laikotarpio reikšmes, *kraken*, *bitstamp*, *dsx* ir *coinfloor* keityklose dominavo neigiamos sumos ir šios

keityklos buvo vertinamos, kaip daugiausiai patrauklių pirkimo sandorių siūlančios keityklos, tačiau jose retai kada atsirasdavo palanki galimybė parduoti (žr. 25 pav.).



25 pav. Indekso suma skirtingoms keitykloms vertinant viso laikotarpio keityklų duomenis

*Dsx* išsiskiria didžiausia neigiama reikšme, nes tik du mėnesius šioje keitykloje indekso reikšmės buvo teigiamos, o kitais mėnesiais neigiamos indekso reikšmės buvo gan didelės, todėl galima išskirti, kad ši keitykla daugiausiai siūlė patrauklių pirkimo galimybių.

Apibendrinat IN ir OUT keityklų duomenis, išryškėja keityklos lyderės. Pagal IN reikšmes matyti, kad *coinfloor* rečiausiai pasitaiko gera galimybė parduoti ir atsiranda vidutiniškai galimybių pirkti, todėl skaičiuojant indeksą iš IN atėmus OUT gaunamos neigiamos sumos visu laikotarpiu. *Dsx* atsirado ypač daug OUT galimybių ir bene mažiausiai IN galimybių, todėl indekso reikšmės yra mažiausios iš visų keityklų. *Coindeal* ir *coinfalcon* dažnai atsiranda galimybė parduoti (IN), tačiau taip pat gan dažnai atsiranda ir galimybė įsigyti (OUT), todėl šių keityklų indeksai reikšmingai neišsiskiria. Atkreipiamas dėmesys, kad *coindeal* nuo 2019 m. gruodžio nebuvo jokių įsigijimo galimybių, todėl indekso reikšmė atrodo gan ženkliai pakilusi. Sugrupavus rezultatus pagal indeksų reikšmes, nustatytos aktyviausios keityklos. Pastebima, kad iki 2019 m. lapkričio mėn., *exmo*, *bitmarkettl* ir *cexio* keityklos buvo pagrindinės „keityklos pardavėjos“, o lapkričio mėn. šią poziciją perėmė *coindeal*, *bitbay* ir *coinfalcon* keityklos (žr. 15 lentelė.).

15 lentelė. „Keityklų pardavėjų“ TOP 3 analizuotu laikotarpiu

Data	TOP 1		TOP 2		TOP 3	
2019-01-01	Exmo	7,06	Cexio	7,19	Bitmarkettl	3,65
2019-02-01	Exmo	8,00	Bitmarkettl	4,08	Cexio	3,58
2019-03-01	Exmo	6,35	Bitmarkettl	4,62	Cexio	3,31
2019-04-01	Cexio	6,58	Bitmarkettl	5,65	Bitlish	3,58
2019-05-01	Cexio	6,59	Bitmarkettl	3,93	Coinfalcon	1,89
2019-06-01	Exmo	4,80	Bitmarkettl	4,17	Cexio	4,00
2019-07-01	Cexio	8,17	Bitmarkettl	6,20	Coindeal	2,67
2019-08-01	Bitmarkettl	5,67	Cexio	5,00	Coinfalcon	3,30
2019-09-01	Bitmarkettl	6,19	Bitbay	3,54	Cexio	3,31
2019-10-01	Cexio	3,48	Bitbay	2,96	Bitmarkettl	2,80
2019-11-01	Coindeal	6,00	Cexio	3,83	Bitbay	3,26
2019-12-01	Bitbay	6,74	Coindeal	4,00	Coinfalcon	3,68
2020-01-01	Coindeal	5,58	Coinfalcon	3,65	Bitbay	3,45
2020-02-01	Coindeal	4,97	Bitbay	3,38	Coinfalcon	2,69
2020-03-01	Bitbay	6,80	Coindeal	5,20	Cexio	1,40

Susumuojant rezultatus, kad labiau išryškėtų mėnesiai turėję daugiausiai IN ir OUT sandorių, nustatyta, kad visu analizuojamu laikotarpiu būdavo vidutiniškai 17 pardavimo sandorių iš vidutiniškai penkių keityklų per mėnesį ir vidutiniškai 15 pirkimo sandorių iš vidutiniškai šešių keityklų per mėnesį. Daugiausiai aktyvių „keityklų pardavėjų“ buvo liepos, rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiai, kai septynios keityklos turėjo teigiamą indekso reikšmę ir buvo užėmusios „keityklų pardavėjų“ poziciją. 2019 m. sausio ir vasario mėn. bei 2020 m. kovo mėn. daugiau buvo keityklų užimančių „keityklų pirkėjų“ poziciją su neigiamomis indeksų reikšmėmis (žr. 16 lentelė).

**16 lentelė.** Keityklų IN ir OUT reikšmių sumos ir kiekiai analizuotu laikotarpiu

Data	Keityklų IN		Keityklų OUT		Data	Keityklų IN		Keityklų OUT	
	Suma	Kiekis	Suma	Kiekis		Suma	Kiekis	Suma	Kiekis
2019-01-01	17,90	3	-16,35	8	2019-09-01	17,19	7	-13,96	4
2019-02-01	15,65	3	-14,00	8	2019-10-01	11,84	6	-10,40	5
2019-03-01	18,54	5	-15,62	6	2019-11-01	14,04	5	-11,26	6
2019-04-01	17,96	5	-18,12	6	2019-12-01	18,26	5	-14,13	6
2019-05-01	15,19	6	-14,85	5	2020-01-01	15,68	5	-13,10	6
2019-06-01	16,57	5	-16,80	6	2020-02-01	13,66	6	-10,86	5
2019-07-01	22,87	7	-20,97	4	2020-03-01	14,27	4	-14,83	7
2019-08-01	19,50	7	-17,07	4					

Vertinant tas pačias 11-ą keityklų pastebėta, kad išaugus IN reikšmėms sumažėja OUT reikšmių ir atvirkščiai, kadangi vertinamos pirmos ir antros keityklos poros, tai logiška, kad atsirandant patraukliai progai parduoti, atsiranda ir daugiau progų pirkti. Vertinant IN ir OUT sumų modulius, pastebima, kad kai kuriais mėnesiais skirtumas yra didesnis, tai rodo, kad egzistuoja daugiau palankių galimybių parduoti nei įsigyti, pvz., 2019 m. kovas (modulių skirtumas 2,92), 2019 m. rugsėjis (modulių skirtumas 3,23), 2019 m. gruodis (modulių skirtumas 4,13) arba priešingai, kai egzistuoja daugiau pirkimo galimybių, kaip 2019 m. balandžio (modulių skirtumas -0,15), 2019 m. birželio (modulių skirtumas -0,23), 2020 m. kovo (modulių skirtumas -0,57) mėnesiai.

Tinklinės analizės rezultatai rodo, kad 2019 m. liepos, rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiai buvo aktyviausi pelningų pardavimo galimybių atžvilgiu. Keityklos, kuriose buvo galima pelningai įsigyti bei parduoti bitkoiną, skirtingais mėnesiais keitėsi, tačiau *dsx*, *kraken* ir *bitstamp* keityklose dažniausiai atsirasdavo patraukliausios galimybės įsigyti bitkoino, o *cexio*, *bitmarketlt* ir *coindeal* daugeliu atveju atsirasdavo palankios galimybės parduoti bitkoiną. Įvertinus keityklas lyderes skirtingais laikotarpiais, nustatyta, kad iki 2019 m. lapkričio mėn. *exmo*, *bitmarketlt* ir *cexio* keityklos buvo pagrindinės „keityklos pardavėjos“, o lapkričio mėn. šią poziciją perėmė *coindeal*, *bitbay* ir *coinfalcon* keityklos.

### 3.5. Tarpusavio ryšių ir tinklinės analizės tyrimų rezultatų palyginimas ir interpretavimas

Atlikus tarpusavio ryšių bei tinklinę analizę toliau lyginami jų rezultatai ir pateikiamos apibendrinančios išvados palyginant su mokslininkų tyrimų rezultatais.

17-oje lentelėje žalia spalva pažymėtos aktyvios, o raudona spalva pasyvios keityklos. Susumuojant tarpusavio ryšių tyrimo rezultatus, galima daryti išvadą, kad *kraken* keitykla siunčia stiprų signalą keitykloms, tačiau ir pati gauna neigiamą impulsą iš *bitstamp*. *Bitstamp* gavusi impulsą iš *kraken* veikia kitas keityklas. *Coinfloor* pasižymi kaip stipriai kitų veikiama keitykla, kuri gauna teigiamus signalus ir pati perduoda neigiamą signalą *coinfalcon* keityklai. *Dsx*, *cexio* ir *bitlish* keityklos niekuo neišsiskiria, nes ryšys tarp jų ir kitų keityklų yra silpnas. Kryžminio poveikio matricos rezultatai rodo,

kad *cexio* keitykla yra silpnų / aktyvių veiksmų grupėje, visgi labiau priskiriama silpniems, nes aktyvumo reikšmė nėra didelė, tačiau šiai keityklai kitos keityklos nedaro įtakos, todėl suprantama, kodėl ji gali būti vertinama ir kaip aktyvi, daranti stipresnę įtaką nei gaunanti. *Coinfalcon* ir *coinfloor* gauna atitinkamai neigiamus ir teigiamus signalus ir yra priskiriamos pasyviai, stipriai veikiamai, grupei. Kaip tyrimas parodė, *coinfloor* keityklai esminę įtaką daro *bitstamp*. *Bitbay* veikia, kaip keitykla tarpininkė tarp *dsx* ir kitų keityklų. *Coideal* ir *exmo* keityklos dėl silpnų koreliacijų su kitomis buvo pašalintos iš tolimesnio tarpusavio ryšių tyrimo.

**17 lentelė.** Keityklų tarpusavio ryšių tyrimo apibendrinti rezultatai

Įkūrimo metai	Šalis	Keityklos	IRF signalo kryptis arba stiprumas				FEVD įtaka	Grangerio priež. testo signalų kryptis				Kryžminio poveikio matrica
			Gaunamas	Siunčiamas	Abipusis	Stiprus		Keityklų sk.	Gauna		Siunčia	
							+	-	+	-		
2011	JAV	kraken		2	1	● 3	● 3	0	1	● 2	0	● Aktyvus
2013	JK	coinfloor	4	1		0	● 4	0	0	1	● Pasyvus	
2011	JK	bitstamp	0	● 2	1	1	1	0	1	● 2	● Aktyvus	
2014	PL	bitbay		● 2	1	1	1	0	1	● 2	● Stiprus	
2013	JK	cexio	0	1	0	1	1	0	0	1	0	Silpnas / Aktyvus
2017	JK	coinfalcon	4	1	1	0	0	● 5	1	0	● Pasyvus	
2015	JK	bitlish	0	1	0	0	0	0	1	0	Silpnas	
2014	LT	bitmarketlt	0	0	1	0	0	1	0	0	1	Silpnas
2014	JK	dsx	-	-	-	-	-	1	1	1	0	Silpnas
2018	MT	coideal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2013	JK	exmo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Pateikiant išvadas iš tinklinės analizės rezultatų, galima teigti, kad, kaip ir tiriant tarpusavio ryšius, taip ir tinklinėje analizėje egzistuoja keturios pagrindinės grupės.

1. Grupė – aktyvios keityklos turinčios dideles IN ir OUT sumas, tačiau aktyvesnės IN. Priskiriama: *coideal*, *coinfalcon*, *exmo*, *bitbay*;
2. Grupė – keityklos, kurios vidutiniškai aktyvios tiek atliekant IN, tiek OUT sandorius; Priskiriama: *bitlish*;
3. Grupė – keityklos, kurios aktyvios tik atliekant IN sandorius; Priskiriama: *bitmarketlt*, *cexio*;
4. Grupė – keityklos, kurios aktyvios tik atliekant OUT sandoriui. Priskiriama: *kraken*, *bitstamp*, *dsx*, *coinfloor*.

Tinklinės analizės rezultatai pateikiami 18-oje lentelėje, kurioje žalia spalva pažymėtos pagrindinės „keityklos pardavėjos“, raudona spalva „keityklos pirkėjos“, o mėlyna spalva „keityklos tarpininkės“. Daugiau pardavimo IN sandorių atliko *coideal*, *coinfalcon* bei *cexio* keityklos, pirkimo OUT sandorių *dsx*, *kraken* ir *bitstamp* keityklos. Pagal apskaičiuoto indekso reikšmę, tik *cexio* iš prieš tai minėtų keityklų išliko kaip pagrindinė „keitykla pardavėja“ ir išryškėjo prieš tai nepasižymėjusios *bitmarketlt* ir *bitbay* keityklos. *Dsx* ir *bitstamp* išlaikė „keityklų pirkėjų“ statusą ir prie jų prisidėjo anksčiau nepaminėta *coinfloor*. Galiausiai, susumuojant reikšmes pagal tai, kiek kartų jos užėmė pirmas tris pozicijas tarp visų keityklų, nustatyta, kad *cexio*, *bitmarketlt* ir *bitbay* buvo pagrindinės „keityklos pardavėjos“, o *dsx*, *bitstamp* ir *coinfloor* pagrindinės „keityklos pirkėjos“.

