

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Olga Bugakova

ARBITRAAZIVÕIMALUSED KRÜPTORAHHA TURGUDEL

Magistritöö

Õppekava ärirahandus ja majandusarvestus, peeriala ärirahandus

Juhendaja: lektor Indrek Kaldoja

Tallinn 2018

Deklareerin, et olen koostanud töö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 11971 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Olga Bugakova.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 163076TARM

Üliõpilase e-posti aadress: o.bugakova94@gmail.com

Juhendaja: lektor Indrek Kaldoja

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	5
SISSEJUHATUS	6
1. KRÜPTORAHA JA ARBITRAAŽ	9
1.1. Krüptoraha määratlemine ja plokiahela transaktsioonid.....	9
1.2. Arbitraaž.....	14
1.2.1. Arbitraaži strateegiad klassikalistel finantsturgudel ning selle tuvastamine	15
1.2.2. Arbitraaživõimalused krüptoraha turgudel	18
1.3. Varasemalt teostatud uurimused.....	19
2. ANDMED JA METOODIKA	21
2.1. Kasutatavate andmete kirjeldus	21
2.2. Töös kasutatavad meetodid	23
2.2.1. Korrelatsioonianalüüs	23
2.2.2. Dokumendianalüüs	24
2.2.4. Stsenaariumianalüüs	27
2.2.2. VAR-modelleerimine ja algandmete töötlemine.....	29
3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED	34
3.1. Korrelatsioonianalüüsi tulemused	34
3.2. Dokumendianalüüsi tulemused.....	36
3.3. Stsenaariumianalüüsi tulemused	40
3.4. VAR-mudelite tulemused	43
3.5. Järeldused ja ettepanekud edasisteks uurimusteks	46
KOKKUVÕTE	49

SUMMARY	53
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	56
LISAD	70
Lisa 1. Raha funktsioonile mittevastamise põhjused.....	70
Lisa 2. Uuritavate aegridade dünaamika perioodil 17.08.2017-01.04.2018.....	72
Lisa 3. Uuritava valemi kirjeldav statistika perioodil 17.08.2017 13:00 – 01.04.2018	76
Lisa 4. Pearson'i korrelatsioonimaatriks	78
Lisa 5. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused kõikide börside seas	82
Lisa 6. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Bitstampi börsil olevate paaride vahel	83
Lisa 7. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Coinbase'i börsil olevate paaride vahel.....	84
Lisa 8. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Krakeni börsil olevate paaride vahel	85
Lisa 9. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Bitstampi ja Coinbase'i börsidel olevate paaride vahel	86
Lisa 10. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Bitstampi ja Krakeni börsidel olevate paaride vahel	87
Lisa 11. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Coinbase'i ja Krakeni börsidel olevate paaride vahel	88
Lisa 12. Korrelatsioonimaatriks S&P500-ga.....	89
Lisa 13. Kaudsel ja otsesel meetodil saadud suurimad EURUSD <i>spread</i> 'id ja komisjonitasude mõju nendele.	93
Lisa 14. Kaudsel ja otsesel meetodil saadud LTCBTC ja ETHBTC suurimad <i>spread</i> 'id ja komisjonitasude mõju nendele.	94
Lisa 15. VAR-mudel Bitstampil.....	95
Lisa 16. VAR mudel Coinbase's	103
Lisa 17. VAR-mudel Krakenil	111

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on leida, millised arbitraaživõimalused eksisteerivad krüptoraha turgudel ning millised piirangud tekivad arbitraaživõimaluste realiseerimisel. Eesmärgi saavutamiseks teostatakse neli analüüsi: korrelatsioonianalüüs (sh ristkorrelatsioon), dokumendianalüüs, stsenaariumianalüüsid (Microsoft Excelis) ja vektorautoregressiooni analüüs (EViews). Töös kasutatakse kolmel suurimal krüptoraha börsil (Bitstamp, Kraken, Coinbase) kaubeldavate krüptorahade Bitcoin, Litecoin ja Ethereum tunniseid andmeid perioodil 17.08.2017-31.03.2018.

Tulemusena leitakse, et krüptoraha turgudel on nimetatud perioodil anomaaliad, mis annavad investorile võimaluse teenida riskivaba (või ilma olulise riskita) kasumit. Dokumendianalüüsist selgub, et kauplejal on arbitraaži teostamise takistuseks neli peamist piirangu tüüpi: aeg, kulud, piiratud maht, seadusandlus. Börsidevahelistel tehingutel riskivaba tulu teenimise võimalus säilib sõltumata noteerimise valuutast (euro, USA dollar) ka pärast nimetatud piirangute ja reeglitega arvestamist. Kolmnurkse arbitraaži stsenaariumid näitavad, et kauplejal on kasulik eelistada otsest meetodit euro vahetamisel dollari vastu või vastupidi. Sama järeldus on ka kahe krüptorahaga arbitraažil Coinbase börsil. Ethereum-Bitcoini ja Litecoin-Bitcoini puhul on sõltuvalt börsist eelistatud kaudse meetodi kasutamine. Krüptorahade aegridade vahel leitakse tugev korrelatsioon viitajata ja läbi teise viitaja. Lisaks hinnatakse vektor-autoregressiivse mudeli abil seoseid iga börsi lõikes euros noteeritud krüptorahade vahel. Bitcoin mõjutab iseennast läbi esimese viitaja; Ethereum mõjutab iseennast läbi esimese viitaja ning Litecoini läbi esimese ja teise viitaja; Litecoin mõjutab iseennast läbi esimese ja teise viitaja ning Ethereum läbi esimese viitaja. Granger-põhjuslik seos leitakse Litecoini puhul Ethereum ja iseenda suhtes ning Ethereum puhul Litecoini suhtes.

Võtmesõnad: krüptoraha, hinnaerinevus, arbitraaž, kolmnurkne arbitraaž, arbitraaž börside vahel, korrelatsioon, rist-korrelatsioon, stsenaariumi analüüs, dokumendianalüüs, vektorautoregressioon.

SISSEJUHATUS

Viimastel aastatel on investorite huvi krüptoraha turgude vastu järjest suurenenud nii mahtude, regulatsioonide (Kumar, Smith 2017) kui ka eetika kontekstis (Gladden 2015; Angel, McCabe 2015). Krüptoraha tehingute hoogustumisele viitab näiteks krüptovaluutadest suurima turukapitalisatsiooniga (Brauneis, Mestel 2018) Bitcoinini hinna muutus ning hinna volatiilsus: perioodil 16.12.2016-16.12.2017 kasvas Bitcoinini kurss USA dollari vastu 2374% ning 16.12.2017-11.02.2018 langes hind ligikaudu 58% (autori arvutused Yahoo Finance andmete põhjal). Nii suur volatiilsus võib eeldada teatud kauplemissulli olemasolu (*European Banking Authority*, 2018) millele reageerisid Euroopa Liidu (EL) järelevalveasutused. 12.02.2018 väljastas ESAs (ingl *European Supervisory Authorities*) virtuaalvaluuta riskile viitava hoiatuse, põhjendades seda krüptoraha kauplemise soovi järsu suurenemisega (*Ibid.*). Hoiatuse väljastamise põhjuseks oli krüptoraha uudsus, millest tarbija veel täpselt aru ei saa ning seetõttu ei oska ka seonduvaid riske korralikult hinnata.

Krüptorahade aluseks olev plokiahela (ingl *blockchain*) tehnoloogia eeldab tehingute aktsepteerimist kõikidelt kasutajatelt ning kõigi transaktsioonide andmete avalikku kättesaadavust (Peck 2012). Järelikult peaks ka iga infoühiku liikumine süsteemis kajastuma hinnas. See lubab eeldada krüptoraha turu efektiivsust (Fama 1970). Samas tekib suureneva nõudluse rahuldamiseks krüptovaluutadega kauplemiseks rida börse, kus krüptoraha võib vahetada *fiat*-valuuta vastu ning kus peaks tekkima ka spekulatsioonide võimalus (Baek, Elbeck 2014). Kuna aga börsid on noored ning ühise regulatsioonita, on märgata ka olukordi, kus krüptovaluutade hinnad on periooditi erinevatel börsidel erinevad. See võib omakorda tekitada võimalusi riskivaba (või piisavalt vähesel riskiga) kasumi teenimiseks ehk arbitraažiks.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on leida, millised arbitraaživõimalused eksisteerivad krüptoraha turgudel ning millised piirangud tekivad arbitraaživõimaluste realiseerimisel. Lisaks uuritakse erinevate krüptovaluutade omavahelisi mõjusid, et leida võimalikke mustreid, mis võiksid viidata arbitraaživõimaluse tekkimisele. Lähtudes eesmärgist otsitakse vastuseid järgmistele uurimisküsimustele:

1. Kas uuritaval perioodil on võimalik leida anomaaliaid, mis lubaksid krüptoraha investoril riskivaba kasumit teenida (arbitreerida)?
2. Kas selliste anomaaliatega ära kasutamine saab olla investorile kasumlik ka börside poolt seatavaid regulatsioone, piiranguid (nt tehingulimiite) ja tasusid arvestades?
3. Kas krüptorahade paarid korreleeruvad ning kas vaadeldaval perioodil on uuritavate börside krüptorahade vahel omavahelisi mõjusid, mis võiksid anda investorile informatsiooni investeerimisotsuste tegemiseks, sh arbitraaživõimaluste tekkeks?

Töös kasutatakse andmeid kolmelt suurimalt krüptoraha börsilt: Bitstamp, Coinbase (tuntud ka kauplemiskeskonna GDAX nime all) ja Kraken. Krüptovaluutadest uuritakse kolme, mille andmed on kõigil kolmel börsil kättesaadavad ning kauplemismahud piisavalt suured: Bitcoin, Litecoin ja Ethereum. Andmepunktideks on valuutapaaride tunnised hinnad. Kokku uuritakse 24 aegrida (erinevate valuutapaaride kombinatsioonid), milles igaühes on 5436 andmepunkti (tundi). Seega on tegu kõrgsagedusandmetega. Uuritavaks perioodiks on 17.08.2017-31.03.2018, mille vältel on esinenud nii suure kui ka väiksema volatiilsusega perioode. Uurimisküsimustele vastamiseks teostas autor järgmised uurimisülesanded:

1. Korrelatsiooni- ja ristkorrelatsioonianalüüs kuni 12-tunnise viitajaga.
2. Uuritavate paaride vahel tekkinud hinna- ja kursivahede mõõtmine nii börside kui ka valuutapaaride lõikes, koostades (simuleerides) võimalikud stsenaariumid.
3. Valuutapaaride kõrvutamise euro ja USA dollari (EURUSD) kursiga, et leida võimalikke kõrvalekaldeid.
4. Uuritavate börside dokumentatsiooni analüüs ja võimalike piirangute tuvastamine.
5. Suurimate hinnaerinevustega valuutapaaride omavaheliste mõjude uurimine.

Käesolev magistritöö on jagatud kolmeks peatükiks, mis moodustavad terviku.

Esimeses peatükis tuuakse välja krüptoraha olemus ja tehnoloogia ülevaade, vaadeldakse krüptoraha väärtuse loomise printsiipe ning krüptoraha turu efektiivsust, samuti kirjeldatakse arbitraaživõimalusi. Peatüki lõpus antakse ülevaade varasematest uuringutest käesolevat magistritööd puudutavates valdkondades.

Töö teises peatükis antakse ülevaade kasutatavatest uurimismeetoditest: nendeks on stsenaariumianalüüs, mida täiendab dokumendianalüüs ning ökonomeetiline modelleerimine kasutades vektor-autoregressiivset (VAR) mudelit. Peatükis põhjendatakse ka uurimismeetodite valikut ja kirjeldatakse uuritavaid andmeid – tuuakse välja andmete struktuur, eripära ning antakse andmete statistilise analüüsi kokkuvõtte.

Kolmandas peatükis esitatakse vastused uurimisküsimustele ning tuuakse välja uurimistulemused. Esmalt esitatakse korrelatsiooni- ja ristkorrelatsioonianalüüsi, seejärel stsenaariumi- ja dokumendianalüüsi tulemusena leitud anomaaliad börside ja valuutapaaride lõikes, mis võimaldasid vaadeldaval perioodil arbitraaživõimalustel tekkida. Seejärel esitatakse VAR-modelleerimise tulemused valuutapaaride omavaheliste mõjude kohta. Peatüki lõpus teeb autor omapoolsed ettepanekud edasiste uurimisvõimaluste kohta.

1. KRÜPTORAHA JA ARBITRAAZ

1998. aastal tõi Hiina arvutiinsener Wei Dai välja esimese krüptoraha B-Money (Albuquerque, Callado 2015, 8). Krüptoraha populaarsus hakkas aga tõusma alles ligi kümme aastat hiljem, pärast seda, kui võrku juurutati krüptovaluuta nimega Bitcoin, mille algoritmi pakkus välja tänaseni tundmatu Satoshi Nakamoto 2008. aastal (Papp 2014, 34).

Investorite huvi on aga krüptoraha turgude tegutsemise vastu järjest suurenenud nii mahtude, regulatsioonide (Kumar, Smith 2017), kui ka eetika (Gladden 2015; Angel, McCabe 2015) kontekstis.

Kirjanduses ja sotsiaalvõrgustikes on krüptoraha kontekstis kasutuses erinevad terminid, sh „digitaalne valuuta“, „virtuaalne valuuta“, „krüptoraha“. Need terminid kirjeldavad valuutat, mis täidab kõiki tüüpilisi raha funktsioone, kuid eksisteerib elektrooniliselt (Gomber *et al.* 2017, 546). Tegelikult ei pruugi need mõisted olla sünonüümid, nagu allpool põgusalt selgitatakse.

Digitaalne valuuta on maksmise kohustus, mis tekib, kui kasutaja toimetab raha emiteerija kätte (nt pangale) ja tema kontolt debiteeritakse teatud summa vastavalt elektroonilises vormis esitatud infole (Gladstone 1997, 1197).

Virtuaalne valuuta on arendajate poolt emiteeritud reguleerimata digitaalne raha, mida aktsepteeritakse vaid mingi spetsiifilise keskkonna sees (European Central Bank 2012, 13).

Krüptoraha peetakse digitaalse valuuta eriklassiks või üheks alaliigiks (Chuen 2015, 21), kuid sellest definitsioonist on kujunenud erinevad arvamused, mida autor uurib lähemalt järgmises alapeatükis.

1.1. Krüptoraha määratlemine ja plokiahela transaktsioonid

Kuna krüptoraha on küllaltki uus nähtus, siis defineerivad erinevad riigid krüptoraha regulatsioonide loomisel erinevalt: (investeerimis)vara, maksevahend, toode jne. Erinevalt

Euroopa Liidu riikidest (EL) on mõnedes riikides krüptorahaga kauplemine seadusega keelatud, nt Maroko, Boliivia jt (Bitcoin legality... 2018).

Dyhrberg (2016) ja Scott (2016) jõudsid järelduseni, et krüptoraha võib pidada nii valuutaks kui ka varaks, sest krüptorahal on mitmed raha funktsioonid, sh on see makse- ja vahetusvahend. Kuna aga tegemist on detsentraliseeritud ja reguleerimata süsteemiga, ei saa neid ametlikult kasutusele võtta ega rahaks pidada. (*Ibid.*)

Kubát (2015) võrdleb Bitcoinini kolme erineva raha definitsiooniga: teoreetiline, empiiriline ja õiguslik. Teoreetilises kontekstis võrreldakse raamatupidamislikult ehk see peaks sisaldama „valuutasid ja nõudeid ostjate vastu, kuna nende varade hulk mõjutab kogukonna jõukust“ (Laidler 1969, 511). Kuna rahal peab varade osana olema teatud allikas ehk tekib kohustus, siis see definitsioon ei ole krüptoraha kontekstis aktsepteeritav, kuna ükski organisatsioon ega riik ei halda krüptoraha bilanssi. Samuti on selle mõju kogukonnale küsimärgiga, kuna krüptoraha on aktsepteeritav vaid teatud keskkondades. Empiirilises kontekstis leitakse seos rahaagregaatide mõiste arendamise ja makroökonoomika näitajate vahel. Bitcoinini on keeruline rahaagregaadiks pidada ning seda ei saa seostada pangasüsteemiga, seega krüptoraha ei saa defineerida raha empiirilise definitsiooni abil. Raha õiguslikus kontekstis ei võeta krüptoraha olemust arvesse, kuna seda mainitakse vaid kasutamise keelamiseks. (Kubát 2015)

Vaatamata sellele, et krüptorahal on võrreldes traditsiooniliste vahenditega teatud eelised, sh madalamad transaktsioonikulud, detsentraliseeritus, regulatsioonide puudumine, kättesaadavus kogu maailmas jne (Hur *et al.* 2015, 2), võib autor läbi töötatud teoreetilisele materjalile tuginedes (vt Lisa 1) väita, et krüptoraha ei vasta ühelegi raha definitsioonile, st arvestusühik, vahetusvahend, väärtuse akumulatsiooni vahend ja maksevahend (Eesti Pangaliit 2018).

Krüptoraha ei täida ka Misesi regressiooni teoreemi, mis selgitab, et igasugust vara võib rahaks aktsepteerida ilma valitsuse kinnitusega, kui tegemist on kindla ostujõuga kaubaga (European Central Bank 2012).

Selgin (2015) tegi ettepaneku pidada krüptoraha sünteetiliseks kaubarahaks, mis sisaldab nii kaubaraha (raha liik, mille maksumus on võrdne selle nominaaliga (Maurer *et al.* 2013, 269) kui ka *fiat*-valuuta (Rolnick, Weber 1997, 1309) tunnuseid. Antud terminit ei saa rakendada seni, kuni

teatud krüptoraha kõik üksused on kaevandatud. Bitcoin'i puhul see on umbes 2040. aasta. (Selgin 2015, 98)

Kuna krüptoraha ei saa traditsiooniliseks ega sünteetiliseks kaubarahaks pidada, siis suure volatiilsuse tõttu on see kõige sarnasem spekulatiivse varaga (Beer, Weber 2014; Glaser *et al.* 2014; Baur *et al.* 2018; Weber 2014; Bjerg 2016; Bouoiyour *et al.* 2014).

Transaktsioonid, plokiahela tehnoloogia ning väärtus

Krüptoraha olemusest aitab aru saada selle aluseks olev plokiahela tehnoloogia ehk arvuline register, kus kronoloogiliselt salvestatakse ja publitseeritakse kõik transaktsioonid (Reynolds, Irwin 2017, 175). Transaktsioon peab olema kopeeritud igas hilisemas genereeritavas ploki (Böhme *et al.* 2015, 224) ning vastama neljale kriteeriumile, st peab olema järjestatud, lisanduv, krüptograafiliselt verifitseeritav ja digitaalne (De Leon *et al.* 2017, 288).

Plokiahela tehnoloogia eeldab kuut tunnust (Lin, Liao 2017, 653): 1) detsentraliseeritus, 2) läbipaistvus, 3) avatud lähtekood, 4) autonoomia, 5) muutmatus, 6) anonüümsus.

Eelmises alapeatükis toodi välja, et krüptoraha oluliseks erinevuseks ja eeliseks võrreldes traditsioonilise rahasüsteemiga on detsentraliseeritus, ehk transaktsiooni elluviimiseks ei nõuta kolmanda osapoole (nt finantsasutuse) osalemist. Kasutajate suurim väärtus on transaktsiooni kulude kokkuvõtte ja privaatsuse säilitamine, kuid viimast ei peeta riigiasutuste poolt alati positiivseks. (Fanning, Centers 2016, 54). Vastutava vaheorgani puudumist ja transaktsioonide turvalisust kompenseerib krüptograafia printsiip (Ahangama, Poo 2016, 165), sh digitaalsed allkirjad ja krüptograafia *hash*-funktsioonid (Badev, Chen 2014, 7). Mõlemaga puutub kasutaja kokku oma elektroonilises rahakotis, mida kasutatakse krüptoraha saamiseks ja saatmiseks ning muudetud saldost info haldamiseks avalikku ja privaatset võtit kasutades. (Dwyer 2015, 84) Avalikku võtit kasutatakse transaktsioonides olevate digitaalsete allkirjade verifitseerimiseks ning privaatset võtit digitaalsete allkirjade loomiseks (Chuen 2015, 45). Samas süsteemis on võimalik ka olukord, kus sõnumi loomine ja saamine on tehtud privaatse võtmega. (Böhme *et al.* 2015, 216). Krüptograafia *hash*-funktsioonide (Badev, Chen 2014, 9) algoritmid kinnitavad, et plokkides puuduvad vead ehk plokiahel muudab end turvalisemaks ja sissemurdmise võimatuks (Beck *et al.*, 2016, 4).