**18 lentelė.** Keityklų IN ir OUT reikšmių apibendrinti rezultatai išskiriant pagrindines keityklas

Įkūrimo metai	Šalis	Keityklos	IN	OUT	IN-OUT	Pardavėjai			Pirkėjai			Pardavėjai (TOP suma)	Pirkėjai (TOP suma)
						TOP 1	TOP 2	TOP 3	TOP 1	TOP 2	TOP 3		
2011	JAV	Kraken	44	78	-35	-	-	-	1	4	2	0	7
2013	JK	Coinfloor	20	60	-40	-	-	-	1	5	4	0	10
2011	JK	Bitstamp	34	70	-36	-	-	-	3	3	4	0	10
2014	PL	Bitbay	71	35	36	2	3	2	-	-	-	7	0
2013	JK	Cexio	74	12	63	4	3	5	-	-	-	12	0
2017	JK	Coinfalcon	80	65	16	-	1	4	-	-	-	5	0
2015	JK	Bitlish	59	56	2	-	-	1	-	-	3	1	3
2014	LT	Bitmarketlt	73	35	39	2	6	2	-	-	-	10	0
2014	JK	Dsx	50	115	-65	-	-	-	9	2	1	0	12
2018	MT	Coindeal	86	57	29	3	2	1	-	1	-	6	1
2013	JK	Exmo	67	50	17	4	-	-	1	-	1	4	2

Apibendrinant atlikto tyrimo rezultatus, galima teigti, kad Jungtinėse Amerikos Valstijose (toliau – JAV) esanti *kraken* ir Jungtinėje Karalystėje (toliau – JK) esanti *bitstamp* yra pagrindinės keityklos, darančios stipriausią įtaką kitoms. Vertinant pagal šalis galima daryti išvadą, kad JAV diktuoja sąlygas, nes *kraken* keitykla siunčia signalus JK keitykloms *coinfloor*, *coinfalcon* ir *bitstamp*. *Kraken* ir *bitstamp* keityklos glaudžiai susijusios, *kraken* siunčia teigiamą signalą *bitstamp*, o iš pastarosios *kraken* gauna neigiamą signalą, tačiau FEVD analizė parodė, kad *bitstamp* pasikeitimas gali būti paaiškinamas *kraken* pokyčiu, todėl *kraken* išskiriama, kaip stipresnę įtaką daranti keitykla. Tiek *kraken*, tiek *bitstamp* keityklose dažniausiai pasitaiko palankios galimybės pirkti bitkoiną, nei kad jį parduoti.

Matyti, kad iš analizuojamų keityklų dauguma yra JK keityklos. JK rinkoje išsiskiria, kaip aktyviai užsiimanti kriptovaliutų veikla, kaip buvo pastebėta anksčiau, Anglijos bankas vienas iš pirmųjų susidomėjo nuosavos virtualios valiutos išleidimu. Vienos didžiausių keityklų JK yra *dsx*, *bitstamp* ir *exmo* keityklos, tačiau keityklos dydis nebūtinai parodo, kad ji yra pagrindinė diktuojanti sąlygas kitoms. *Bitstamp* yra viena seniausiai įkurtų keityklų ir, kaip tyrimo rezultatai atskleidė, ji daro svarbią įtaką kitoms keitykloms. Jei arbitražo galimybės atsiranda šioje keitykloje, tai perduodamas teigiamas signalas *coinfloor* keityklai, kurioje arbitražai taip pat išauga ir neigiami signalai *kraken* ir *coinfalcon* keitykloms, kuriose arbitražo galimybės sumažėja. Dažniausiai šioje keitykloje atsiranda palankios sąlygos įsigyti kriptovaliutos, tačiau šansai pelningai parduoti pasitaiko dvigubai rečiau. Taip pat JK esanti *cexio* keitykla, išskiriama kaip viena aktyviausių „keityklų pardavėjų“, susidarius arbitražo galimybėms ji signalus perduoda *coinfloor*, todėl galima tikėtis, kad ir *coinfloor* atsiras palankių galimybių parduoti. Arbitražo sumos *cexio* keitykloje neišsiskiria kaip labai didelės, tačiau jos egzistuoja visu analizuotu laikotarpiu ir, reikia pastebėti, kad lyginant su kitomis keityklomis, *cexio* dažnai atsiranda palanki proga parduoti ir retai – pirkti. Estijoje esančioje *bitbay* keitykloje dvigubai dažniau atsiranda palankių sąlygos parduoti kriptovaliutą, todėl ji priskiriama prie vienu pagrindinių „keityklų pardavėjų“. Ši keitykla taip pat daro stiprią įtaką kitoms. Jei joje išauga arbitražo galimybės, galima tikėtis, kad tai sąlygos JK esančių keityklų *coinfloor* ir *coinfalcon* arbitražo pokyčius. Pati *bitbay* gauna signalus iš JK esančios *dsx*, todėl galima sakyti, kad yra artimai persipynusi ryšiais su JK keityklomis. *Dsx* keitykla, nors ir viena didžiausių JK, tačiau tarp jos ir kitų keityklų egzistuoja silpna priklausomybė. Tinklinės analizės metodas padėjo nustatyti, kad *dsx* yra keitykla, kurioje dažniausiai gera kaina galima nusipirkti bitkoino. Tarpaiškumo koeficiento reikšmės parodė, kad *dsx* keitykla nuo 2019 m. pabaigos yra viena pagrindinių tarpininkių, tikėtina, kad daugeliu atveju joje investuotojai perka kriptovaliutas, kad galėtų pelningai parduoti. *Coinfloor* yra

stipriai kitų keityklų veikiama keitykla, kurioje dažniausiai atsiranda palanki galimybė pirkti. Tikėtina, kad įtaka nepriklauso nuo šalies, nes keitykla gauna impulsus ir iš Estijos, JK, JAV esančių keityklų. *Coinfalcon* viena vėliausiai įkurtų keityklų, kuri išsiskiria gaunamų neigiamų signalų gausa, kurie siunčiami iš įvairiose skirtingose šalyse esančių keityklų. Keitykla nėra didelė, tačiau joje dažnai pasitaiko palankių galimybių tiek parduoti, tiek pirkti bitkoiną.

Maltoje esančios *coindeal* keityklos dėl silpnų koreliacijų su kitomis keityklomis tarpusavio ryšiai buvo neanalizuojami, tačiau tinklinė analizė parodė, kad lyginant su visomis kitomis keityklomis, *coindeal* dažniausiai pasitaiko palankios pardavimo galimybės, taip pat pagal tarpiskumo koeficientą 2019 m. ji įvardijama, kaip viena centrinių informaciją perduodančių keityklų.

*Exmo* keitykloje pasitaiko tiek palankių galimybių pirkti, tiek parduoti, tačiau galima pastebėti, kad keitykla 4 kartus buvo pirmoje vietoje tarp „keityklų pardavėjų“, tai rodo, kad kartais susidaro palankios sąlygos ir šioje keitykloje atsiranda didžiausios arbitražo sumos, kai kitose keityklose būna sumažėjusios. Lietuvoje esančioje *bitmarketlt* keityklai įtaką daro *coinfalcon* keitykla, kuri perduoda signalus, kuriuos pati gauna iš kitų įvairių keityklų. *Bitmarketlt* dvigubai dažniau pasitaikydavo progos parduoti, nuo 2019 m. lapkričio mėn. įmonė turėjo problemų su tarpininkų veikla, todėl buvo sutrikusios galimybės vykdyti arbitražinę prekybą. *Bitlish* nedaro įtakos kitoms keitykloms, joje pasitaikydavo tiek palankių galimybių pirkti, tiek parduoti, tačiau šiai dienai ši keitykla neegzistuoja.

### 3.6. Rezultatų palyginimais su literatūroje aprašytais panašių tyrimų rezultatais

Lyginant tyrimo rezultatus su mokslininkų atliktų tyrimų rezultatais, reikia pastebėti, kad nebuvo analizuoti tyrimai, tiriantys realius arbitražo duomenis, dėl jų stokos, tačiau egzistuoja daug tyrimų, analizuojančių potencialias arbitražo galimybes, kainos formavimosi bei efektyvumo problemas. Brauneis ir Mestel (2018) tyrimo rezultatai rodo, kad efektyvumas kriptovaliutų rinkoje auga didėjant likvidumui, o Krückeberg ir Scholz (2019) tyrimo rezultatai teigia priešingai. Šiame tyrime, vertinant realius arbitražo duomenis, nustatyta, kad daugeliu atveju likvidžioje rinkoje rečiau pasitaiko arbitražo galimybės (*kraken*, *bitstamp*), tačiau negalima to teigti vienareikšmiškai, nes *coindeal* keitykloje, kuri vertinama, kaip likvidi, dažniausiai pasitaikydavo patrauklios pardavimo galimybės. Makarov ir Schoar (2019) tyrimo rezultatai rodo, kad šalys, nesančios ES arba JAV, jautriau reaguoja į kainos pasikeitimą JAV ir yra pasiruošusios daugiau sumokėti už bitkoiną. Vertinant Europos Sąjungos (toliau –ES) valstybių keityklų duomenis, nustatyta, kad keityklos ES jautriau reaguoja į kainos pasikeitimą JAV (*kraken*), kas sutaptų su mokslininkų išvadamis. Krückeberg ir Scholz (2019), kaip ir Magistris ir Grassi (2019) teigia, kad šalies viduje veikiančios keityklos yra kur kas labiau susijusios vertinant arbitražines galimybes. Tyrimas atlikus naudojant realias arbitražo sumas, susidariusias tarp skirtingų keityklų bei šalių, rodo, kad JK dalis esančių keityklų gauna impulsus iš JAV ir pastebima, kad tarp JK esančių keityklų egzistuoja šiek tiek stipresni ryšiai ir impulsai nei su kitomis Lenkijoje, Lietuvoje ar Maltoje esančiomis keityklomis. Tame pačiame Krückeberg ir Scholz (2019) tyrime teigiama, kad *bitstamp* keitykloje susidaro didžiausias arbitražo galimybės, ką šio tyrimo rezultatai paneigia. Priešingai, *bitstamp* ir *coinfoor* keityklos buvo išskirtos, kaip keityklos, kuriose rečiausiai susidaro arbitražo galimybė pelningai parduoti, šiose keityklose gera kaina, nebent, pasitaikius progai, galima įsigyti bitkoino.

Baur ir Dimpfl (2018) analizė rodo, kad kriptovaliutų, priešingai nei akcijų rinkai, pozityvūs kainos šokai turi stipresnę įtaką išaugančiam kintamumui nei negatyvūs šokai, o Zhang ir kt. (2018a) rezultatai rodo, kad neigiami bitkoino kainos pasikeitimai turi stipresnę įtaką sandorių ir kainos

kintamumui nei teigiami. Baigiamajame projekte išvados siejasi su Baur ir Dimpfl (2018) tyrimo rezultatais, nes buvo nustatyta, kad rinka tampa aktyvesnė kylant bitkoino kainai ir joje atsiranda didesnis nepastovumas dėl ko atsiranda daugiau arbitražo galimybių. Kaip mokslininkai ir pastebėjo, tokie pokyčiai yra priešingi akcijų rinkos pokyčiams, todėl galima teigti, kad kriptovaliutų rinka nėra priklausoma nuo akcijų rinkos. Aharon ir Qadan (2019) rezultatai rodo, kad bitkoinų rinka yra pilnai nepriklausoma nuo tokių išorinių faktorių, kaip akcijų, obligacijų ir prekių rinkos, todėl investuotojai tai gali sėkmingai panaudoti apsidraudimo tikslais. Salisu ir kt. (2019) nustatė, kad makroekonominių veiksnių ir bitkoino kainos kombinacija prognozuojant akcijų kainas, gali padėti padidinti modelio prognozės tikslumą, o Corbet ir kt. (2018) įrodė, kad kriptovaliutos turi potencialą suteikti investuotojams diversifikavimo galimybių ir bitkoino kainomis paremti modeliai gali trumpuoju laikotarpiu prognozuoti akcijų grąžas. Baigiamajame projekte buvo įvertinta COVID-19 pandemijos įtaka bitkoino ir finansų rinkos indeksų pasikeitimui ir nustatyta, kad bitkoino kaina reaguoja į tokius globalius veiksnius, kaip pandemija, tačiau nėra priklausomas nuo finansų rinkos, nes bitkoino kaina pilnai grįžo į prieš pandemiją buvusią kainą per du mėnesius, o finansų rinka tuo metu vis dar buvo stipriai smukusi.

## Išvados

1. Mokslinės literatūros analizė parodė, kad egzistuoja 3 skirtingi raidos etapai – pradinis, kylantis ir augimo. Pastaruoju metu, atsiradus didesniai susidomėjimui kriptovaliutomis, mokslininkai aktyviai analizuoja kainos kintamumo ir efektyvumo problematiką, tiria, kokie veiksniai lemia kainos kitimą laike. Kainos formavimosi problema išsiskiria, kaip viena aktualiausių, dėl atsirandančio poreikio tirti bitkoino, kaip diversifikacijai naudojamo instrumento, galimybes. Kainos neefektyvumas sukuria kriptovaliutų rinkoje unikalias arbitražo galimybes, kurių tyrimas gali padėti ateityje instituciniams investuotojams, fondų valdytojams, įstatymų leidėjams, prognozuoti pokyčius kriptovaliutų rinkoje. Rinkos formuotojo vaidmuo literatūroje rečiau aptiriamas dėl kriptovaliutų rinkos jaunumo ir unikalumo, tačiau keli tyrimai identifikuoja rinkos formuotojų elgseną ir apibūdina rinkos formuotojo vaidmens skirtumus įprastoje finansų ir kriptovaliutų rinkose. Literatūroje naudojami įvairūs metodai bitkoino arbitražo galimybių tyrimui, tarpusavio ryšių tyrimui mokslininkai naudoja koreliacijas, priežastingumo testus, atsako funkcijas, dažniausiai naudojamas GARCH metodas ir grupių identifikavimui naudojama tinklinė analizė.
2. Visi mokslininkai, analizavę arbitražą, vertino potencialas arbitražo sumas, apskaičiuotas pagal jų pasirinktas skirtingas metodikas. Šio tyrimo unikalumas išsiskiria dėl vertinamų realių arbitražo galimybių, analizuojant konkrečios įmonės, vykdančios arbitražinę prekybą, duomenis. Atlikus keityklų aprašomosios keityklos analizę, papildomai buvo įvertinta informacija apie keityklas, jų likvidumą ir tarptautinį pripažinimą. Tai padėjo geriau įvertinti rinką bei pasirinkti tinkamiausią tyrimo kryptį, kuri detaliam buvo aprašyta, apibūdinant naudojamus metodus bei jų apskaičiavimo metodiką. Pasirinkta tarpusavio ryšių tyrimo kryptis ir aprašyti ryšių stiprumui įvertinti Grangerio priežastingumo testo, atsako funkcijų, kryžminio–poveikio matricos bei tinklinės analizės metodai.
3. Duomenų rinkinių išsami analizė padėjo išsiaiškinti aktyviausias keityklas, aprašomoji statistika suteikė papildomą informaciją apie reikšmių pasiskirstymą, bitkoino kainos kitimo tyrimas padėjo nustatyti, kad kainai augant didėja arbitražo galimybių skaičius. Finansinių indeksų pokyčio vertinimas parodė, kad neegzistuoja ryšys tarp bitkoino ir finansinių institucijų veiklos. Apibendrinant tarpusavio ryšio analizės rezultatus, galima daryti išvadą, kad analizuojant antros keityklos, kurioje parduodama, duomenų rinkinį, nustatyta, kad *kraken* keitykla daro stipriausią įtaką kitoms keitykloms vertinant atsako funkcijų bei Grangerio priežastingumo testo rezultatus. Grangerio priežastingumo analizė rodo, kad *kraken* ir *bitstamp* yra glaudžiai susijusios ir *bitstamp* gavusi impulsus iš *kraken*, daro reikšmingą įtaką kitoms keitykloms. Vertinant atsako funkcijų reikšmes, *coinfalcon* ir *coinfloor* yra stipriai veikiamos kitų keityklų, tai reiškia, kad jose atsiradus arbitražo galimybėms, *coinfalcon* ir *coinfloor* taip pat susidaro didesni ar mažesni arbitražai. *Bitbay* perduoda informaciją *dsx*, *coinfloor* ir *coinfalcon* keitykloms, o *cexio* perduoda informaciją per *coinfloor*. Silpnai su kitomis keityklomis susijusios yra *bitlish*, *bitmarketlt* ir *dsx*, kuriose susidarę arbitražai neveikia kitų keityklų arbitražo sumų, tačiau ir pačios keityklos negauna impulsų iš kitų. Pirmojo duomenų rinkinio analizė parodė, kad beveik visų keityklų duomenys yra stipriai susiję ir veikia vieni kitus, tai rodo, kad, atsiradus vienose biržose palankiai galimybei pirkti, ji dažniausiai atsiranda ir kitose biržose.
4. Atlikus bitkoino arbitražo galimybių skirtingose keityklose tinklinę analizę, nustatyta, kad 2019 m. liepos, rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiai buvo aktyviausi pelningų pardavimo galimybių atžvilgiu. Keityklos, kuriose buvo galima pelningai įsigyti bei parduoti bitkoiną, skirtingais mėnesiais keitėsi, tačiau *dsx*, *kraken* ir *bitstamp* keityklose daugeliu atveju atsirasdavo patraukliausios