Iga uus ploki ahela transaktsioon peab olema kontrollitud, et maandada ühe transaktsiooni mitmekordse teostamise riski (Sotiropoulou, Guégan 2017, 468). Aktsepteeritud transaktsioonid grupeeritakse eraldi plokkides (Zohar 2015), mis seostatakse varem loodud plokkide ahelaga (Fanning, Centers 2016, 54). Iga järgmine plokk sisaldab eelmise krüptograafilist räsi, mis tõendab, et ühtegi varasemalt tehtud plokki ei ole muudetud (Kroll *et al.* 2013, 4).

Bitcoin näitel on ploki ahela süsteemi protsessis järgmised etapid (Lemieux 2016, 119):

1. Langetatakse otsus BTC üle kanda rahakotist 1 rahakotti 2.
2. Võrk kontrollib, kas esimeses rahakotis olev krüptoraha on piisav.
3. Automaatselt toimub transaktsiooni krüpteerimine ning tekib uus unikaalne plokk, mis sisaldab eelmise ploki linki ja ajatemplit.
4. Uue ploki kontrollimiseks ja kinnitamiseks saadetakse päring süsteemi kõikidesse sõlmedesse.
5. Pärast *proof-of-work* protsessi ahel uueneb ja info toimunud transaktsioonist on kättesaadav igale kasutajale, kuid selle sisu vaid vastava privaatselt võtme omanikule.

Ploki ahela tehnoloogia kasutusala ei ole finantstransaktsioonide teostamisega piiratud. Tehnoloogiat saab rakendada keemiatööstuses (Sikorski *et al.* 2017), tervishoiuvaldkonnas (Mettler 2016), transpordisüsteemides (Yuan, Wang 2016), sh logistikas ja mujal.

Krüptoraha väärtuse kujunemine on mõnevõrra keerukam protsess. Üheks lähenemiseks on Hayes (2017) ja Garcia *et al.* (2014) pakutav protsess, kus väärtuse kalkuleerimiseks käsitletakse krüptoraha varana ning selle fundamentaalseks väärtuseks määratakse kaevandamiseks nõutavad tootmiskulud, sh (Hayes 2017, 1316):

1. elektri hind ühe krüptoraha ühiku kohta;
2. krüptoraha kaevandamise algoritmi keerulisus;
3. energia tarbimine ühe ühiku kaevandamise kohta;
4. monetaarne turuhind.

Eisenmann *et al.* (2006) selgitavad aga **väärtusvõrgustikku**, mis on autonoomsete sõlmede kogum, kus väärtus tekib peamiselt erinevate sidusrühmade ühendamise ja sobitamise kaudu. Sõlmed opereerivad ühes raamistikus, kuid neid võib käsitleda eraldiseisvalt. Põhitunnuseks on nende üksuste vastastikune täiendavus, seega mida rohkem koostisosi võrgustikus on, seda rohkem on ta ka väärt ehk võrgustik kasvatab ise enda väärtust. (Peppard, Rylander 2006, 132)

Krüptoraha turu efektiivsus

Turu efektiivsuse hüpotees eeldab, et igasugune info kajastub kohe ja täielikult vara hinnas (Fama 1970, 384), st vara hinna muutus on lühiajaliste spekulatiivsete optimismi- või pessimismilainete tulemus, kuid kasumiprognosisega nõrgalt seotud (Pearce 1987, 16). Efektiivsusel on kolm astet (tugev, keskmine, nõrk) (Jensen 1978, 3) ja need sõltuvad sellest, milline info liik kajastub vara hinnas.

Turu **nõrk efektiivsus** (ingl *Weak-form efficiency*) eeldab tulevaste hinnaliikumiste sõltumatust mineviku hinna kõikumistest (Moustafa 2004, 310), st hinnaliikumiste trendid puuduvad ning edasine käitumine on prognoosimatu (Poshakwale 1996, 607; Loh 2007, 1004). See tähendab, et kõik hinnad kajastavad vaid mineviku infot (Olowe 1999, 56; Rahman, Hossain 2006, 3) ja seetõttu on investoritel võimatu kasutada statistilisi meetodeid valesti hinnatud varade avastamiseks ja regulaarselt saadava tulu garanteeritava strateegia arendamiseks (Khan, Vieito 2012, 176).

Turu **keskmine efektiivsus** (ingl *Semi-strong efficiency*) tähendab, et käesolev hind sisaldab kogu vabalt kättesaadavat infot (Fingleton 1978, 582; Hussin *et al.* 2010, 37). Avalikku infot on tarbetu kasutada hindade prognoosimiseks ja seega ka investeerimisstrateegia kujundamiseks (Groenewold, Kang 1993, 405). Sellest tulenevalt on investoril eelis ja võimalus kauplemisest kasu saada vaid juhul, kui ta valdab sisemist infot (Gross 1988, 67).

Tugev turuefektiivsuse (ingl *Strong-form efficiency*) vorm eeldab, et iga info liik, sh minevik, avalik ja sisemine (Aga, Kocaman 2011, 45) kajastub vara hinnas täies ulatuses (Finnerty 1976, 1141). Sellisel turul on hinnad alati õiglased ning investoritel, tehnilise või fundamentaalanalüüsi teostajatel ja sisestel kauplejatel puudub võimalus turgu lüüa (Brealey *et al.*, 1999; Yalçın 2010, 28).

Krüptoraha olemus ja kasutatav tehnoloogia ületavad klassikalise ebaefektiivse turu teatud piirid. Plokiahela süsteemis on kõik transaktsioonid salvestatud pearaamatusse, mille sünkroniseeritud koopia on kättesaadav igale kasutajale (Ølnes 2017, 356; Turk, Klinc 2017, 642). Plokiahela detsentraliseeritud süsteemis (Ziegeldorf *et al.* 2018, 450) toimuv andmete jagamine ei eelda kolmanda isiku vahendamist (Jiang *et al.* 2017, 1), sisemine info süsteemis puudub. Ülaltoodust selgub, et plokiahela süsteemi igal osalejel on kogu mineviku info võrdsel määral kättesaadav.

Oluline on ka see, et ploki kaevandamise kiirus ja kasutajate poolt aktsepteerimine on reguleeritav, (Beck *et al.* 2016, 5), mis tähendab, et info iga aset leidnud transaktsiooni kohta on kättesaadav pidevalt umbes sama kiirusega, st Groenewoldi ja Kangi (1993) kriteerium info levitamise kiirusest ei ole siin asjakohane. Iga transaktsiooni käigus ostetakse plokiahela süsteemis kõiki sisendeid ning juhul kui väljundi summa erineb, on selle vahe transaktsioonikulu, mis on ka kaevandajate lisamotivatsiooniks (Ziegeldorf *et al.* 2018, 450). Kuna transaktsioonikulu ei võrdu nulliga, siis Fama (1970) minimaalsed kriteeriumid efektiivse turu eksisteerimiseks ei ole täidetud. Krüptoraha turgude efektiivsuse uurimisvaldkond on veel küllaltki noor ning autor leidis vaid mõned uuringud krüptoraha turu efektiivsusest – nende tulemustest antakse ülevaade alapeatükis 1.3.

1.2. Arbitraaž

Arbitraaž on riskivaba kasumi teenimise eesmärgil omavahel seotud tehingute jada, mis tekib hinnavahest erinevatel turgudel (Hull 1997, 14). Teoreetiliselt ei nõua selline arbitraaž kapitali ning sellega ei kaasne riski, sest kaupleja tulevased netorahavood on nulliga võrdsed ning kasum on käes viivitusega (Shleifer, Vishny 1997, 35). Samas eksisteerib puhas arbitraaž vaid täiuslikel kapitaliturgudel, sest reaalses maailmas teevad ebatäiuslik info ja vastuolud protsessi riskantsemaks ja kapitalimahukamaks (Mitchell *et al.* 2002, 551). Käesolevas töös peetakse arbitraažiks ka olukorda, kus risk on tehingu summa suhtes piisavalt väike. Arbitraažil on finantsturgude analüüsimisel oluline roll, kuna arbitraažitehingute teostamine soodustab hinnavahe vähenemist ja sellega seoses ka turgude efektiivsemaks muutmist (*Ibid.*). Tehingute teostamine nõuab tehnoloogiaressursse, turuosalejate teadmisi ja jõupingutusi, mis ületavad tihti investorite võimekuse (Beunza *et al.* 2006, 722).

Teoreetiliselt tekib arbitraaživõimalus siis kui turg on ebaefektiivne või ebatäiuslik (Hogan *et al.* 2004, 528) või kui on täidetud üks järgmistest tingimustest (Fleischer 2010, 243):

- tekib hindade erinevus sama toote kauplemisel erinevatel turgudel;
- samasuguse rahavooga kaks vara kaubeldakse erineva hinnaga;
- vara ostu-müügitehing toimub tulevikus fikseeritud hinnaga, mis ei võrdu selle nüüdiseväärtusega.

Arbitraaž on lühiajaline nähtus ning selle tuvastamine ja arvutamine kalkuleerimise algoritmiga on raskendatud. Sõltumata arbitraaži liigist peab arbitraaživõimaluse hindamisel olema tuvastatud vähemalt vara õiglane hind ja hinna erinevuse (ostu-müügihinna vahe ehk ingl *spread*) suurus. (Hsu *et al.* 2011, 3784)

Arbitreerija peab arvestama ka võimalike piirangutega, milleks on transaktsioonikulud, kauplemise piirangud, limiidid ja informatsiooni ebakindlus (teadmatus), mis võivad mõjutada oodatava kasumi suurust (Gu *et al.* 2018, 240).

Kauplemise piiranguteks on näiteks lühikeseks müügi piirang, mille esinemise korral võib finantsinstrumendi hind osutada ülehinnatuks (Jones, Lamont 2002, 208). Piirang võib negatiivse info või arvamuste kajastumist finantsinstrumentide hinnas ette aimata (Miller 1977) ning selle tuvastamiseks on kuus indikaatorit (Gu *et al.* 2018, 244): 1) hinna limiit, 2) lühikeseks müügi võimalus, 3) indeksfutuuri olemasolu, 4) ebalikviidsus, 5) kauplemismaht, 6) analüüsi ulatus.

Transaktsioonikulu leiab aset transaktsiooni teostamisel: näiteks komisjonitasu, maakleritasu, ülekandetasud. Transaktsioonikulu ja arbitraaži vahel on seos: mida kõrgem on transaktsioonikulu, seda suurem on potentsiaalne valehindamine ja arbitraažitehing võib muutuda teostaja jaoks vähematraktiivseks. (Pontiff 2006, 38)

1.2.1. Arbitraaži strateegiad klassikalistel finantsturgudel ning selle tuvastamine

Kolmnurkne arbitraaž on tehing, mis tekitab arbitreerijale kasumi kolme valuuta vahetuskursi kaudu (Aiba *et al.* 2003, 254) ning seetõttu on oluline käesoleva magistritöö seisukohalt mõistet detailsemalt selgitada. Arbitraaživõimalus tekib kahel põhjusel (Foucault 2017, 1055):

1. vahetuskursside asümmeetriline kohandamine uuele infole;
2. hinnasurve mõju.

Sellest tulenevalt jagatakse kolmnurkse arbitraaživõimalused mürgisteks (ingl *toxic*), juhul kui pärast arbitraažitehingute teostamist tekib ühesuunaline hindade muutus ja mittemürgiseks (ingl *nontoxic*), juhul kui tekib vastupidine efekt. (*Ibid.*) Arbitraaži tuvastamiseks kasutatava valimi andmed peavad vastama järgmistele kriteeriumitele (Foucault 2017, 1055; Fenn *et al.* 2009, 1106; Akram *et al.* 2008, 238):

1. kõrge sagedus;
2. andmeühiku lühike elutsükkel;

3. masina kasutamine on andmete töötlemisel inimese oskustest efektiivsem;
4. iga tehing annab väikest kasumit;
5. valimi pikk periood.

Dollari, jeeni ja euro vahelise arbitraaži eksisteerimise kontrollimiseks ja kvantifitseerimiseks defineerivad Aiba *et al.* (2002, 2003) ja Aiba, Hatano (2004) arbitraaži määrad korrutisena (ingl *rate product*):

$$\mu(t) \equiv \prod_{x=1}^3 r_x(t) \quad (1)$$

kus

$$r_1(t) \equiv \frac{1}{\text{yen-dollar ask}(t)}$$

$$r_2(t) \equiv \frac{1}{\text{yen-euro ask}(t)}$$

$$r_3(t) \equiv \text{yen-euro bid}(t)$$

Kolmnurkne arbitraaž esineb tingimusel, kui määrade korrutise väärtus on kõrgem kui üks.

Statistiline arbitraaž on rida strateegiaid, mille üldtunnuseks on kasumi saamine varade hinna statistilise divergentsi tõttu. Varad ei pruugi olla omavahel otseselt seotud, kuid hindade käitumine peab olema ajalooliselt sarnane. (Galenko *et al.* 2007, 3) See tähendab, et selle liigi arbitraaž on varade hinna statistiline alahindamine, mis tuleneb sama vara või teiste finantsinstrumentide eeldatavatest hindadest pikaajalises perspektiivis. Seega on arbitraaži tekkimine tugevalt seotud turu võimega läheneda ajaloolisele või prognoositud keskmisele. (Miao 2014, 96) Statistilise arbitraaži üheks liigiks on paaride kauplemine (ingl *pairs trading*) (Elliott *et al.* 2005, 271), mis eeldab esmajärjekorras tugeva korrelatsiooni või kointegratsiooniga varade valikut (Miao 2014). Lisaks on soovitatav valida ühes harus tegutsevaid varasid, kuna üldjuhul on hindade kõikumine ühes ulatuses. Kui varade valik on teada ja hindade käitumine on uuritud, peab jälgima *spread*'i. Kui varade hinnad hakkavad hargnema ning *spread* muutub keskmisest suuremaks, avavad investorid positsioone, mis eeldavad selle kitsendamist. See tähendab, et avatakse odavama vara pikk positsioon ning sama hinna eest müüakse kallim vara ehk teisisõnu avatakse lühike positsioon. Hindade lähenemine tagasi keskmisele on garanteeritud tugeva korrelatsiooni tõttu.

Kui *spread* on taas keskmine, lõpetatakse mõlemad positsioonid. (Dunis *et al.* 2010, 3, Avellaneda, Lee 2010, 761). Dunis *et al.* (2010) arvutavad *spread*'i järgmiselt:

$$z_t = PY_t - \beta PX_t \quad (2)$$

kus

z_t – *spread*'i väärtus hetkel t

PX, PY – varade X ja Y hinnad hetkel t

β – adaptiivne koefitsient perioodil t

Sõltuvalt kaubast ja börsist, võib hinna *spread*'i kauplemise jagada (Hsu *et al.* 2011 viidatud Moles, Terry 1997) turgudevaheliseks või turusiseseks. Turgudevaheline *spread* ehk hindade erinevus on kas kahe tugevalt seotud finantstoote kauplemine ühe börsi piires või kahe samasuguse toote kauplemine erinevatel börsidel. Turusisene *spread* eeldab arbitraažitehingut ühe alusvaraga seotud, kuid erinevate küpsusperioodidega instrumentide vahel. (*Ibid.*) Arbitraaž tekib, kui *spread*'i suurus ületab komisjonitasu.

Arbitraaži puhul räägitakse ka **topelt-noteeritud ettevõtetest** (ingl *Dual-listed Companies*, DLC), milleks on turuspetsiifika tõttu kaks koos tegutsevat või ühinenud firmat, mis on juriidiliselt eraldatud ning kodeeritakse kaheks eraldiseisvaks börsiüksuseks (De Jong *et al.* 2009, 496; De Jong *et al.* 2004, 5). Käesoleva töö raames sellele aga pikemalt tähelepanu ei osutata, kuna krüptoraha arbitraaži puhul ei ole tegu analoogiga topelt noteeritud ettevõtetest, vaid ühe ja sama valuuta noteerimisega erinevatel börsidel (kauplemisturgudel). Sarnasus on seega pigem **ristnoteerimisega** (ingl *cross listing*), kus erinevatel börsidel kaubeldav aktsia peaks olema ühe ja sama hinnaga (Liu 2014, 39), kuid oluline erinevus DLCst on selles, et tegu on ühe ja sama ettevõtte aktsiaga, mida on otsustatud erinevatel börsidel noteerida. Vastavalt ühe hinna seadusele (ingl *Law of One Price*) peab identsetel väärtpaberitel, st sama rahavoogudega finantsinstrumentidel, olema üks ja sama hind. Reaalses elus see olukord alati kehti, seega osadel investoritel on võimalik väärtpaberit odavamalt osta ja kallimalt müüa ehk teostada arbitraažitehingut (Lamont, Thaler 2003, 192).

1.2.2. Arbitraaživõimalused krüptoraha turgudel

Käesolevas magistritöös kasutatakse valuutapaaride kodeerimisel järgmisi lühendeid: BTCEUR (Bitcoin eurodes), BTCUSD (Bitcoin USA dollarites), ETHEUR (Ethereum eurodes), ETHUSD (Ethereum dollarites), ETHBTC (Ethereum Bitcoin'ides), LTCEUR (Litecoin eurodes), LTCUSD (Litecoin dollarites), LTCBTC (Litecoin Bitcoin'ides).

Kuna igal krüptorahal on börsidel kättesaadav andmete kogum klassikaliste finantsinstrumentidega sarnane, siis rakendavad krüptoraha uurijad krüptoraha arbitraaži olemasolu tuvastamiseks klassikaliste arbitraažistrateegiate põhimõtteid (nt kolmnurkne arbitraaž) (vt alapeatükk 1.3).

Antud uurimuses keskendutakse ristnoteeringu ja kolmnurkse arbitraaži uurimisele. Nagu eelnevas peatükis mainitud, siis esimene võib tekkida olukorras, kus sama krüptoraha on erinevatel börsidel erineva hinnaga; teine tekib näiteks juhul kui:

- BTCEUR ja BTCUSD omavahel jagades on erinevus investorile kättesaadava EURUSD kursiga (võimalik näiteks osta eurode eest Bitcoinini ning müüa see USD vastu);
- BTCEUR ja LTCEUR jagatis ei ole sama, mis börsil kaubeldav BTCLTC hind, mis tekitab jällegi võimaluse arbitreerimiseks.

Oluline on välja tuua veel üks potentsiaalne arbitraaživõimalus, kuigi see ei ole käesoleva töö fookuses. Nimelt arvestades krüptoraha olemust ja tekkimise protsessi, on kaevandajatel teoreetiliselt võimalik kasutada ressursse omapärast liiki arbitraaži teostamiseks nn altcoine kasutades (s.o kõik krüptorahad, va Bitcoin) (Serapiglia *et al.* 2015, 45). Erinevate müntide kaevandamise protsess võib olla sarnane, seega erinevate tark- ja riistvara kombinatsioonidega saab kaevandada erinevaid krüptorahasid. Arbitraaživõimalus tekib juhul kui mõnd altcoini on teatud perioodil lihtsam kaevandada ning kaevandatud raha on võimalik kohe Bitcoiniks vahetada. Sisuliselt kaevandatakse mingit muud krüptoraha, mida on hetkel efektiivsem kaevandada, vahetades see Bitcoinide vastu ning saades seeläbi rohkem Bitcoine kui otse Bitcoinini kaevandades. (Hayes 2015, 3)

1.3. Varasemalt teostatud uurimused

Kuna arbitraaži tekkimise eelduseks on ebaefektiivne turg, vaatleb autor esmalt varasemate uuringute tulemusi, mille põhifookus on krüptoraha turgude efektiivsuse vormide kontroll (vt tabel 1).