galimybės įsigyti bitkoino, o *cecio*, *bitmarketlt* ir *coindeal* dažniausiai atsirasdavo palankios galimybės parduoti bitkoiną. Įvertinus keityklas lyderes skirtingais laikotarpiais, nustatyta, kad iki 2019 m. lapkričio mėn. *exmo*, *bitmarketlt* ir *cecio* keityklos buvo pagrindinės „keityklos pardavėjos“, o lapkričio mėn. šią poziciją perėmė *coindeal*, *bitbay* ir *coinfalcon* keityklos. Pagal tarpškumo koeficiento sumas, galima teigti, kad 2019 m. pagrindinė keitykla, per kurią pereinavo didžiausi informacijos srautai, buvo *coindeal*, o nuo 2019 m. pabaigos šią poziciją perėmė *dsx*. Bendrai vertinant, aktyviausia „keitykla pardavėja“ buvo *dsx*, o „keitykla pirkėja“ – *coindeal*.

5. Tinklinės analizės rezultatai išsamiai papildė tarpusavio ryšių tyrimo rezultatus, identifikuodami aktyviausias keityklas bei keityklų prekybos specifiką. Tyrimo rezultatai sutapo su Makarov ir Schoar (2019) išvadamis dėl Europos Sąjungoje esančių šalių jautresnio pokyčio į bitkoino kainos pasikeitimą Jungtinėse Amerikos Valstijose dėl *kraken* daromos stiprios įtakos kitoms keitykloms. Jungtinėje Karalystėje esančių keityklų analizė parodė, jog rezultatai sutapo ir su Krückeberg ir Scholz (2019) bei Magistris ir Grassi (2019) teiginiu dėl egzistuojančio stipresnio ryšio tarp šalies viduje veikiančių keityklų. Tyrime buvo nustatyta, kad rinka tampa aktyvesnė kylant bitkoino kainai, joje atsiranda didesnis nepastovumas, dėl ko atsiranda daugiau arbitražo galimybių, tai siejasi su Baur ir Dimpfl (2018) tyrimo rezultatais, pabrėžiančiais, kad tokie pokyčiai kriptovaliutų rinkoje yra priešingi akcijų rinkai, ką patvirtina ir Corbet ir kt. (2018), Aharon ir Qadan (2019), Salisu ir kt. (2019) tyrimai, išskirdami kriptovaliutų panaudojimo diversifikacijai ir apsidraudimo tikslais svarbą.

## Rekomendacijos

Tyrimo rezultatai svarbūs instituciniams investuotojams, fondų valdytojams, įstatymų leidėjams ir visiems, kuriems svarbu geriau pažinti kriptovaliutas bei suprasti jų kainos formavimosi problematiką bei iš to kylančias arbitražo galimybes. Tyrimas pateikia išsamią bitkoino tinklo analizę atliktą naudojantis aukšto dažnio duomenimis, susumuotais dienų intervalais. Analizė suteikia informaciją apie pagrindines keityklas, kuriose dažniausiai atsiranda palanki galimybė įsigyti ir parduoti bitkoiną. Neabejotinai, dažniausiai bitkoino įsigyti geriausia kaina galima *dsx* keitykloje, tačiau papildoma analizė ir eksperto įžvalgos parodė, kad šiuo metu įmonė susiduria su pinigų išgryninimo problemomis, todėl joje, kol nebus sutvarkytos egzistuojančios problemos, pirkti nepatartina. Geriau bitkoino galima įsigyti, dažnai geras kainas siūlančiose patikimose ir likvidžiose *kraken* ir *bitstamp* keityklose. Įsigijus bitkoino, patartina stebėti situaciją *coindeal*, *coinfallon* ir *cexio* keityklose, kuriose daugeliu atveju atsiranda palankios galimybės parduoti. *Cexio* keitykloje dažnai pasitaiko palankios galimybės parduoti kriptovaliutą, tačiau pirkti nepatartina, nes labai tikėtina, kad bus permokėta, nes patrauklios pirkimo kainos pasitaiko rečiausiai. Kadangi buvo analizuojami duomenys nuo 2019 m. sausio iki 2020 m. balandžio mėn., sezoniškumas nebuvo įvertintas, tačiau pastebėta, kad kaina staiga pradėjo kilti 2019 m. gegužės mėn. ir kilimas laikėsi visą vasarą, suteikdamas palankias sąlygas arbitražinei prekybai, todėl patartina stebėti rinką ir pamačius kainos kilimo laikotarpį – pradėti arbitražinę prekybą, nes tuomet būna palankiausias laikas prekiauti. Rinkos stebėjimui patartina vertinti pokyčius *kraken*, *bitstamp* ir *bitbay* keityklose, kurios duoda svarbiausius signalus kitoms keitykloms. Vadovaujantis šio tyrimo ir Baur ir Dimpfl (2018), Corbet ir kt. (2018), Aharon ir Qadan (2019), Salisu ir kt. (2019) tyrimų rezultatais, rekomenduojama, geriau susipažinus su arbitražine prekyba kriptovaliutų rinkoje, išbandyti bitkoino diversifikacijos galimybes akcijų rinkoje, padidinant akcijų kainas prognozuojančių modelių tikslumą.

## Literatūros sąrašas

1. Aharon, D., Qadan, M. (2019). Bitcoin and the day-of-the-week effect. *Finance Research Letters*, 31, 415–424. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.12.004>
2. Al-Yahyaee, K., Mensia, W., Yoonc, S. (2018). Efficiency, multifractality, and the long-memory property of the Bitcoin market: A comparative analysis with stock, currency, and gold markets. *Finance Research Letters*, 27, 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.03.017>
3. Baek, C. Elbeck, M. (2015). Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. *Applied Economics Letters*, 22(1), 30-34, doi:10.1080/13504851.2014.916379
4. Barcilar, M., Bouri, E., Gupta, R. & Roubaud, D. (2017). Can volume predict Bitcoin return and volatility? A quantiles-based approach. *Economic Modelling*, 64, 74-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2017.03.019>
5. Baur, D.G., Dimpfl, T., 2018. Asymmetric volatility in crypto-currencies. *Economics Letters* 173, 148–51. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.10.008>
6. Beneki, C., Koullis, A., Kyriazis, N., Papadamou, S. (2019). Investigating volatility transmission and hedging properties between Bitcoin and Ethereum. *Research in International Business and Finance*, 48, 219–27. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.01.001>
7. Brauneis, A., Mestel, R. (2018). Price discovery of cryptocurrencies: Bitcoin and beyond. *Economics Letters* 165, 58–61. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.02.0010165-1765/>
8. Charfeddine, L., Benlagha, N., Maouchi, Y. (2019). Investigating the dynamic relationship between cryptocurrencies and conventional assets: Implications for financial investors. *Economic Modelling* 85, 198–217. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.05.016>
9. Cheah, E. & Fry, Jo. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economic Letters*, 130, 32-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.029>
10. Chen, Y., Dimitrov, S., Sami, R., Reeves, D., Pennock, D., Hanson, R., Fortnow, L., Gonen, R. (2010). Gaming Prediction Markets: Equilibrium Strategies with a Market Maker. *Algorithmica*. 58: 930–969. DOI 10.1007/s00453-009-9323-2
11. Cheng, Q., Liu, X., Zhu, X. (2019). Cryptocurrency momentum effect: DFA and MF-DFA analysis. *Physica A*, 526, 120847. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.0830378-4371/>
12. Ciaian, P., Rajcaniova, M. & Kancs, D. (2018). Virtual relationship: Short and long-run evidence from BitCoin and altcoin markets. *J. Int. Financ. Markets Inst. Money*, 52, (173-195). <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2017.11.001>
13. Crypto Economy– How Blockchain, Cryptocurrency, and Token-Economy Are Disrupting the Financial World. Aries Wanlin Wang. Skyhorse Publishing, (2018). Prieiga per internetą:

<https://books.google.lt/books?id=Z1ttDwAAQBAJ&lpg=PT98&dq=cryptocurrency%20market%20maker&hl=lt&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>

14. Corbet, S., Luceyb, B., Urquhartc, A., Yarovayad, L. (2018). Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis. *International Review of Financial Analysis*, 62, 182–199. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.09.003>

15. Dyrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar – A GARCH volatility. *Finance Research Letters*, 16, 85-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.frl.2015.10.008>

16. Dwyer, G. P. (2015). The economics of bitcoin and similar private digital currencies. *Journal of Financial Stability*, 17, 81-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfs.2014.11.006>

17. Easley, D., O’Hara, M., Basu, S. (2019). From mining to markets: The evolution of bitcoin transaction fees. *Journal of Financial Economics* 134, 91–109. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.0040304-405X/>

18. Fakhfekh, M., Jeribi, A. (2019). Volatility dynamics of crypto-currencies’ returns: Evidence from asymmetric and long memory GARCH models. *Research in International Business and Finance*, 51, 101075. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101075>

19. Feld, S., Schonfeld, M. & Werner, M. (2014). Analyzing the deployment of Bitcoin’s P2P network under an AS-level perspective. *Procedia Computer Science*, 32, 1121 – 1126. [doi:10.1016/j.procs.2014.05.542](https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.542)

20. Fischer, T., Krauss, C., Deinert, A. (2019). Statistical Arbitrage in Cryptocurrency Markets. *Journal of Risk Financial Manag.*, 12, 31; [doi:10.3390/jrfm12010031](https://doi.org/10.3390/jrfm12010031)

21. Gobel, J., Keeler, H.P., Krzesinski, A.E., & Taylor, P.G. (2016). Bitcoin blockchain dynamics: The selfish-mine strategy in the presence of propagation delay. *Performance Evaluation*, 104, 23-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.peva.2016.07.001>

22. Greebel, E. L., Moriarty, K., Callaway, C., & Xethalis, G. (2015). Recent key bitcoin and virtual currency regulatory and law enforcement developments. *Journal of Investment Compliance*, 16(1), 13-18. <http://dx.doi.org/10.1108/JOIC-01-2015-0009>

23. Ji, Q., Bouri, E., Gupta, R., Roubaud, D. (2018). Network causality structures among bitcoin and other financial assets: a directed acyclic graph approach. *Q. Rev. Econ. Financ.* 70, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2018.05.016>.