Tabel 1. Krüptoraha turgude efektiivsuse eelmised uuringud

Autor (aasta)	Periood	Valim	Tulemus
Urquhart (2016)	01.08.2010-31.07.2016 (alaperioodid 01.08.2010-31.07.2013, 01.08.2013-31.07.2016)	BTC/USD viimased päevased hinnad (2183 andmepunkti, vastavalt 1089 ja 1094 andmepunkti alaperioodides)	Bitcoin turg ei vasta nõrgale efektiivsuse vormile.
Bartos (2015)	04.03.2013 - 31.07.2014	LTC/USD ja BTC/USD päevased andmed (349 andmepunkti)	Hinnad reageerivad nii negatiivsetele kui ka positiivsetele sündmustele, seega efektiivse turu hüpotees kehtib.
Bariviera (2017)	18.08.2011-15.02.2017	BTC päevased andmed (1435 andmepunkti)	BTC hinna pikaajalise dünaamika uurimus näitas, et turg on pigem efektiivne.
Alvarez-Ramirez <i>et al.</i> (2018)	30.06.2013-03.06.2017	BTC/USD päevased andmed (1435 andmepunkti)	95% usaldatavuse nivool on Bitcoin turg efektiivne.
Nadarajah, Chu (2017)	01.08.2010-31.07.2016 (alaperioodid 01.08.2010-31.07.2013, 01.08.2013-31.07.2016)	BTC/USD viimased päevased hinnad (2191 andmepunkti, vastavalt 1095 ja 1095 andmepunkti alaperioodides)	Nii kogu perioodi kui ka alaperioodi turg on nõrgalt efektiivne
Kurihara, Fukushima (2017)	17.07.2010-29.12.2016	BTC päevased andmed kõikidelt börsidelt	Bitcoin turg ei ole nõrgalt efektiivne
Vidal-Tomás, Ibañez (2018)	13.09.2011-25.02.2014, 13.09.2011-17.12.2017	Logaritmitud päevased BTC tootluse andmed MT.Gox ja Bitstamp börsidelt (896 ja 2287 andmepunkti)	Bitcoin turg on ebaefektiivne

Allikas: autori koostatud

Ülaltoodud Tabelist 1 võib näha, et seni teostatud uurimused krüptoraha turu efektiivsusest ei ole kõik jõudnud ühele ja samale järeldusele. Isegi sama valimi kasutamine erinevates uurimustes on toonud vastuolulisi tulemusi. See tähendab, et ei saa välistada turu ebaefektiivsust, mis omakorda võib viidata arbitraaživõimalusele (Levi 2005, 283) krüptoraha turul.

Gandal ja Hałaburda (2014) uurisid kolmnurkse arbitraaživõimalusi erinevate börside vahel ja ühe börsi piires. Autorid tuvastasid lühiajalisi arbitraaživõimalusi vaid börsidevaheliste tehingute teostamiseks. Lisaks tegid autorid ettepaneku, et arbitraaživõimalus võib olla elimineeritud komisjonitasu tõttu. Analüüsi teostamiseks uurisid autorid seitsme krüptoraha hinnaliikumist perioodil 2.05.2013 – 30.09.2013 (152 andmepunkti) ja 01.10.2013 - 28.02.2014 (150 andmepunkti). Valituks osutusid Bitcoin, Litecoin, Peercoin, Namecoin, Fethercoin, Novacoin, Terracoin. Hindade võrdlemiseks võtsid autorid andmed Cryptsy, Bitfinex, Bitstamp ja BTC-e börsidelt. Kõigepealt teostati korrelatsioonianalüüs ning seejärel arbitraaži tuvastamiseks regressioonianalüüs. Uurimus sai aga kriitikat väikese valimi mahu (Hayes 2017, 1310; Böhme *et al.* 2015) ja valitud baasvaluuta (USD) tõttu (Hayes 2017, 1310).

Eelmisest uurimused erinevalt teostasid Pieters ja Vivanco (2015) börsidevahelisi arbitraaživõimalusi kasutades eelmisega sarnaselt korrelatsiooni- ja regressioonianalüüsi. Uurimuses kasutati Bitcoinit ja 18 valuutavahetuskursi keskmiseid päevaseid andmeid seitsmelt börsilt, perioodil 1.01.-31.12.2014. Lisaks kasutati erinevalt Gandalist ja Hałaburdast (2014) arbitraaži stsenaariumis kaht traditsioonilist valuutat ja üht krüptoraha, mitte vastupidi. Arbitraažitehingutest saadud keskmine kasum oli kuni 1,47%.

Pichl ja Kaizoji (2017) poolt teostatud Bitcoinit hinnavolatiilsuse uurimuse käigus tuvastati kolmnurkse arbitraaživõimalus Krakeni börsil, selle leidmiseks uuriti BTC, EUR, USD ja CNY valuutasid perioodil 08.02.2013 – 07.04.2017. Tulemused näitasid, et BTC-EUR-USD vahelistes tehingutes oli arbitraažist saadud kasum alla ühe protsendi transaktsiooni summast. Samas kui sisendiks oli CNY, kasvas tehingutest saadud kasum viie protsendini (5%).

2. ANDMED JA METOODIKA

Käesolevas magistritöös kombineerib autor kvantitatiivset ja kvalitatiivset analüüsi, kuna antud juhul annab kvalitatiivsest analüüsist (dokumendianalüüs) saadud informatsioon vajaliku sisendi kvantitatiivse meetodi (stsenaariumianalüüsi) rakendamiseks ning stsenaariumianalüüsi tulemuste abil leitakse hiljem VAR-modelleerimisel kasutatavad aegread. Käesoleva peatüki esimeses osas tuuakse esile kvantitatiivses analüüsis kasutatavate andmete kirjeldus ja andmete valimise printsiip. Peatüki teises osas on toodud kasutatavate meetodite kirjeldus ja andmete töötlemise protsess.

2.1. Kasutatavate andmete kirjeldus

Kvantitatiivsete uurimismeetodite rakendamiseks kasutab autor Coinbase'i, Krakeni ja Bitstampi krüptoraha börside kolme krüptoraha – Bitcoin, Litecoin ja Ethereum – tunniseid andmeid perioodil 17.08.2018 kell 13.00 – 01.04.2018 kell 00.00. Vaadeldava perioodi vältel on esitatud nii vähese volatiilsusega ajavahemikud kui ka need perioodid, mil volatiilsus on olnud märkimisväärselt kõrge (vt Lisa 2). See võib võimaldada paremat arbitraaživõimaluste ülevaadet erinevates turu faasides. Igalt börsilt on saadud 8 paari andmeid, st kokku 24 paari. Analüüsi teostamiseks valiti erinevad krüptorahad lähtudes andmete kättesaadavusest valitud börsidel.

Igas uuritavas valuutapaari aegreas on 5436 andmepunkti, mis laaditi cryptocompare.com serverist selleks loodud vastava liidese (ingl *Application Programming Interface*, API) kaudu 2018. aasta aprilli esimestel päevadel.

Andmete hankimisel tuvastati Krakeni börsi serveri tõrge perioodil 11.01.2018 kell 5.00 kuni 14.01.2018 kell 17.00 (ca 84 tundi), mil hinnad ei muutunud, seega Krakenis selle perioodi kohta andmed puuduvad. Kuna puuduolevate andmete ignoreerimine tekitaks teatud raskused edasiste analüüside teostamisel, otsustati kohandada Coinbase'i ja Bitstampi börside andmed Krakeni börsi

andmete tuletamiseks, arvutades nimetatud perioodiks Krakeni väärtused Bitstampi ja Coinbase'i väärtuste keskmisena.

Bitcoin on esimene krüptoraha, mis on köitnud suurel määral ühiskonna tähelepanu. Bitcoin töötati välja eelmise ülemaailmse majanduskriisi ajal 2008. aastal põhjusel, et traditsioonilises elektroonilises kaubanduses on liiga suured tehingutasud ning tarbijate privaatsuse tagamine on küsimärgiga. Kokku on programmi sisse kirjutatud 21 mln Bitconi ning iga Bitcoini ploki kaevandamine võtab ca 10 minutit. (Lustig, Nardi 2015).

Litecoini kaevandamise populaarsus sai alguse oktoobris 2011. Bitcoiniga sarnaselt on Litecoini sisuks avatud lähtekoodiga protokoll, mida ei halda ükski asutus ega organisatsioon. Ühe Litecoini ploki töötlemine on Bitcoini omast kiirem, võttes aega 2,5 minutit. Litecoini võrgustikus toodetakse kuni 84 mln krüptoraha ühikut ehk ligikaudu neli korda rohkem kui Bitcoine. (Gibbs, Yordchim 2014, 2634).

Ethereum on detsentraliseeritud Turingi-täielikus baitkoodis (ingl *Turing-complete bytecode language*) kirjutatud virtuaalmasin, mis käivitab programme nimega lepingud (ingl *contracts*) (Bartoletti *et al.* 2017, 4). Ethereumi kaevandamise protsess on teiste krüptorahadega sarnane ning iga ploki genereerimine võtab aega ca 12 minutit (Atzei *et al.* 2017, 166). Ethereumi programmis kavatakse luua 15,6 mln krüptoraha (Dannen 2017, 144).

Iga kasutatava valuutapaari kirjeldav statistika on toodud Lisas 3. Tabelist on näha, et Bitcoini keskmise-, mediaan- ja maksimumhinna näitajad on kolme börsi vahel erinevad. Antud olukord esineb nii dollarites kui ka eurodes väljendatud paaride puhul. Samuti on näha märkimisväärset erinevust eurodes väljendatud Ethereumi keskmiste hindade puhul. See on juba esimene märk, et võivad eksisteerida arbitraaživõimalused: üks ja seesama vara on vaadeldaval perioodil olnud erinevatel börsidel erineva keskmise hinnaga.

Mainimist väärrib asjaolu, et Ethereumi hinna strandardhälve jääb ligikaudu samale tasemele ja nii olulist erinevust nagu Bitcoini puhul ei esine. Viimasena tasub välja tuua, et teiste altcoinide seas ei esine erinevate börside kontekstis nii märkimisväärseid erinevusi hindade vahel. Näitajate vahe börside vahel viitab sellele, et sama krüptoraha hind erinevatel börsidel ei ole identne, st võib olla täidetud alapeatükis 1.2. mainitud arbitraaži tekkimise tingimus. Hindade erinevust uurib autor täpsemalt stsenaariumianalüüsis.

Nota bene! Töös kasutatavatele valuutapaaride noteeringutele liidetakse stsenaariumianalüüsis ning VAR-mudelites kauplemiskeskonna eristamiseks ette keskkonna nime esimene täht, nt Bitstampi BTCEUR tähistatakse BBTCEUR, Coinbase'il kaubeldav LTCEUR tähistatakse CLTCEUR jne.

2.2. Töös kasutatavad meetodid

2.2.1. Korrelatsioonianalüüs

Krüptoraha hindade käitumise seaduspärasuse uurimiseks ja selle kasutamiseks arbitraaživõimaluse tuvastamisel nii iga börsi lõikes kui ka börside vahel teostatakse korrelatsioonianalüüs. Kuna tavaline Pearsoni korrelatsioonimaatriks ei anna võimalust uurida nihkega aegridade seost, teostab autor ristkorrelatsiooni analüüsi (ingl *cross-correlation analysis*). Ristkorrelatsiooni funktsioon mõõdab, kui võrd tihedalt on kaks aegrida omavahel seotud kas samal ajal või erinevatel ajahetkedel. Lisaks näitab ristkorrelatsioon, kuidas üks protsess mõjutab teist, kuid oluliseks puuduseks on see, et põhjus-tagajärg seos ei selgu. (Scargle 1989, 878) Ristkorrelatsioon aegrida X ja Y vahel on leitav järgmise funktsiooni abil (Mladenov *et al.* 2014; 41):

$$r_{XY}(\tau) = \frac{\sum_{t=\text{maksimum}\{0,\tau\}}^{\text{min}\{(T^x-1+\tau),(T^y-1)\}} x(t-\tau) \times y(t)}{\sqrt{\sum_{t=\text{maksimum}\{0,\tau\}}^{\text{min}\{(T^x-1+\tau),(T^y-1)\}} x(t-\tau)^2 \times \sum_{t=\text{maksimum}\{0,\tau\}}^{\text{min}\{(T^x-1+\tau),(T^y-1)\}} y(t)^2}} \quad (3)$$

kus

$r_{XY}(\tau)$ – X ja Y aegridade ristkorrelatsiooni funktsioon hetkel τ , kus $\tau \in [-(T^1-1), \dots, 0, \dots, (T^2-1)]$

T_x, T_y – vastavate aegridade pikkus

Uuritavate aegridade X ja Y *spread*'il, $\Delta(X,Y)$ peavad olema täidetud järgmised omadused (Allen, Mills 2004, 339):

1. vahemaa aegridade vahel ei ole negatiivne ehk $\Delta(X,Y) \geq 0$ iga x ja y jaoks;
2. identiteedi omadus ehk $\Delta(X,Y)=0$ ainult $X=Y$ tingimusel;
3. sümmeetrilisus ehk $\Delta(X,Y)=\Delta(Y,X)$;
4. kolmnurkne ebavõrdsus ehk iga Z jaoks $\Delta(X,Y) \leq \Delta(X,Z) + \Delta(Z,Y)$;

Korrelatsiooni koefitsiendi tulemus ei ületa $|1|$ (Mladenov *et al.* 2014; 41). Negatiivne tulemus viitab aegridade vastupidisele kujule ning positiivne skoor rõhutab ridade kujude sarnasust. Nullile lähedane tulemus näitab seoste puudumist aegridade vahel. (Debella-Gilo, Kääb 2011, 132). Arvestades, et krüptoraha börsid tegutsevad ilma kindlate kauplemisaegadeta, teostas autor iga uuritava paari tootluse andmete korrelatsioonianalüüsi kuni 12-tunnise viitajaga. See lubab arvestada pidevalt toimiva kauplemisprotsessiga praktiliselt kõigis ajavööndites. Kokku teostati korrelatsioonianalüüs 576 paarile (kombinatsioonid 24 aegreast kahekaupa). Lisaks teostas autor uuritavate paaride ja S&P 500 indeksi vahelise korrelatsioonianalüüsi, eesmärgiga võrrelda üldist maailmaturu suunda ja krüptobörside tegutsemist. Kuna mainitud indeks on kaubeldav teatud kellaaegadel ning analüüsi sisendiks on ristikorrelatsiooni analüüsiga sarnaselt viimased hindade tootluse andmed, siis valis autor omavahelise seose uurimiseks kell 23.00 krüptobörsidel olevad viimased hinnad.

2.2.2. Dokumendianalüüs

Käesoleva töö raames kasutatakse dokumendianalüüsi arbitraažitehingute realiseerimist takistatavate olukordade ja tingimuste tuvastamiseks ning saadud tulemusi kasutatakse stsenaariumianalüüsi koostamiseks.

Dokumendianalüüs on dokumentide uurimiseks, nende mõistmiseks ja hindamiseks vajalik tegevuste kogum, sh libisemine (ingl *skimming*), lugemine ja tõlgendamine (Bowen 2009, 27). Uurimismeetod hõlmab sisuanalüüsi (ingl *content analysis*) ja temaatilise analüüsi (ingl *thematic analysis*) tunnuseid (*Ibid.*). Sisuanalüüs on teoreetiliste lähtekohtade uurimismeetod (Krippendorff 1980), mille eesmärk on uuritava objekti kokkuvõtliku ja laiaulatusliku kirjelduse, sh mõistete ja kategooriate saamine (Elo, Kyngäs 2008, 108; Hsieh, Shannon 2005, 1285). Temaatiline analüüs eeldab teema uurimiseks ja kirjeldamiseks oluliste teemade leidmist tekstist, teemad identifitseeritakse korduva lugemise teel (Fereday, Muir-Cochrane 2006, 82).

Käesoleva töö raames keskendutakse manifesti sisule (ingl *manifest content*), mis käsitleb teksti sisu, sh milliseid nähtusi ja komponente kirjeldab tekst, või varjatud sisule (ingl *latent content*), mis hõlmab teksti interpreteerimist ja seoste otsimist (Graneheim, Lundman 2004, 106).

Standardne dokumendi analüüsimise protsess sisaldab järgmisi põhisamme (O'Leary 2004, 179):

1. Planeerimine, sh uurimisdokumentide loetelu koostamine, vajadusel dokumentide omanike nõusolekute küsimine andmete hankimiseks ja töötlemiseks. Määratakse kindlaks, millist andmetüüpi uurija vajab uurimisküsimusele vastamiseks.
2. Dokumentide hankimine ja haldamine.
3. Ülevaatamine, sh teksti usaldusväärsuse ja autentsuse hindamine.
4. Küsitlemine, sh taustainfo uurimine, sisuga tutvumine, edastamiseks “soovitud” ja “soovimatu” info otsimine.
5. Peegeldamine, andmete hankimisel, üle vaatamisel ja sisu uurimisel tekkinud raskuste kajastamine, plaani muutmine ja muudetud versiooni elluviimine.
6. Andmete (dokumentide) analüüs.

Analüüsi teostamiseks sobivaks materjaliks võivad olla tekstipäevikud, intervjuud, artiklid, pildid, käsiraamatud, märkmed, arhiivid ja dokumendid (Petty *et al.* 2012, 381). Valitud tekstist saadav info peab tagama viie spetsiifilise funktsiooni täitmise (Bowen 2009, 30):

1. Uurimiskonteksti ülevaate tagamine, nt ajaloolised nähtused, võimalikud mõjutegurid jms.
2. Vihjamine, millistele olukordadele peab uurija erilist tähelepanu pöörama või mida peab küsima järgmisel intervjuul (kui see on plaanis).
3. Teadmistebaasi täiendamiseks vajalike üksikandmete tagamine.
4. Andma võimaluse uurida toimunud muutusi tingimusel, et dokumentide varasemad versioonid on uurijale kättesaadavad.
5. Olema sobilik muudest allikatest leitud ja tuvastatud arvamuste kinnitamiseks.

Analüüsi käigus tuvastatakse alapeatükis 1.2.2. toodud arbitraaži piiranguid ja pööratakse tähelepanu ka muudele aspektidele, mis võivad takistada arbitraažitehingu teostamist. Arvestades varem toodud nõudeid uuritavatele materjalidele, koostas autor analüüsitava dokumentide loetelu ning määratles igast dokumendist otsitava info liigi (vt Tabel 2). Autor vaatas vaid uuritavat krüptoraha (st BTC, ETH, LTC) puuduvat infot. Dokumendid on kättesaadavad otseselt uuritavate börside veebilehtedelt. Kuna Coinbase Inc haldab nii enda Coinbase'i kui ka GDAX platvormi, siis on kasutajate kontod omavahel seotud. See tähendab, et kasutajad saavad ilma takistuseta kaubelda mõlema konto abil ilma ajalise ega rahalise kulutuseta. Sellest tulenevalt on dokumendianalüüsis nii Coinbase'i kui ka GDAX'i dokumentatsioon.