24. Jin, J., Yu, J., Huc, Y., Shang, Y. (2019). Which one is more informative in determining price movements of hedging assets? Evidence from Bitcoin, gold and crude oil markets. *Physica A*, 527, 121121. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121121>

25. Irwin, A. S. M. & Milad, G. (2016). The use of crypto-currencies in funding violent jihad. *Journal of Money Laundering Control*, 19(4), 407 - 425. <http://dx.doi.org/10.1108/JMLC-01>

26. Kakushadze, Z., Yu, W. (2019). Altcoin-Bitcoin Arbitrage. *Nepublikuotas leidinys*.

27. Katsiampa, P., Corbet, S., Lucey, B. (2019). High frequency volatility co-movements in cryptocurrency markets. *J. Int. Financ. Markets Inst. Money*, 62, 35–52. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2019.05.003>
28. Kim, Y., Lee, J., Park, N., Choo, J., Kim, J., Kim, C. When Bitcoin encounters information in an online forum: Using text mining to analyse user opinions and predict value fluctuation. *PLoS ONE* 12(5), e0177630. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177630>
29. Kristoufek, L. (2015). What Are the Main Drivers of Bitcoin Price? Evidence from Wavelet, Coherence Analysis. *PLoS ONE* 10(4). doi:10.1371/journal.pone.0123923
30. Krückeberg, S., Scholz, P. (2019). Decentralized Efficiency? Arbitrage in Bitcoin Markets. Electronic copy available at: <https://ssrn.com/abstract=3292127>
31. Kubat, M. (2015). Virtual currency bitcoin in the scope of money definition and store of value. *Procedia Economics and Finance*, 30, 409 – 416. doi: 10.1016/S2212-5671(15)01308-8
32. Lepone, A., Wong, J. B. (2017). Pseudo market-makers, market quality and the minimum tick size. *International Review of Economics and Finance*. 47, 88–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iref.2016.10.002>
33. Li, X. & Wang, C. H. (2016). The technology and economic determinants of cryptocurrency exchange rates: The case of Bitcoin. *Decision Support Systems* 95, 49-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2016.12.001>
34. Makarov, I., Schoar, A. (2019). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics* 135, 293–319. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.07.0010304-405X>
35. Menkveld, A. (2013). High frequency trading and the new market makers. *Journal of Financial Markets* 16, 712–740 <http://dx.doi.org/10.1016/j.finmar.2013.06.006>
36. Pauna, C. (2018). Arbitrage Trading Systems for Cryptocurrencies. *Design Principles and Server Architecture. Informatica Economică* vol.22, no. 2/2018. DOI: 10.12948/issn14531305/22.2.2018.04"
37. Peng, Y., Albuquerque, P., Camboim de Sá, J., Padula, A., Montenegro, M. (2017). The best of two worlds: Forecasting high frequency volatility for cryptocurrencies and traditional currencies with Support Vector Regression. *Expert Systems With Applications*, 97, 177–192. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.12.0040957-4174>
38. Pinzon, C. & Rocka, C. (2016). Double-spend attack models with Time Advantage for bitcoin. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 329, 79–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.entcs.2016.12.006>
39. Polasik, M., Piotrowska, A. I., Wisniewski, T. P., Kotwoski, R. & Lightfoot, G. (2016). Price fluctuations and the use of Bitcoin: an empirical inquiry. *International Journal of Electronic Commerce*, 20(1), 9-49. doi:10.1080/10864415.2016.1061413

40. Roth, N. (2015). An architectural assessment of bitcoin. *Procedia Computer Science*, 44, 527-536. doi: 10.1016/j.procs.2015.03.066
41. Salisua, A., Isahc, K., Akannid, L. (2019). Improving the predictability of stock returns with Bitcoin prices. *North American Journal of Economics and Finance* 48, 857–867. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2018.08.010>
42. Skendelytė, R., Šapkauskienė, A. (2018). Analysis of the main determinants of Bitcoin's price. *Pranešimas konferencijoje. Prieiga per:* <https://drive.google.com/file/d/1cldf9BmAJRgpM0C6xOL7ubcCCgQRX5YU/view>
43. Tasca, P., Hayes, A., Liu, S. (2017). The evolution of the bitcoin economy Extracting and analyzing the network of payment relationships. *The Journal of Risk Finance*, 19(2), 94-126. DOI 10.1108/JRF-03-2017-0059
44. Turner, A., Irwin, A. (2018). Bitcoin transactions: a digital discovery of illicit activity on the blockchain. *Journal of Financial Crime*, 25(1), 109-130. DOI 10.1108/JFC-12-2016-0078
45. Urquhart, A. (2017). Price Clustering in Bitcoin. *Economic Letters*, 159, 145-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2017.07.035>
46. Yi, S., Xu, Z., Wang, G. (2018). Volatility connectedness in the cryptocurrency market: Is Bitcoin a dominant cryptocurrency? *International Review of Financial Analysis*, 60, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.08.012>
47. Zargar, F., Kumar, D. (2018). Long range dependence in the Bitcoin market: A study based on high-frequency data. *Physica A*, 515, 625–640. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.09.188>
48. Zhang, Y., Chan, S., Chu, J., Nadarajah, S. (2018). Stylised facts for high frequency cryptocurrency data. *Physica A*, 513, 598–612. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.09.042>
49. Zhang, W., Huang, K., Feng, X, Zhang, Y. (2017). Market maker competition and price efficiency: Evidence from China. *Economic Modelling*. 66 121–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2017.06.004>
50. Zhang, W., Wang, P., Li, X., Shen, D. (2018). The inefficiency of cryptocurrency and its cross-correlation with Dow Jones Industrial Average. *Physica A*, 510, 658–670. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.07.0320378-4371>
51. Zhu, M., Chiarella, C., He, X., Wang, D. (2009). Does the market maker stabilize the market? *Physica A*, 388 3164-3180. doi:10.1016/j.physa.2009.04.013
52. Zhu, Y., Dickinson, D., Li, J. (2017). Analysis on the influence factors of Bitcoin's price based on VEC model. *Financial Innovation*, 3(3). doi:10.1186/s40854-017-0054-0
53. Wei, W. (2018). Liquidity and market efficiency in cryptocurrencies. *Economics Letters*, 168, 21–24. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.04.0030165-1765/>

## Informacijos šaltinių sąrašas

1. <https://www.sec.gov/fast-answers/answersmktmakerhtm.html>
2. <http://www.nasdaqbaltic.com/files/vilnius/teisesaktai/2018/MM-Guidelines-Baltic-2018.pdf>
3. <https://e-cryptonews.com/how-many-cryptocurrencies-are-there-in-2020/>
4. <https://www.bankofengland.co.uk/research/digital-currencies>
5. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-04-20/coinbase-names-barclays-veteran-tejpaul-as-institutional-head>
6. <https://www.theguardian.com/technology/2020/jan/21/bank-of-england-to-consider-adopting-cryptocurrency>
7. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-04-16/facebook-revamps-libra-plans-multiple-single-currency-coins>
8. <https://cointelegraph.com/news/fca-keeps-epayments-on-lockdown-crypto-unlikely-at-fault>
9. <https://coinmarketcap.com/rankings/exchanges/reported/>
10. <https://www.cryptowisser.com/>
11. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-16/biggest-bitcoin-investment-trust-says-hedge-fund-demand-booming>

## Priedai

### 1 priedas. Keityklos 1 viso arbitražo sumos ir kiekiai

Data	Viso arbitražo suma	Viso arbitražo galimybių kiekis
2019-01-01	13 879 794	873 034
2019-02-01	11 933 992	755 057
2019-03-01	16 472 204	1 146 274
2019-04-01	2 575 406	379 051
2019-05-01	5 857 304	591 280
2019-06-01	12 440 373	719 740
2019-07-01	18 359 773	921 005
2019-08-01	2 784 622	406 067
2019-09-01	1 248 031	174 458
2019-10-01	3 994 277	353 403
2019-11-01	2 310 826	529 447
2019-12-01	1 539 848	551 353
2020-01-01	409 233	183 237
2020-02-01	22 212 263	695 132
2020-03-01	42 370 629	889 412
<b>Suma</b>	<b>158 388 573</b>	<b>9 167 950</b>



## 2 priedas. Keityklos 2 viso arbitražo sumos ir kiekiai

<b>Data</b>	<b>Viso arbitražo suma</b>	<b>Viso arbitražo galimybių kiekis</b>
2019-01-01	13 879 794	873 034
2019-02-01	11 933 992	755 057
2019-03-01	16 472 204	1 146 274
2019-04-01	2 575 406	379 051
2019-05-01	5 857 304	591 280
2019-06-01	12 440 373	719 740
2019-07-01	18 359 773	921 005
2019-08-01	2 784 622	406 067
2019-09-01	1 248 031	174 458
2019-10-01	3 994 277	353 403
2019-11-01	2 310 826	529 447
2019-12-01	1 539 848	551 353
2020-01-01	409 233	183 237
2020-02-01	22 212 263	695 132
2020-03-01	42 370 629	889 412
<b>Suma</b>	<b>158 388 573</b>	<b>9 167 950</b>

### 3 priedas. Keityklos 2 sumos kas mėnesį pagal keityklas

Data	dsx	exmo	bitmarketlt	coindeal	bitbay	kraken	cexio	bitlish	bitstamp	coinfalcon	coinfoor	Suma
2019-01-01	13 497	12 465 728	144 515	182 344	21 399	68 603	765 657	112 566	52 502	4 253	48 729	<b>13 879 794</b>
2019-02-01	3 828	11 637 070	155 032	16 643	9 404	41 303	15 449	5 121	25 271	15 219	9 651	<b>11 933 992</b>
2019-03-01	80 590	15 287 647	446 324	386 279	76 706	65 876	39 231	11 087	54 541	17 482	6 441	<b>16 472 204</b>
2019-04-01	83 611	674 862	1 222 812	24 200	41 774	157 523	114 419	55 970	166 656	21 093	12 485	<b>2 575 406</b>
2019-05-01	39 604	3 623 199	315 585	754 354	120 603	250 196	193 627	102 091	339 451	75 302	43 292	<b>5 857 304</b>
2019-06-01	98 695	9 388 297	628 512	566 607	331 626	455 790	279 586	86 358	480 711	63 684	60 507	<b>12 440 373</b>
2019-07-01	147 660	11 993 777	2 327 456	1 165 586	539 746	574 830	383 280	159 859	508 810	366 076	192 694	<b>18 359 773</b>
2019-08-01	65 899	392 952	247 961	509 168	208 599	292 758	171 170	59 261	272 595	390 182	174 077	<b>2 784 622</b>
2019-09-01	96 437	6 850	363 230	150 199	44 244	192 075	188 507	43 181	94 974	15 970	52 364	<b>1 248 031</b>
2019-10-01	1 179 042	2 439	262 070	465 734	434 530	539 972	381 274	45 273	400 614	79 077	204 250	<b>3 994 277</b>
2019-11-01	1 980 759	18 351	736	182 913	28 091	23 290	17 855	7 173	9 124	35 014	7 522	<b>2 310 826</b>
2019-12-01	750 296	32 937	-	17 581	231 321	117 727	134 144	32 927	61 873	130 658	30 383	<b>1 539 848</b>
2020-01-01	172 827	4 118	-	17 219	17 709	48 287	39 076	30 611	24 073	46 112	9 201	<b>409 233</b>
2020-02-01	20 311 615	3 398	-	21 130	68 659	76 710	17 600	1 558 802	23 398	90 665	40 286	<b>22 212 263</b>
2020-03-01	40 697 599	43 589	-	60 182	884 567	26 508	94 937	514 789	4 895	32 590	10 972	<b>42 370 629</b>
<b>Suma</b>	<b>65 721 958</b>	<b>65 575 214</b>	<b>6 114 231</b>	<b>4 520 141</b>	<b>3 058 977</b>	<b>2 931 448</b>	<b>2 835 812</b>	<b>2 825 071</b>	<b>2 519 488</b>	<b>1 383 379</b>	<b>902 854</b>	

#### 4 priedas. Keityklos 2 kiekiai kas mėnesį pagal keityklas

Data	dsx	exmo	bitmarketlt	coindeal	bitbay	kraken	cexio	bitlish	bitstamp	coinfalcon	coinfoor	Suma
2019-01-01	3 799	613 326	34 255	19 747	4 527	8 026	166 044	5 664	7 187	7 007	3 452	<b>873 034</b>
2019-02-01	1 452	639 334	55 494	3 867	3 037	13 734	12 112	2 029	11 107	11 153	1 738	<b>755 057</b>
2019-03-01	8 139	905 024	91 683	15 135	25 284	24 428	20 851	7 520	23 014	22 989	2 207	<b>1 146 274</b>
2019-04-01	11 257	97 514	116 467	7 545	14 485	28 184	41 804	10 703	26 289	23 176	1 627	<b>379 051</b>
2019-05-01	9 050	280 846	54 529	102 817	19 126	22 993	27 392	9 753	33 189	29 936	1 649	<b>591 280</b>
2019-06-01	5 222	486 537	52 086	50 729	23 021	18 243	16 998	9 930	22 958	32 269	1 747	<b>719 740</b>
2019-07-01	9 636	524 414	125 021	85 283	19 637	24 472	30 250	12 757	22 260	60 087	7 188	<b>921 005</b>
2019-08-01	6 415	139 856	35 937	47 567	14 702	17 469	19 306	10 746	15 639	89 942	8 488	<b>406 067</b>
2019-09-01	13 123	11 802	27 350	29 503	12 175	15 219	20 566	16 718	8 704	14 612	4 686	<b>174 458</b>
2019-10-01	174 085	2 908	10 577	85 270	12 086	15 305	20 933	5 974	10 360	11 069	4 836	<b>353 403</b>
2019-11-01	375 367	14 119	453	77 271	5 867	4 976	14 977	3 946	1 431	30 139	901	<b>529 447</b>
2019-12-01	209 410	15 270	-	24 434	87 408	11 379	42 481	21 141	4 734	133 072	2 024	<b>551 353</b>
2020-01-01	53 144	4 365	-	12 574	17 000	15 023	21 518	11 968	7 799	37 240	2 606	<b>183 237</b>
2020-02-01	493 609	2 547	-	15 652	20 622	13 968	16 061	86 064	4 376	36 768	5 465	<b>695 132</b>
2020-03-01	596 723	14 169	-	26 933	129 488	4 739	14 837	78 981	919	21 729	894	<b>889 412</b>
<b>Suma</b>	<b>1 970 431</b>	<b>3 752 031</b>	<b>603 852</b>	<b>604 327</b>	<b>408 465</b>	<b>238 158</b>	<b>486 130</b>	<b>293 894</b>	<b>199 966</b>	<b>561 188</b>	<b>49 508</b>	

## 5 priedas. Keityklos 1 sumos kas mėnesį pagal keityklas

Data	kraken	coindeal	bitstamp	coinfloor	cexio	bitlish	bitbay	bitmarketlt	coinmate	bitsane	coinfalcon	Suma
2019-01-01	1 736 827	1 749 584	1 523 882	1 274 465	696 934	1 954 104	401 705	989 872	-	1 928 305	267 967	<b>12 523 645</b>
2019-02-01	1 853 427	1 030 948	1 358 179	847 957	1 203 700	1 625 713	737 498	803 609	-	1 225 054	194 942	<b>10 881 028</b>
2019-03-01	2 789 082	1 408 731	2 388 389	910 294	1 599 706	2 435 086	395 367	1 247 599	347 043	1 408 516	271 035	<b>15 200 848</b>
2019-04-01	392 704	676 744	360 700	86 743	200 978	172 366	32 182	150 408	73 891	86 832	216 866	<b>2 450 415</b>
2019-05-01	823 223	1 280 473	944 360	13 114	593 523	40 310	542 628	916 384	46 719	376 250	142 009	<b>5 718 993</b>
2019-06-01	2 102 962	3 046 781	1 853 570	11 500	1 415 337	98 255	1 100 468	1 440 572	53 364	612 915	344 666	<b>12 080 389</b>
2019-07-01	2 873 907	5 070 713	3 003 554	269 880	1 815 066	436 506	2 072 227	1 581 173	41 668	-	366 517	<b>17 531 211</b>
2019-08-01	330 313	1 544 872	323 607	117 978	94 123	83 661	116 050	121 991	21 106	-	9 102	<b>2 762 804</b>
2019-09-01	72 847	973 559	64 117	25 534	11 501	33 063	10 484	27 573	6 710	-	19 761	<b>1 245 148</b>
2019-10-01	352 372	2 003 526	184 984	90 682	57 585	385 866	48 488	341 588	28 972	-	654 570	<b>4 148 633</b>
2019-11-01	747 311	151 449	292 622	279 230	132 866	265 501	37 325	69 264	98 372	-	233 444	<b>2 307 383</b>
2019-12-01	375 826	556 303	160 435	84 146	102 583	164 118	30 279	-	55 117	-	778	<b>1 529 584</b>
2020-01-01	81 484	109 564	21 500	15 302	34 614	92 980	3 166	-	21 071	-	16 351	<b>396 033</b>
2020-02-01	5 179 809	2 768 760	2 229 436	5 115 628	1 358 699	1 790 428	1 385 821	-	1 274 591	-	1 096 650	<b>22 199 821</b>
2020-03-01	9 858 895	4 192 804	4 225 589	5 526 779	5 105 512	3 855 497	3 406 910	-	4 601 387	-	1 727 793	<b>42 501 167</b>
<b>Suma</b>	<b>29 570 989</b>	<b>26 564 810</b>	<b>18 934 923</b>	<b>14 669 232</b>	<b>14 422 726</b>	<b>13 433 454</b>	<b>10 320 598</b>	<b>7 690 033</b>	<b>6 670 012</b>	<b>5 637 872</b>	<b>5 562 453</b>	

## 6 priedas. Keityklos 1 kiekiai kas mėnesį pagal keityklas

Data	kraken	coindeal	bitstamp	coinfloor	cexio	bitlish	bitbay	bitmarketlt	coinmate	bitsane	coinfalcon	Suma
2019-01-01	120 643	138 966	109 030	40 271	54 910	76 540	67 527	90 197	-	99 325	58 318	<b>855 727</b>
2019-02-01	77 126	96 307	74 997	30 432	78 491	63 926	66 977	74 590	-	44 511	73 155	<b>680 512</b>
2019-03-01	105 303	221 509	105 291	28 937	98 097	91 871	93 031	109 258	29 162	45 213	80 452	<b>1 008 124</b>
2019-04-01	35 104	124 911	34 059	7 746	19 734	17 665	14 580	39 767	15 191	9 440	23 907	<b>342 104</b>
2019-05-01	59 484	104 807	68 317	40 047	61 469	6 215	45 817	76 151	15 374	8 961	71 180	<b>557 822</b>
2019-06-01	98 396	144 686	99 197	1 732	88 892	9 244	68 124	71 653	11 138	24 066	58 755	<b>675 883</b>
2019-07-01	119 529	219 875	125 499	12 984	91 863	33 417	79 757	73 410	17 627	-	69 852	<b>843 813</b>
2019-08-01	50 987	124 438	49 126	12 954	34 857	28 549	24 735	29 375	10 889	-	12 693	<b>378 603</b>
2019-09-01	11 886	97 123	8 690	3 810	5 840	15 457	2 744	5 780	7 428	-	8 563	<b>167 321</b>
2019-10-01	44 218	63 011	21 037	6 938	22 389	26 150	15 421	63 389	29 847	-	60 026	<b>352 426</b>
2019-11-01	96 904	45 957	51 330	37 626	48 445	57 903	43 107	18 022	64 885	-	44 748	<b>508 927</b>
2019-12-01	114 245	116 480	49 604	13 400	47 685	86 863	13 937	-	57 949	-	1 923	<b>502 086</b>
2020-01-01	31 126	52 130	10 158	3 292	13 810	25 322	3 451	-	19 040	-	2 868	<b>161 197</b>
2020-02-01	101 487	100 157	39 500	66 019	81 640	76 547	75 342	-	88 784	-	59 680	<b>689 156</b>
2020-03-01	176 801	134 024	73 166	69 190	124 268	48 911	89 114	-	107 688	-	84 887	<b>908 049</b>
<b>Suma</b>	<b>1 243 239</b>	<b>1 784 381</b>	<b>919 001</b>	<b>375 378</b>	<b>872 390</b>	<b>664 580</b>	<b>703 664</b>	<b>651 592</b>	<b>475 002</b>	<b>231 516</b>	<b>711 007</b>	

## 7 priedas. Keitykla 2 atsako funkcijos (IRF) testo rezultatai

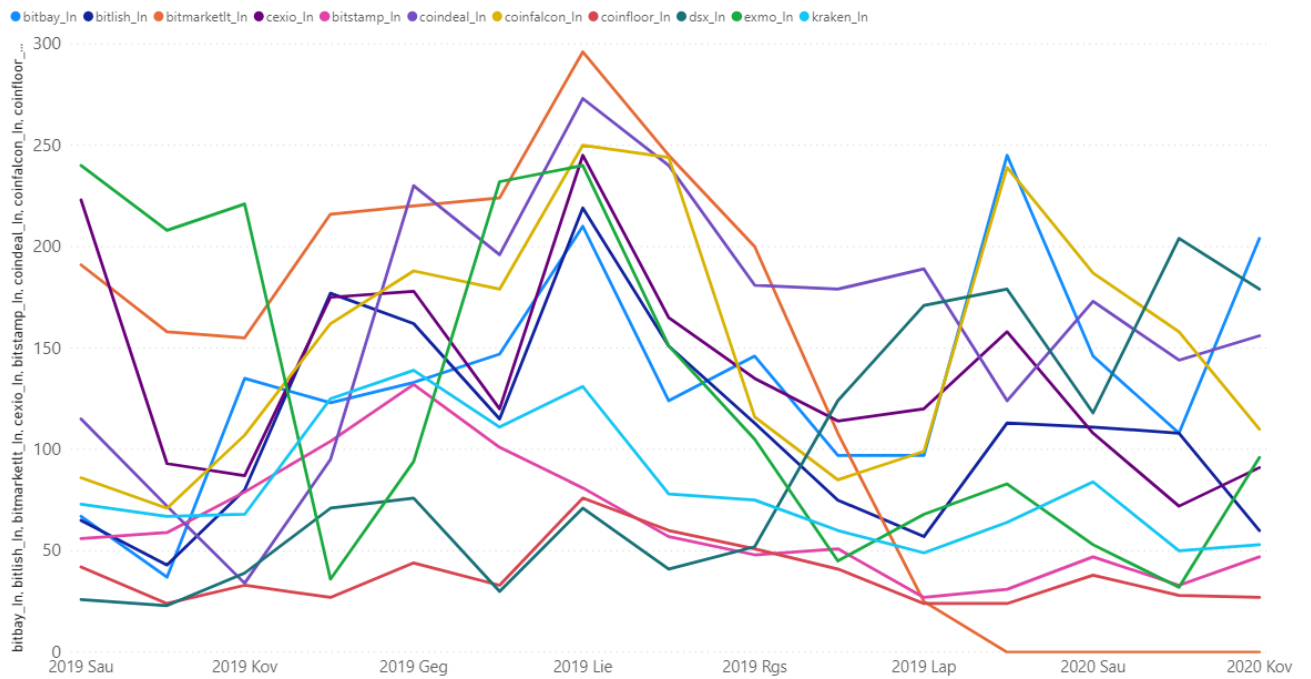
(coefs):	bitlish	{0.035}	&	bitbay	{-0.051}	(coefs):	kraken	{0.088}	&	bitmarketlt	{-0.041}
(chi2):	bitlish	[0.929]	—	bitbay	[0.557]	(chi2):	kraken	[0.923]	—	bitmarketlt	[0.946]
(Ftest):	bitlish	[0.929]	—	bitbay	[0.558]	(Ftest):	kraken	[0.922]	—	bitmarketlt	[0.946]
(coefs):	bitlish	{-0.032}	&	kraken	{-0.049}	(coefs):	kraken	{0.021}	&	dsx	{0.013}
(chi2):	bitlish	[0.997]	—	kraken	[0.725]	(chi2):	kraken	[0.975]	—	dsx	[0.981]
(Ftest):	bitlish	[0.997]	—	kraken	[0.725]	(Ftest):	kraken	[0.975]	—	dsx	[0.981]
(coefs):	bitlish	{-0.026}	&	cecio	{-0.013}	(coefs):	kraken	{1.474}	&	coinfloor	{-0.174}
(chi2):	bitlish	[0.943]	—	cecio	[0.807]	(chi2):	kraken	[0.000]	→	coinfloor	[0.554]
(Ftest):	bitlish	[0.943]	—	cecio	[0.807]	(Ftest):	kraken	[0.000]	→	coinfloor	[0.555]
(coefs):	bitlish	{-0.024}	&	bitstamp	{-0.041}	(coefs):	cecio	{-0.090}	&	bitstamp	{-0.305}
(chi2):	bitlish	[0.999]	—	bitstamp	[0.698]	(chi2):	cecio	[0.933]	—	bitstamp	[0.107]
(Ftest):	bitlish	[0.999]	—	bitstamp	[0.698]	(Ftest):	cecio	[0.933]	—	bitstamp	[0.109]
(coefs):	bitlish	{-0.098}	&	coinfalcon	{-0.016}	(coefs):	cecio	{-0.170}	&	coinfalcon	{-0.061}
(chi2):	bitlish	[0.943]	—	coinfalcon	[0.981]	(chi2):	cecio	[0.412]	—	coinfalcon	[0.911]
(Ftest):	bitlish	[0.943]	—	coinfalcon	[0.981]	(Ftest):	cecio	[0.414]	—	coinfalcon	[0.911]
(coefs):	bitlish	{0.003}	&	bitmarketlt	{-0.010}	(coefs):	cecio	{-0.061}	&	bitmarketlt	{-0.010}
(chi2):	bitlish	[1.000]	—	bitmarketlt	[0.996]	(chi2):	cecio	[0.825]	—	bitmarketlt	[0.564]
(Ftest):	bitlish	[1.000]	—	bitmarketlt	[0.996]	(Ftest):	cecio	[0.825]	—	bitmarketlt	[0.565]
(coefs):	bitlish	{0.135}	&	dsx	{-0.142}	(coefs):	cecio	{-0.009}	&	dsx	{-0.011}
(chi2):	bitlish	[0.014]	→	dsx	[0.142]	(chi2):	cecio	[0.973]	—	dsx	[0.999]
(Ftest):	bitlish	[0.015]	→	dsx	[0.145]	(Ftest):	cecio	[0.973]	—	dsx	[0.999]
(coefs):	bitlish	{-0.021}	&	coinfloor	{-0.019}	(coefs):	cecio	{0.702}	&	coinfloor	{-0.160}
(chi2):	bitlish	[0.994]	—	coinfloor	[0.928]	(chi2):	cecio	[0.000]	→	coinfloor	[0.374]
(Ftest):	bitlish	[0.994]	—	coinfloor	[0.928]	(Ftest):	cecio	[0.000]	→	coinfloor	[0.375]
(coefs):	bitbay	{-0.098}	&	kraken	{0.339}	(coefs):	bitstamp	{-0.418}	&	coinfalcon	{-0.018}
(chi2):	bitbay	[0.915]	—	kraken	[0.159]	(chi2):	bitstamp	[0.003]	→	coinfalcon	[0.610]
(Ftest):	bitbay	[0.915]	—	kraken	[0.161]	(Ftest):	bitstamp	[0.004]	→	coinfalcon	[0.610]
(coefs):	bitbay	{-0.148}	&	cecio	{0.223}	(coefs):	bitstamp	{-0.040}	&	bitmarketlt	{-0.030}
(chi2):	bitbay	[0.286]	—	cecio	[0.330]	(chi2):	bitstamp	[0.628]	—	bitmarketlt	[0.921]
(Ftest):	bitbay	[0.288]	—	cecio	[0.331]	(Ftest):	bitstamp	[0.629]	—	bitmarketlt	[0.921]
(coefs):	bitbay	{-0.020}	&	bitstamp	{0.256}	(coefs):	bitstamp	{-0.016}	&	dsx	{0.020}
(chi2):	bitbay	[0.962]	—	bitstamp	[0.499]	(chi2):	bitstamp	[0.999]	—	dsx	[0.997]
(Ftest):	bitbay	[0.962]	—	bitstamp	[0.500]	(Ftest):	bitstamp	[0.999]	—	dsx	[0.997]
(coefs):	bitbay	{-0.298}	&	coinfalcon	{0.019}	(coefs):	bitstamp	{0.967}	&	coinfloor	{-0.038}
(chi2):	bitbay	[0.022]	→	coinfalcon	[0.720]	(chi2):	bitstamp	[0.000]	→	coinfloor	[0.833]
(Ftest):	bitbay	[0.023]	→	coinfalcon	[0.720]	(Ftest):	bitstamp	[0.000]	→	coinfloor	[0.833]
(coefs):	bitbay	{-0.004}	&	bitmarketlt	{0.003}	(coefs):	coinfalcon	{0.308}	&	bitmarketlt	{-0.349}
(chi2):	bitbay	[0.971]	—	bitmarketlt	[0.997]	(chi2):	coinfalcon	[0.000]	↔	bitmarketlt	[0.036]
(Ftest):	bitbay	[0.971]	—	bitmarketlt	[0.997]	(Ftest):	coinfalcon	[0.000]	↔	bitmarketlt	[0.038]
(coefs):	bitbay	{-0.189}	&	dsx	{0.369}	(coefs):	coinfalcon	{0.009}	&	dsx	{-0.064}
(chi2):	bitbay	[0.001]	↔	dsx	[0.000]	(chi2):	coinfalcon	[0.999]	—	dsx	[0.943]
(Ftest):	bitbay	[0.002]	↔	dsx	[0.001]	(Ftest):	coinfalcon	[0.999]	—	dsx	[0.943]
(coefs):	bitbay	{0.432}	&	coinfloor	{0.005}	(coefs):	coinfalcon	{0.062}	&	coinfloor	{-0.356}
(chi2):	bitbay	[0.005]	→	coinfloor	[0.764]	(chi2):	coinfalcon	[0.943]	←	coinfloor	[0.000]
(Ftest):	bitbay	[0.006]	→	coinfloor	[0.764]	(Ftest):	coinfalcon	[0.942]	←	coinfloor	[0.000]
(coefs):	kraken	{-0.207}	&	cecio	{-0.212}	(coefs):	bitmarketlt	{-0.011}	&	dsx	{0.003}
(chi2):	kraken	[0.346]	—	cecio	[0.824]	(chi2):	bitmarketlt	[0.999]	—	dsx	[1.000]
(Ftest):	kraken	[0.347]	—	cecio	[0.824]	(Ftest):	bitmarketlt	[0.999]	—	dsx	[1.000]
(coefs):	kraken	{0.647}	&	bitstamp	{-0.449}	(coefs):	bitmarketlt	{0.034}	&	coinfloor	{-0.021}
(chi2):	kraken	[0.055]	↔	bitstamp	[0.065]	(chi2):	bitmarketlt	[0.972]	—	coinfloor	[0.964]
(Ftest):	kraken	[0.056]	↔	bitstamp	[0.067]	(Ftest):	bitmarketlt	[0.972]	—	coinfloor	[0.964]
(coefs):	kraken	{-0.309}	&	coinfalcon	{0.004}	(coefs):	dsx	{0.040}	&	coinfloor	{0.023}
(chi2):	kraken	[0.050]	→	coinfalcon	[0.704]	(chi2):	dsx	[0.960]	—	coinfloor	[0.859]
(Ftest):	kraken	[0.052]	→	coinfalcon	[0.704]	(Ftest):	dsx	[0.960]	—	coinfloor	[0.859]