Tabel 2. Uuritavate dokumentide loetelu ja otsitava info liik

Uuritav dokument	Börs	Otsitav info
Hinnakiri	Coinbase/GDAX, Kraken, Bitstamp	Börsi halduskulude, komisjoni-, sh transaktsiooni-, deposiidi- ja väljavõtutasude summad; sisenemiseks ja kauplemiseks nõutavad lisatasud ja miinimumnõuded; ümardamise printsiibid.
Börsi uudised uuritaval perioodil	Coinbase, Kraken, Bitstamp	Maksmissüsteemide toimetamise ajutise peatamisega, transaktsiooni kiiruse või tähtajaga seotud uudised
Korduma Kippuvad Küsimused (edaspidi KKK)	Coinbase, GDAX, Kraken, Bitstamp	Verifitseerimise, lisakulutuste suuruste ja maksmise kohustuste, transaktsiooni teostamise protsessi, tellimuste esitamise ja lõpetamisega seotud küsimused
Kasutustingimused	Bitstamp, Kraken	Vanusepiirang; börsi õigused konto külmutamiseks ja kinni panemiseks; koostöö kolmandate veebilehtedega; börsi kohustuste ja vastutuste ulatus; riskide alandamine; finantsregulatsioon; mõisted, sh transaktsiooni tüübid
Privaatsuspoliitika printsiibid	Bitstamp, GDAX Kraken	Personaalse info kasutamine, sh verifitseerimiseks vajalikud andmed
Rahapesu tõkestamise kord	Bitstamp	Poliitika miinimumstandardid; sanktsioonipoliitika
Riski hoiatus	Bitstamp	Kauplemise käigus võimalike riskide kirjeldamine
Coinbase'i kasutajaleping	GDAX	Vanusepiirang; verifitseerimiseks vajalik info ja piirangud; maksesüsteemi kasutamise tingimused ja piirangud; koostöö kolmandate veebilehtedega; börsi kohustuste ja vastutuste ulatus; kaupleja lisakulud; tellimuste esitamine ja kinni panemine; transaktsiooni edasi lükkamine ja keelamine; sanktsioonipoliitika; keelatud toimingud ja äritegevused; tark- ja riistvara nõuded; võlgade kustutamise tingimused.
Kauplemisreeglid	GDAX	Kauplemistasude soodustused; tellimuse alam- ja ülempiirid; tehniliste tõrgete esinemise võimalus; keelatud tegevused; planeeritud seisaku tingimused
Üldküsimused	GDAX	ETH kasutamise ohud, piirangud riikide lõikes, deposiidi, kauplemise, saldode, väljavõtu limiidid
Deposiidid ja väljavõtted	GDAX	Transaktsiooni ooteaeg
Kauplemisabi	Kraken	Verifitseerimise protsess ja piirangud; fiat-raha deponeerimise ja väljavõtmise tingimused ja limiidid; deposiidi konto kehtivusaeg; Krakeni ja Cryptowatchi kontode seostamine; võimenduse piirangud; transaktsiooni teostamise tingimused ja piirangud

Allikas: autori koostatud

2.2.4. Stsenaariumianalüüs

Stsenaariumianalüüsi põhieesmärgiks on tuvastada arbitraaživõimaluste olemasolu uuritava perioodil ning kontrollida selle säilitamist või kaotamist pärast dokumendianalüüsi käigus leitud piirangute arvestamist. Käesoleva töö stsenaariumianalüüsis on alapeatükist 1.2.1. valitud kaks peamist arbitraažistrateegiat, sh börsidevaheline ja kolmnurkne arbitraaž. Kokku kontrolliti 45 börsisisesest ja -vahelise arbitraažistsenaariumi realiseerimisest saadud *spread*'e.

Erinevalt spekulatsioonist, kus kaupleja loodab kasumit teenida hetkel kehtiva ja tulevikus kallimaks muutunud hinna vahel, eeldab arbitreerija tehingu teostamist lühiajalise perioodi jooksul (Miyazaki 2007, 400). See tähendab, et arbitraažitehingu elluviimine ei nõua hinnaliikumise prognoosimist, vaid eeldab vahetuskursside pidevat jälgimist kaupleja poolt ning positiivse *spread*'i tekkimisel kasumi teenimist (Branch *et al.* 2008, 1192). Peatükist 2.1. selgub, et sama paari kirjeldav statistika erineb börside lõikes, mis tähendab, et kahel börsil olevad sama paari hinnad ei lange ühel ja samal hetkel kokku. Selline olukord vihjabki börsidevahelise arbitraaživõimaluse olemasolule. Selles veendumiseks uurib autor uurib iga paari hinda kolmel börsil, st uurib *spread*'ide olemasolu, nende suurust ja kestvust. Uuritava valimi näitel mõõdeti 24 börsidevahelist stsenaariumi.

Ühe krüptoraha börsi raames uurib autor kolmnurkseid arbitraažistrateegiaid, mis omakorda on jagatud kaheks tüübiks, mille näited tõi autor välja juba esimeses peatükis. Strateegiate üldvalemid tuletas autor Levi (2005) poolt pakutud valemitest, kus transaktsioonikuludega ei arvestata. Esimeseks tüübiks on kolmnurkne arbitraažistrateegia, kus võrreldavateks poolteks on otsesel ja kaudsel meetodil saadud ühe krüptoraha väärtus, mis on väljendatud teise krüptoraha kaudu. See tähendab, et arbitraaži osapoolteks on kaks krüptoraha ja üks *fiat*-valuuta ning arbitraažistrateegia näeb välja järgmine (Levi 2005, 45):

$$S(n/m) \leq S(n/f) \times S(f/m) \Rightarrow S(n/m) \leq \frac{S(n/f)}{S(m/f)} \quad (4)$$

kus

n, m – krüptoraha 1 ja krüptoraha 2

f – krüptoraha hinna väljendamiseks valitud *fiat*-raha

S viitab *spot* vahetuskursi kasutamisele.

Juhul kui samal börsil kättesaadav ühe krüptoraha noteering teise kaudu, näiteks Litecoini või Ethereumi noteering Bitcoinides, on väiksem kui valuutade vahetamisel saadud tulemus, siis on põhjus väita, et esineb kolmnurkse arbitraaživõimaluse (Moosa 2001, 387).

Erinevalt eelmisest osaleb kolmnurkse arbitraaži teises tüübis kaks *fiat*-valuutat ja üks krüptoraha. Stsenaariumi algoritm on valemis 4 tooduga sarnane (Levi 2005, 45):

$$S(r/l) \leq S(r/j) \times S(j/l) \Rightarrow S(r/l) \leq \frac{S(r/j)}{S(l/j)} \quad (5)$$

kus

r, l – *fiat*-valuuta 1 ja *fiat*-valuuta 2

f – valitud krüptoraha

S viitab *spot* vahetuskursi kasutamisele.

Antud stsenaariumi realiseerimiseks ehk võrrandi poolte võrdlemiseks peab krüptoraha börsilt saadud *fiat*-valuutade vahetuskursse võrdlema valuutaturu noteeringuga. Poolte võrdlemiseks hankis autor New-York FOREX-st uuritava perioodi EUR/USD tunnised noteeringud ning edasise analüüsi teostamiseks arvutas päeva keskmise euro hinna ühe dollari kohta. Andmete kohandamine teostati järgmistel põhjustel.

1. Erinevalt krüptobörsist on FOREX'i börsid avatud kindla perioodi jooksul, st New-Yorgi börs on avatud kell 8 kuni kell 17 (GMT -4) (Forex Market Hours...). Perioodil kell 17-8 on EUR/USD fikseeritud tasemel.
2. Iga *fiat*-valuuta vahetamisel arvestab pank päevast kurssi, mitte spetsiifilisel ajahetkel kehtivat noteeringut.

Autor kasutab stsenaariumi teostamiseks EURUSD päeva keskmist kurssi. Kokku uurib autor esimese ja teise tüübi vastavalt 12 ja 9 börsisisest arbitraažistsenaariumi.

Arvestades dokumendianalüüsi käigus otsitavat infot, mh raha ja mahuga seotud piiranguid ning eelnevalt kirjeldatud stsenaariumeid koos uuritud arbitraaži elluviimise piirangutega, teostab autor piirangutega stsenaariumid ning uurib *spread*'ide suurust.

Võttes arvesse komisjonitasusid börsidevahelisel arbitraažil, uuritakse *spread*'e sama valuuta ostu- ja müügihinna vahel. Börsisisese kolmnurkse arbitraaži strateegia puhul muudab komisjonitasudega arvestamine valemeid 4 ja 5 vastavalt (Levi 2005, 48):

$$S(n_o/m_m) \leq S(n_o/f) \times S(f/m_m) \Rightarrow S(n_o/m_m) \leq \frac{S(n_o/f)}{S(m_m/f)} \quad (6)$$

kus

n_o – krüptoraha n ostuhind

m_m – krüptoraha m müügihind

f – valitud *fiat*-valuuta

S viitab *spot* vahetuskursi kasutamisele.

$$S(r_o/l_m) \leq S(r_o/j) \times S(j/l_m) \Rightarrow S(r_o/l_m) \leq \frac{S(r_o/j)}{S(l_m/j)} \quad (7)$$

kus

r_o – *fiat*-valuuta 1 ostuhind

l_m – *fiat*-valuuta 2 müügihind

j – valitud krüptoraha

S viitab *spot* vahetuskursi kasutamisele.

Spread id on arvatatud eeldusel, et deponeerimiseks vajalik aeg pole oluline, kuna tehingu teostamiseks vajalik vara on börsikontol olemas, seega võetakse arvesse tavaülekande komisjonitasud, mitte kiirete tehingute jaoks kehtivad tasud. Lisaks eeldatakse töös, et kaupleja asub Euroopas, seega kõik rakendatavad komisjonitasud vastavad Euroopas kehtestatud summadele ja määradele.

Stsenaariumianalüüsi puhul tuleb märkida, et arbitraaži õnnestumiseks on oluline ka transaktsioonide kiirus. Autor rõhutab, et kuigi väiksematel börsidel oli suurte kauplemismahtudega perioodidel (nt november, detsember 2017) probleeme nii krüptoraha kui ka *fiat*-raha ülekannete kiirusega, siis valitud kolmel suuremal börsil liikusid ülekanded töö autori ja juhendaja isiklike kogemuste põhjal probleemideta (nii *fiat*-raha börsilt välja võtmine kui ka börsile deponeerimine).

2.2.2. VAR-modelleerimine ja algandmete töötlemine

Vektor-autoregressiivne mudel (ingl *Vector Autoregressive, VAR*) on „harilike vähimruutude meetodil hinnatud sümmeetriline võrrandisüsteem, milles iga muutuja pannakse sõltuma enda ja kõigi teiste süsteemi muutujate viitaegade väärtustest“ (Danilov 2003, 12). VAR-mudelid populariseeriti ökonomeetrias juba 1980. aastatel ühe muutujaga autoregressiivsete mudelite üldistusena (Brooks 2008, 290).