## 8 priedas. Keitykla 1 atsako funkcijos (IRF) rezultatai

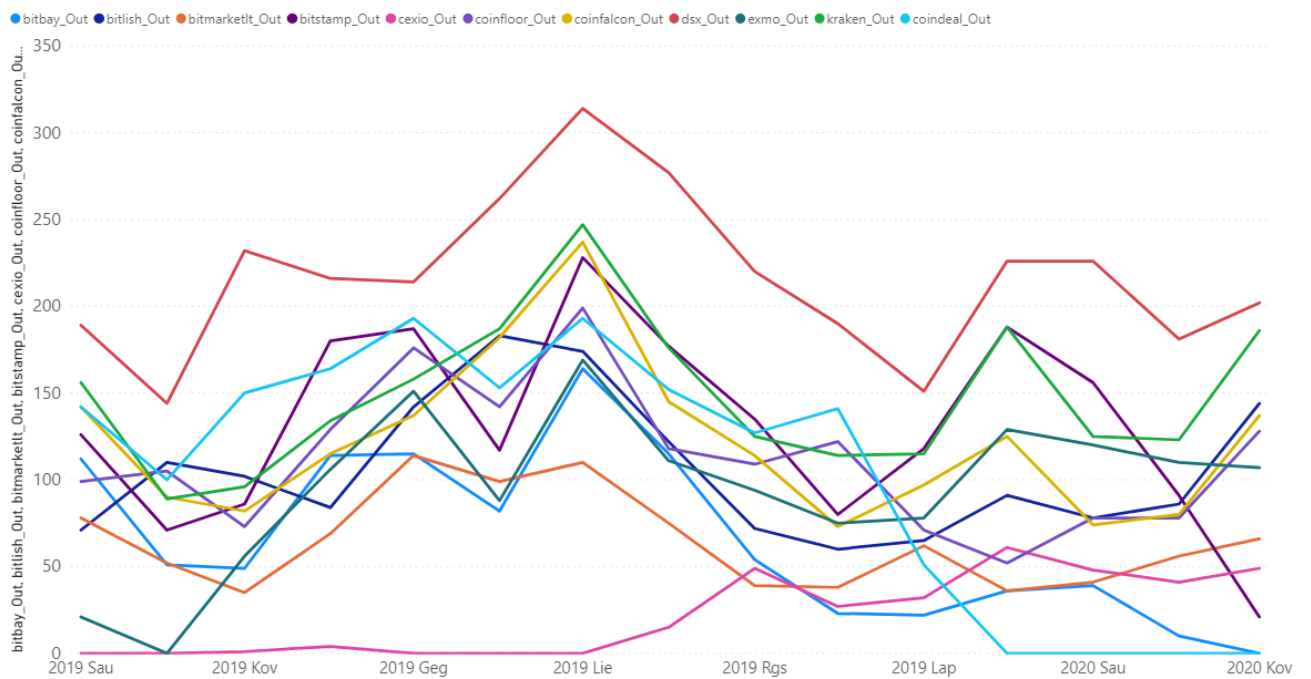
(coefs):	kraken	{-0.125}	&	bitstamp	{-0.133}	(coefs):	coinfloor	{-0.601}	&	bitlish	{0.232}
(chi2):	kraken	[0.097]	↔	bitstamp	[0.019]	(chi2):	coinfloor	[0.000]	↔	bitlish	[0.000]
(Ftest):	kraken	[0.099]	↔	bitstamp	[0.020]	(Ftest):	coinfloor	[0.000]	↔	bitlish	[0.000]
(coefs):	kraken	{0.215}	&	coinfloor	{-0.262}	(coefs):	coinfloor	{0.979}	&	bitbay	{-0.685}
(chi2):	kraken	[0.000]	↔	coinfloor	[0.001]	(chi2):	coinfloor	[0.000]	↔	bitbay	[0.000]
(Ftest):	kraken	[0.000]	↔	coinfloor	[0.001]	(Ftest):	coinfloor	[0.000]	↔	bitbay	[0.000]
(coefs):	kraken	{0.091}	&	cexio	{-0.238}	(coefs):	coinfloor	{-0.223}	&	coinmate	{0.324}
(chi2):	kraken	[0.001]	→	cexio	[0.248]	(chi2):	coinfloor	[0.008]	↔	coinmate	[0.000]
(Ftest):	kraken	[0.001]	→	cexio	[0.249]	(Ftest):	coinfloor	[0.009]	↔	coinmate	[0.000]
(coefs):	kraken	{-0.441}	&	bitlish	{0.432}	(coefs):	coinfloor	{0.050}	&	coinfalcon	{0.179}
(chi2):	kraken	[0.000]	↔	bitlish	[0.000]	(chi2):	coinfloor	[0.037]	→	coinfalcon	[0.410]
(Ftest):	kraken	[0.000]	↔	bitlish	[0.000]	(Ftest):	coinfloor	[0.038]	→	coinfalcon	[0.411]
(coefs):	kraken	{0.615}	&	bitbay	{-0.761}	(coefs):	cexio	{-0.323}	&	bitlish	{0.229}
(chi2):	kraken	[0.000]	↔	bitbay	[0.000]	(chi2):	cexio	[0.000]	↔	bitlish	[0.000]
(Ftest):	kraken	[0.000]	↔	bitbay	[0.000]	(Ftest):	cexio	[0.000]	↔	bitlish	[0.000]
(coefs):	kraken	{0.046}	&	coinmate	{1.075}	(coefs):	cexio	{0.173}	&	bitbay	{-0.368}
(chi2):	kraken	[0.000]	↔	coinmate	[0.000]	(chi2):	cexio	[0.000]	↔	bitbay	[0.000]
(Ftest):	kraken	[0.000]	↔	coinmate	[0.000]	(Ftest):	cexio	[0.000]	↔	bitbay	[0.000]
(coefs):	kraken	{0.051}	&	coinfalcon	{0.302}	(coefs):	cexio	{0.407}	&	coinmate	{0.894}
(chi2):	kraken	[0.009]	↔	coinfalcon	[0.076]	(chi2):	cexio	[0.000]	↔	coinmate	[0.000]
(Ftest):	kraken	[0.010]	↔	coinfalcon	[0.078]	(Ftest):	cexio	[0.000]	↔	coinmate	[0.000]
(coefs):	bitstamp	{-0.031}	&	coinfloor	{-0.017}	(coefs):	cexio	{-0.095}	&	coinfalcon	{-0.004}
(chi2):	bitstamp	[0.000]	↔	coinfloor	[0.022]	(chi2):	cexio	[0.002]	→	coinfalcon	[0.802]
(Ftest):	bitstamp	[0.000]	↔	coinfloor	[0.023]	(Ftest):	cexio	[0.002]	→	coinfalcon	[0.802]
(coefs):	bitstamp	{0.045}	&	cexio	{-0.167}	(coefs):	bitlish	{0.056}	&	bitbay	{-0.284}
(chi2):	bitstamp	[0.000]	↔	cexio	[0.025]	(chi2):	bitlish	[0.108]	←	bitbay	[0.000]
(Ftest):	bitstamp	[0.000]	↔	cexio	[0.026]	(Ftest):	bitlish	[0.109]	←	bitbay	[0.000]
(coefs):	bitstamp	{-0.031}	&	bitlish	{0.227}	(coefs):	bitlish	{0.455}	&	coinmate	{0.840}
(chi2):	bitstamp	[0.000]	↔	bitlish	[0.001]	(chi2):	bitlish	[0.000]	↔	coinmate	[0.000]
(Ftest):	bitstamp	[0.000]	↔	bitlish	[0.001]	(Ftest):	bitlish	[0.000]	↔	coinmate	[0.000]
(coefs):	bitstamp	{0.123}	&	bitbay	{-0.320}	(coefs):	bitlish	{0.166}	&	coinfalcon	{-0.410}
(chi2):	bitstamp	[0.118]	←	bitbay	[0.000]	(chi2):	bitlish	[0.007]	↔	coinfalcon	[0.057]
(Ftest):	bitstamp	[0.120]	←	bitbay	[0.001]	(Ftest):	bitlish	[0.007]	↔	coinfalcon	[0.059]
(coefs):	bitstamp	{0.343}	&	coinmate	{0.384}	(coefs):	bitbay	{-0.119}	&	coinmate	{0.336}
(chi2):	bitstamp	[0.000]	↔	coinmate	[0.006]	(chi2):	bitbay	[0.003]	↔	coinmate	[0.046]
(Ftest):	bitstamp	[0.000]	↔	coinmate	[0.006]	(Ftest):	bitbay	[0.003]	↔	coinmate	[0.048]
(coefs):	bitstamp	{-0.088}	&	coinfalcon	{0.250}	(coefs):	bitbay	{-0.162}	&	coinfalcon	{0.348}
(chi2):	bitstamp	[0.017]	→	coinfalcon	[0.417]	(chi2):	bitbay	[0.001]	↔	coinfalcon	[0.070]
(Ftest):	bitstamp	[0.018]	→	coinfalcon	[0.418]	(Ftest):	bitbay	[0.001]	↔	coinfalcon	[0.072]
(coefs):	coinfloor	{-0.056}	&	cexio	{-0.565}	(coefs):	coinmate	{0.241}	&	coinfalcon	{0.024}
(chi2):	coinfloor	[0.158]	←	cexio	[0.000]	(chi2):	coinmate	[0.014]	↔	coinfalcon	[0.016]
(Ftest):	coinfloor	[0.159]	←	cexio	[0.000]	(Ftest):	coinmate	[0.015]	↔	coinfalcon	[0.017]

## 9 priedas. Tinklinės analizės IN ir OUT reikšmių keityklų rezultatai

bitbay\_In,bitlish\_In,bitmarkett\_In,cexio\_In,bitstamp\_In,coindeal\_In,coinfalcon\_In,coinfoor\_In,dx\_In,exmo\_In ir kraken\_In pagal Year ir Month



bitbay\_Out,bitlish\_Out,bitmarkett\_Out,bitstamp\_Out,cexio\_Out,coinfoor\_Out,coinfalcon\_Out,dx\_Out,exmo\_Out,kraken\_Out ir coindeal\_Out pagal Year ir Month

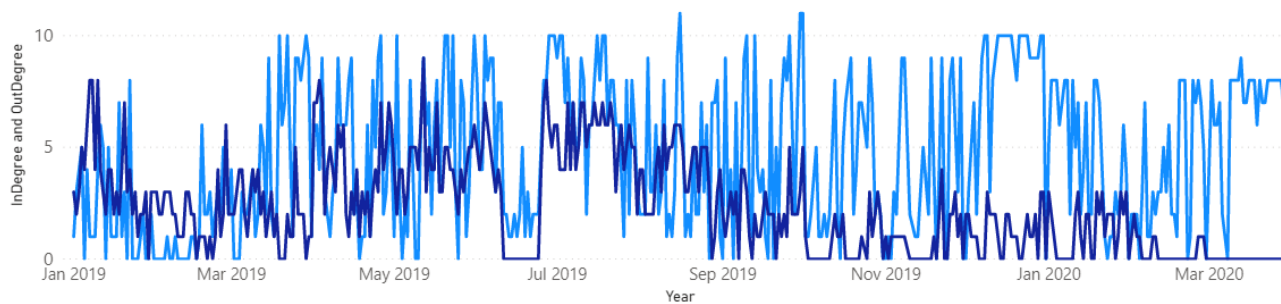




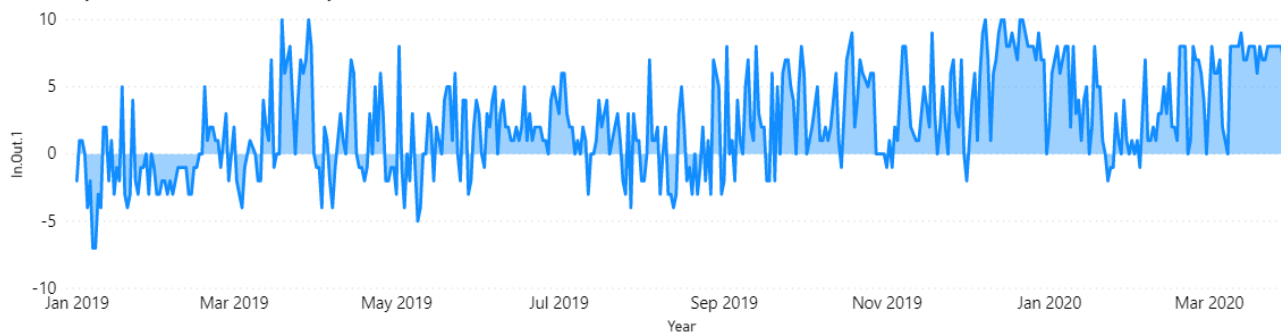
## 10 priedas. Tinklinės analizės *bitbay* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

● InDegree ● OutDegree



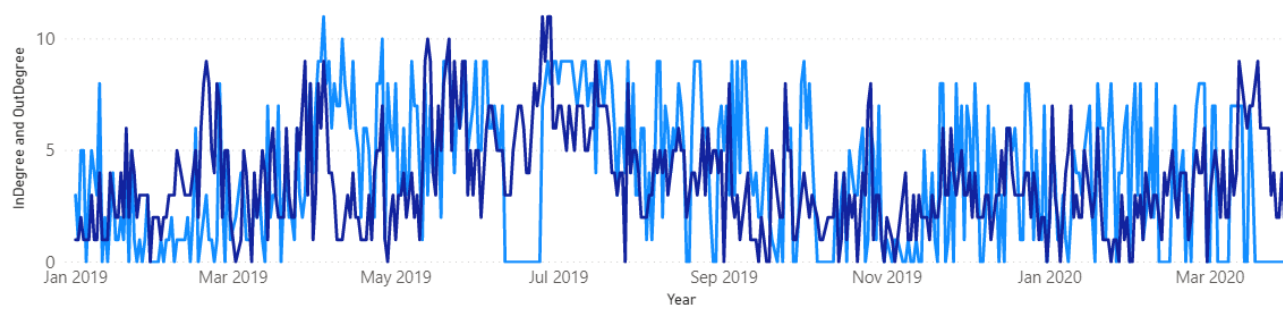
In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



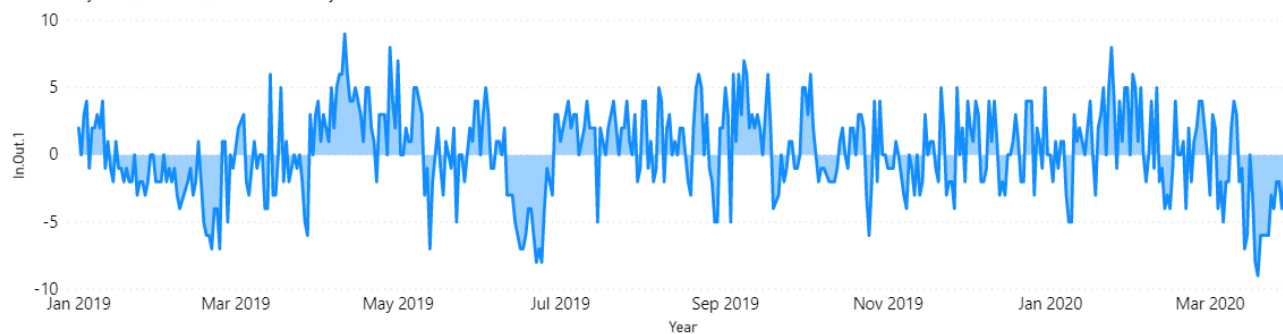
## 11 priedas. Tinklinės analizės *bitlish* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

● InDegree ● OutDegree



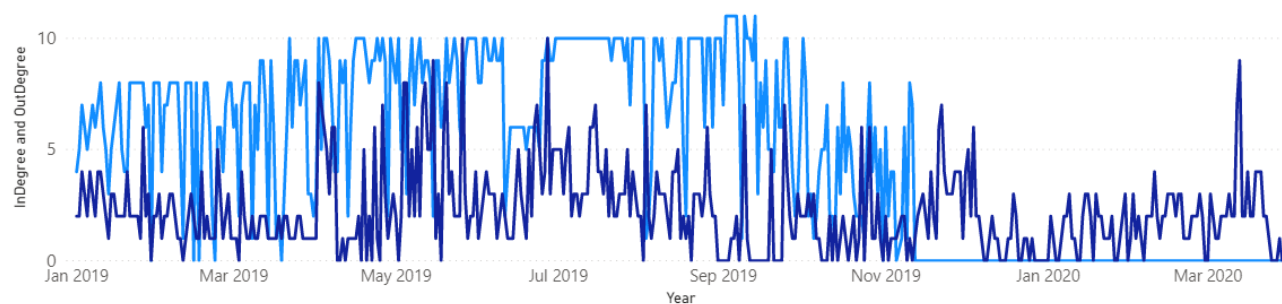
In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



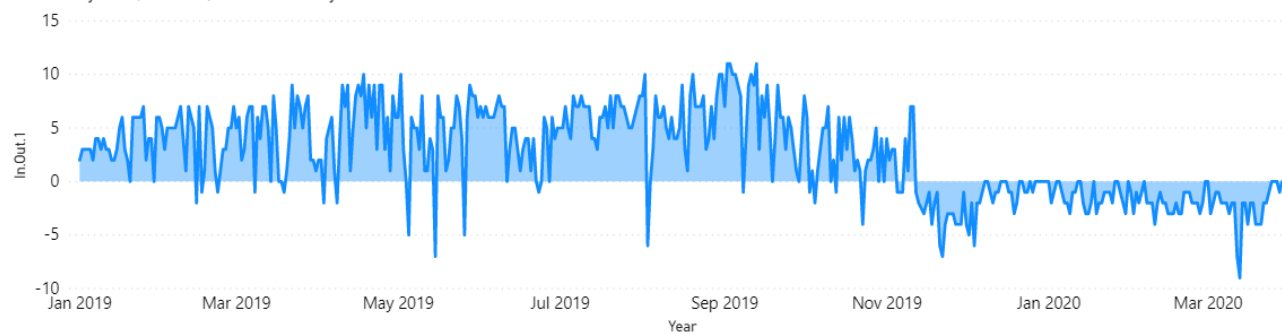
## 12 priedas. Tinklinės analizės *bitmarket.lt* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

● InDegree ● OutDegree



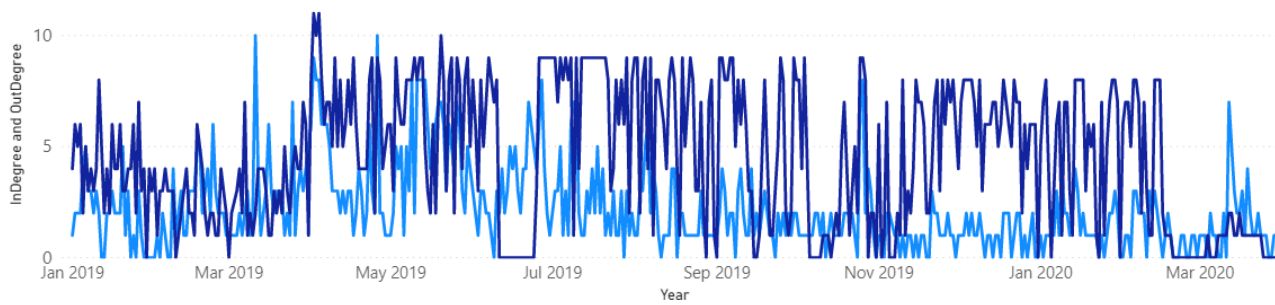
In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



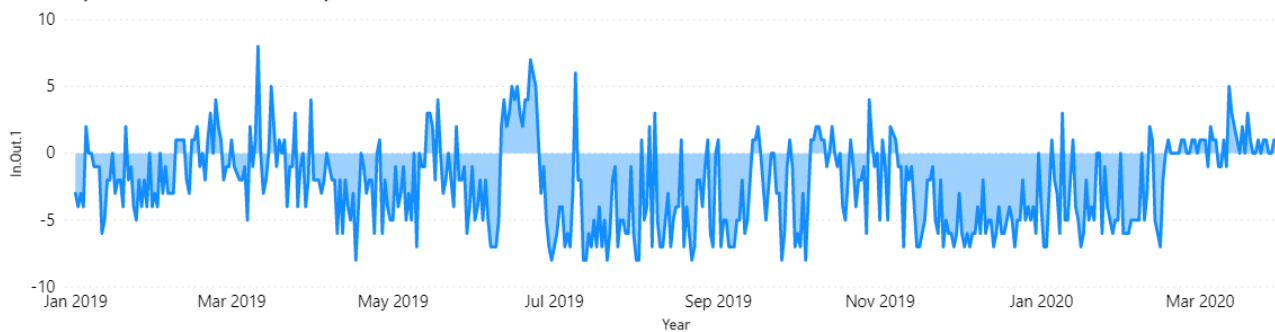
### 13 priedas. Tinklinės analizės *bitstamp* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

● InDegree ● OutDegree



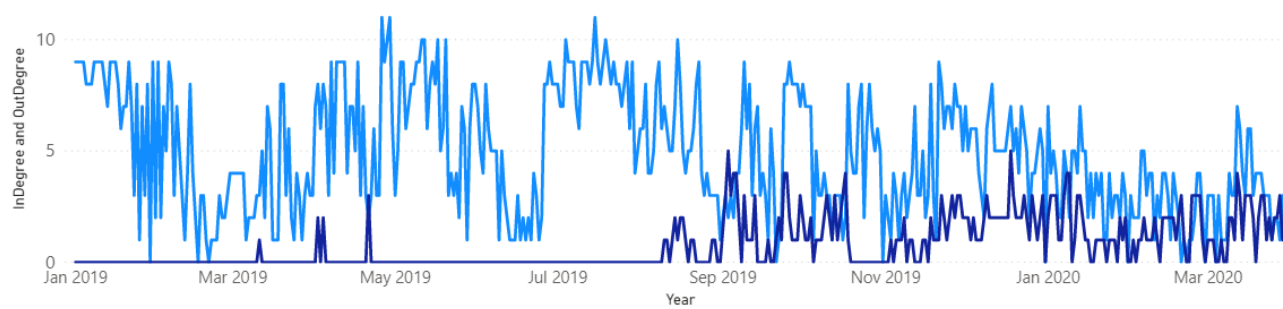
In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



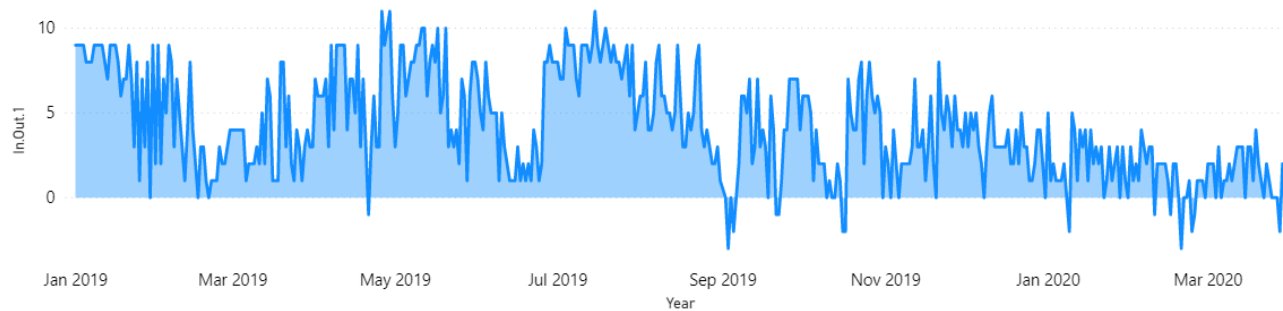
## 14 priedas. Tinklinės analizės *cexió* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

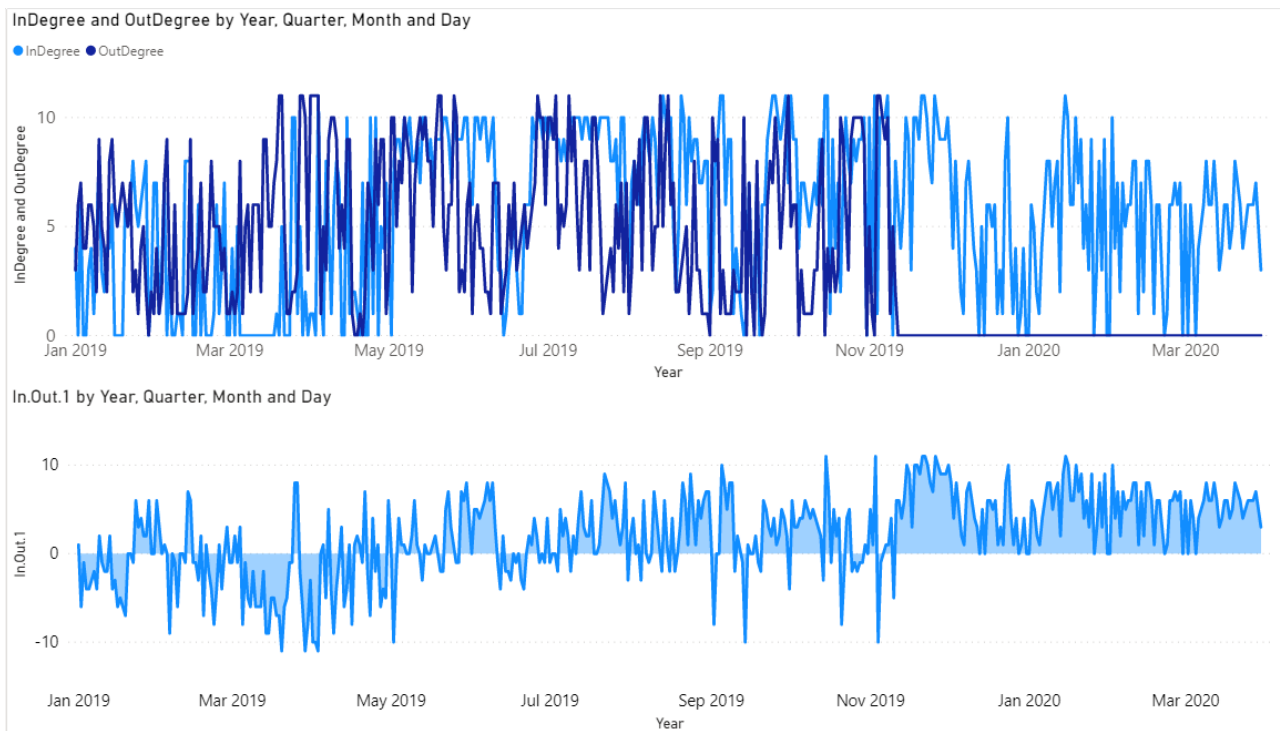
● InDegree ● OutDegree



In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



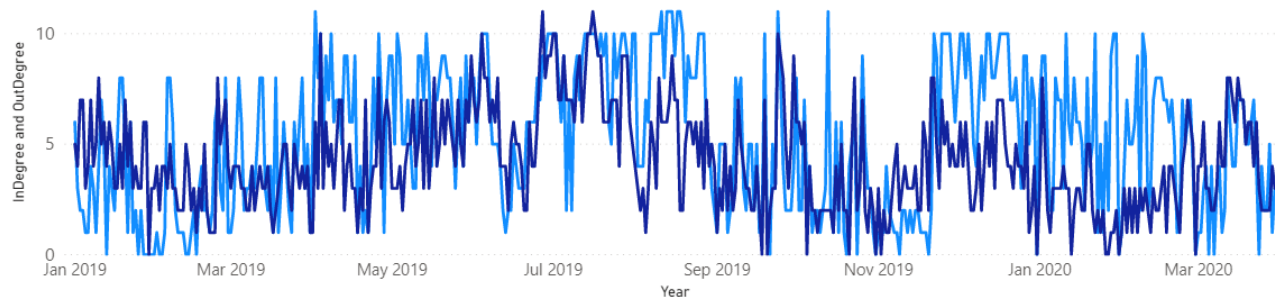
### 15 priedas. Tinklinės analizės *coindeal* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.



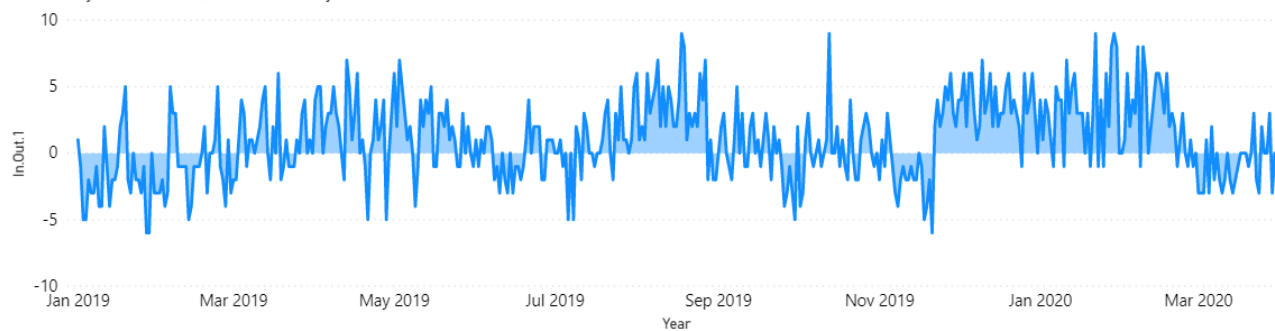
## 16 priedas. Tinklinės analizės *coinfalcon* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

● InDegree ● OutDegree



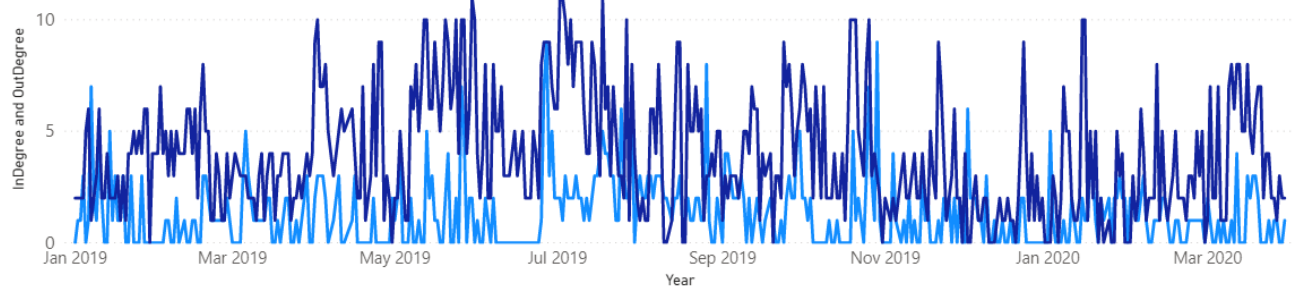
In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



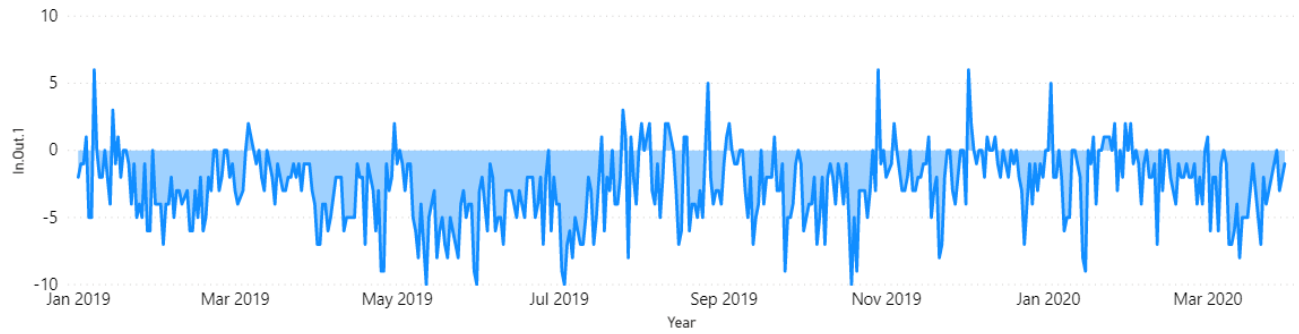
## 17 priedas. Tinklinės analizės *coinfloor* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

● InDegree ● OutDegree



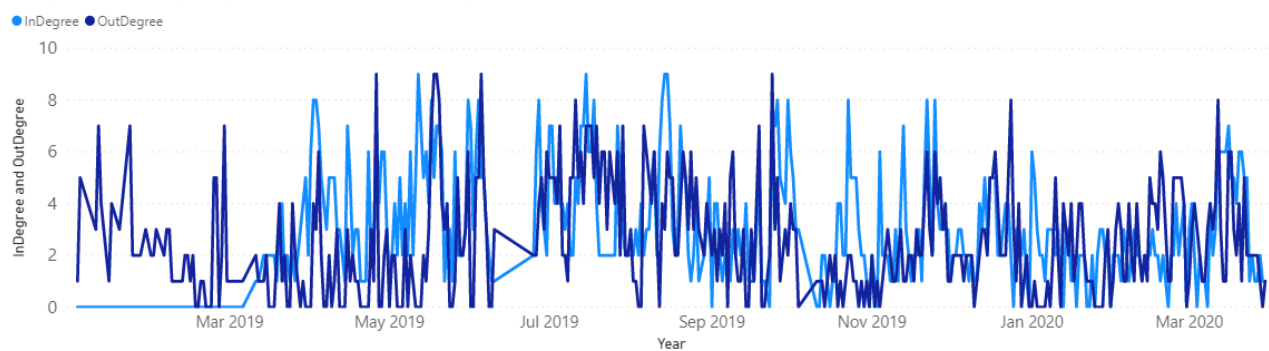
In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



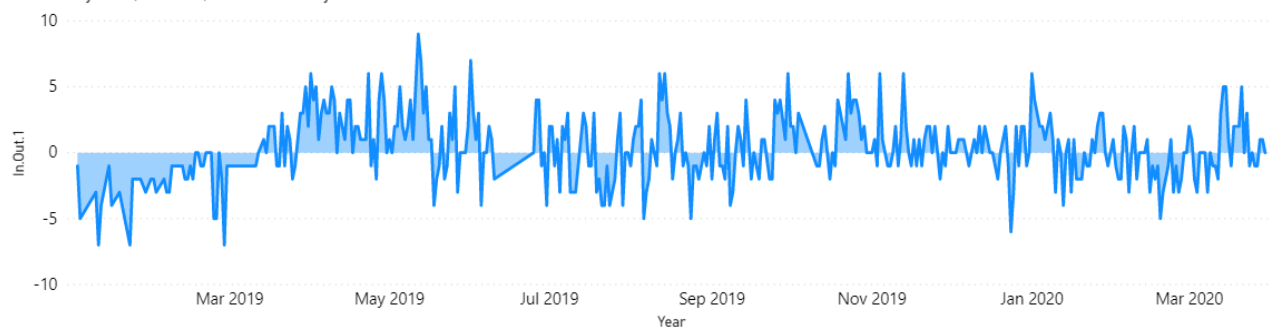


## 18 priedas. Tinklinės analizės *coinmate* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

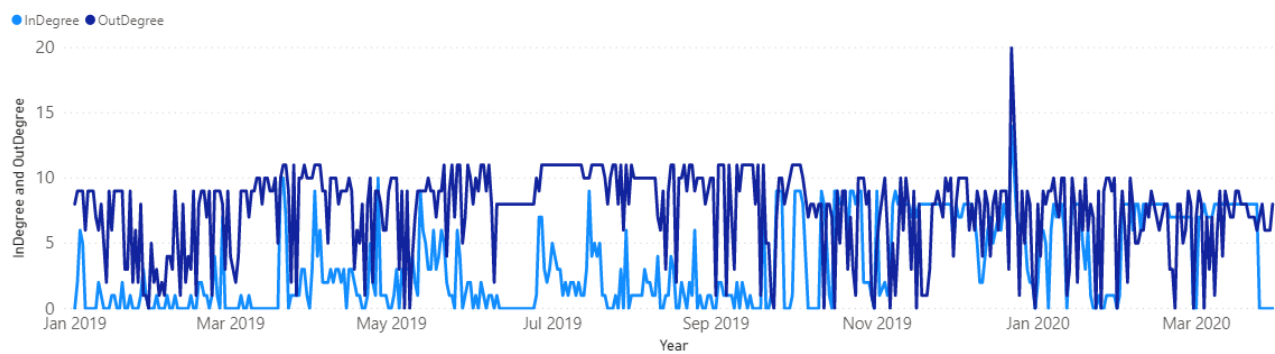


In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day

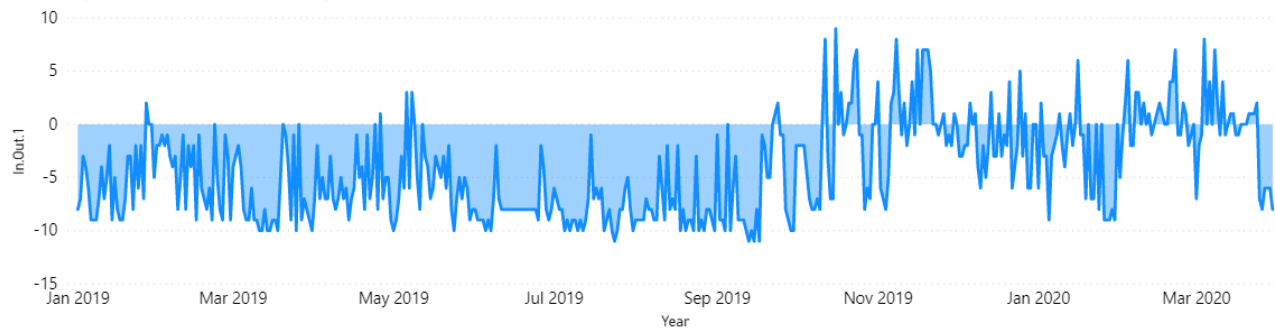


## 19 priedas. Tinklinės analizės *dsx* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day

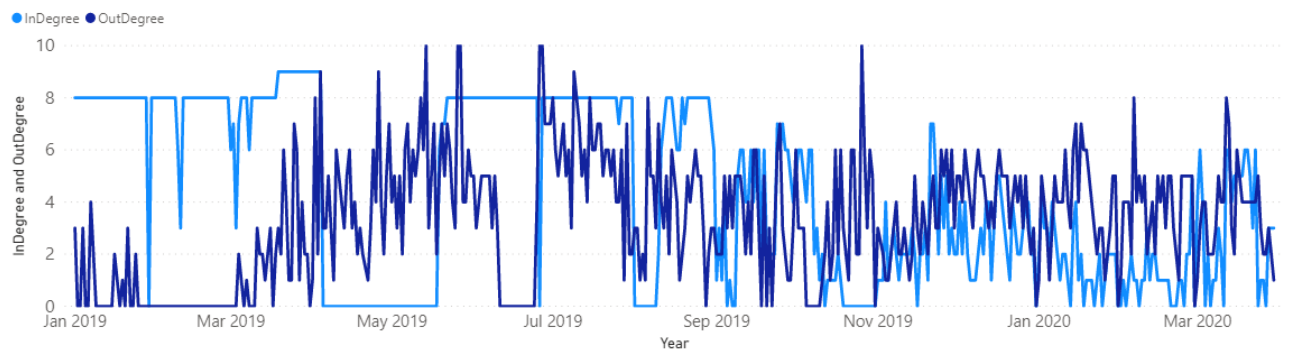


In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day



## 20 priedas. Tinklinės analizės *exmo* keityklos rezultatai, IN, OUT ir IN-OUT koef.

InDegree and OutDegree by Year, Quarter, Month and Day



In.Out.1 by Year, Quarter, Month and Day