Lihtsaim viis VARi valemiga iseloomustada, on tuua kahe muutujaga süsteemi näide – allolevas võrrandisüsteemis on kaks muutjat y_{1t} ja y_{2t} , mille väärtused sõltuvad iseenda ja teise muutuja erinevatest k viitaegadest (*Ibid.*):

$$y_{1t} = \beta_{10} + \beta_{11}y_{1t-1} + \dots + \beta_{1k}y_{1t-k} + \alpha_{11}y_{2t-1} + \dots + \alpha_{1k}y_{2t-k} + u_{1t} \quad (8)$$

$$y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21}y_{2t-1} + \dots + \beta_{2k}y_{2t-k} + \alpha_{21}y_{1t-1} + \dots + \alpha_{2k}y_{1t-k} + u_{2t} \quad (9)$$

kus

u_{it} – valge müra protsess.

VAR-mudelit on varem kasutatud Gandali ja Hałaburda (2014) töös, kus teostati BTC/LTC ja BTC/USD omavahelise mõju uurimine. VARi raamistik tagab süstemaatilise lähenemise erinevate aegridade dünaamika haaramiseks. Andmete töötlemine ja interpreteerimine ei ole keerukas, seega VARi kasutatakse laialdaselt andmete kirjeldamiseks, prognoosimiseks, struktuuri tuletamiseks ja poliitika analüüsiks. (Stock, Watson 2001, 101).

Defusco *et al.* (2015) järgi ei ole suurem osa finantsaegridadest statsionaarsed, kuid oluline on rõhutada, et VAR-mudeli koostamise eelduseks on uuritavate aegridade statsionaarsus, kuna näiteks trend võib sisaldada deterministlikke polünoomi termineid (Lütkepohl 2011, 2). Kõikide uuritavate aegridade statsionaarsuse saavutamine võib olla raskendatud, kui valimi maht on liiga suur (Brooks 2008, 292).

Kuna ükski uuritavatest krüptoraha hinna aegridadest ei ole olemasoleval kujul statsionaarne (vt lisa 2), siis modelleerimise tarbeks leitakse esmalt hindade naturaallogaritmide (hindades on suur volatiilsus, kohati kuni mitu tuhat eurot päevas) ning seejärel leitakse tunni aja tootlused ($C_t / C_{t-1} - 1$), et viia modelleeritavad read statsionaarseks. Logaritmitud tootluste (ingl *log returns*) kasutamine diferentside ($C_t - C_{t-1}$) asemel viis ka tootlused samasse suurusjärku, kuna tegemist on tunniste andmetega ning näiteks BTC puhul võivad tunnised muutused olla mitusada eurot, LTC ja ETH puhul reeglina kuni mõnikümmend.

Kui hindade puhul oli silmaga eristatav selge trend ning keskväärtsus ei olnud null, siis pärast tootluste arvutamist on silmaga statsionaarsuse hindamine juba keerukam, mistõttu viidi läbi ühikjuure testid (ingl *Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test*). Iga aegrida testiti kuni 32 viitajaga nii konstandiga kui ka ilma ning tootluste aegridades ühikjuurt ei tuvastatud, järelikult on mudelites statsionaarsuse nõue täidetud.

VAR-mudeli eesmärgiks on aidata hinnata lineaarseid vastastikkuseid sõltuvusi mitme aegrea vahel, koheldes kõiki muutujaid sümmeetriliselt (ühtegi muutujat ei eelistata). Mudeli hindamist alustatakse esmalt suvalise viitajaga (töös kasutatakse EViewsis vaikimisi paika pandud kaht viitaega) mudeli koostamisest ning seejärel testitakse vajalikku viitaegade arvu (ingl *Lag Length Criteria*), kasutades Akaike (AIC), Schwarz-Bayesi (SC) ja Hannan-Quinni (HQ) kriteeriumeid.

Seejärel leitakse kriteeriumite järgi optimaalsete viitaegadega mudel ning teostatakse järgmised toimingud:

1. Autokorrelatsioon jääkliikmetes (*Breusch-Godfrey Lagrange*'i kordaja test), vajadusel lisatakse mudelisse viitaegu.
2. Granger-põhjuslikkuse test.
3. Koefitsientide statistiline olulisus erinevates viitaegades, kasutades Waldi testi viitaegade eemaldamiseks (*VAR lag exclusion Wald test*).
4. Luuakse impulssreaktsioonid (*Cholesky*, vabadusastmetega korrigeeritud).

VAR-mudelid (kolm erinevat krüptovaluutat ühel ja samal börsil) on koostatud eesmärgiga anda investoritele, eriti neile, kes eelistavad kaubelda ühe börsi raames, kasulikku infot krüptorahade omavaheliste põhjus-tagajärgede kohta. Kuna stsenaariumite koostamisel on eeldatud, et investor tegutseb Euroopas, otsustas autor uurida omavahelisi seoseid eurodes noteeritud krüptorahade vahel.

Bitstampi andmed

Esmalt testiti igal börsil kõigi kolme valuuta omavahelisi mõjusid ühel ja samal börsil, kasutades selleks sõltuvaid muutujaid, milleks on BTC, LTC ja ETH tunnised tootlused euro suhtes Bitstampis, kodeeritud vastavalt BBTCEUR, BLTCEUR ja BETHEUR.

Esimene modelleerimine viidi läbi Bitstampi andmetega. Modelleerides kolme erineva valuuta omavahelisi mõjusid, näitasid nii Akaike kui ka Schwarz-Hannan-Quinni kriteeriumid, et optimaalne on modelleerida kaht viitaega, mis annab VAR-mudeli võrrandisüsteemi:

$$BBTCEUR = C(1) \times BBTCEUR(-1) + C(2) \times BBTCEUR(-2) + C(3) \times BETHEUR(-1) + C(4) \times BETHEUR(-2) + C(5) \times BLTCEUR(-1) + C(6) \times BLTCEUR(-2) + C(7)$$

$$BETHEUR = C(8) \times BBTCEUR(-1) + C(9) \times BBTCEUR(-2) + C(10) \times BETHEUR(-1) + C(11) \times BETHEUR(-2) + C(12) \times BLTCEUR(-1) + C(13) \times BLTCEUR(-2) + C(14)$$

$$BLTCEUR = C(15) \times BBTCEUR(-1) + C(16) \times BBTCEUR(-2) + C(17) \times BETHEUR(-1) + C(18) \times BETHEUR(-2) + C(19) \times BLTCEUR(-1) + C(20) \times BLTCEUR(-2) + C(21)$$

Võrrandite esitamisel on järgitud EViews'i noteeringut: valuutapaari järel sulgudes on toodud vastav viitaeg ning muutuja C valuutapaari ees tähistab kordajat ja võrrandi lõpus konstanti.

LM test (*Breusch-Godfrey Lagrange*'i kordajate test) ja Portmanteau test näitasid, et ülaltoodud mudeli puhul jääkliikmetes autokorrelatsiooni pole.

Coinbase

Muutujad on kodeeritud vastavalt CBTCEUR, CETHEUR ja CLTCEUR. Infokriteeriumitest soovivad AIC nelja viitaega, HQ ja SC kaht viitaega. Samas näitab LM test, et jääkliikmetesse jääb sisse autokorrelatsioon kuni VAR(4) mudelini, mil jääkliikmete autokorrelatsiooni enam ei esine, mistõttu valitigi modelleerimiseks neli viitaega VAR(4):

$$CBTCEUR = C(1) \times CBTCEUR(-1) + C(2) \times CBTCEUR(-2) + C(3) \times CBTCEUR(-3) + C(4) \times CBTCEUR(-4) + C(5) \times CETHEUR(-1) + C(6) \times CETHEUR(-2) + C(7) \times CETHEUR(-3) + C(8) \times CETHEUR(-4) + C(9) \times CLTCEUR(-1) + C(10) \times CLTCEUR(-2) + C(11) \times CLTCEUR(-3) + C(12) \times CLTCEUR(-4) + C(13)$$

$$CETHEUR = C(14) \times CBTCEUR(-1) + C(15) \times CBTCEUR(-2) + C(16) \times CBTCEUR(-3) + C(17) \times CBTCEUR(-4) + C(18) \times CETHEUR(-1) + C(19) \times CETHEUR(-2) + C(20) \times CETHEUR(-3) + C(21) \times CETHEUR(-4) + C(22) \times CLTCEUR(-1) + C(23) \times CLTCEUR(-2) + C(24) \times CLTCEUR(-3) + C(25) \times CLTCEUR(-4) + C(26)$$

$$CLTCEUR = C(27) \times CBTCEUR(-1) + C(28) \times CBTCEUR(-2) + C(29) \times CBTCEUR(-3) + C(30) \times CBTCEUR(-4) + C(31) \times CETHEUR(-1) + C(32) \times CETHEUR(-2) + C(33) \times CETHEUR(-3) + C(34) \times CETHEUR(-4) + C(35) \times CLTCEUR(-1) + C(36) \times CLTCEUR(-2) + C(37) \times CLTCEUR(-3) + C(38) \times CLTCEUR(-4) + C(39)$$

Erinevalt Bitstampi andmete mudelist, ei sõltu CBTCEUR Coinbase'is enam CETHEURst, samas CLTCEURle avaldavad endiselt mõju nii CBTCEUR kui ka CETHEUR. CETHEURi seevastu mõjutavad endiselt tema enda viitajad ning CLTCEUR(-1) ja CBTCEUR(-4).

Neljanda viitajaga kadus jääkliikmetest autokorrelatsioon. Waldi viitaegade eemaldamise testist nähtub, et kolmandas ja neljandas viitajas on statistiliselt mitteolulisi koefitsiente, kolmandas viitajas on koguni kõigi muutujate koefitsiendid eraldiseisvalt statistiliselt mitteolulised.

Neljandas viitajas on statistiliselt oluline vaid CLTCEURi koefitsient. Seega võib antud juhul olla mõttekas edasistes uurimustes katsetada vektor-veaparandusmudelit (VECM), mis lubab mitteolulisi viitaegu mudelist välja lülitada.

Kraken

VAR-mudel analoogsete muutujatega Krakeni börsil näitab suures osas eelnevatega sarnaseid tulemusi (statistilise olulisuse ja mõju suuna osas). Muutujate kodeering on vastavalt KBTCEUR, KETHEUR, KLTCEUR.

Infokriteeriumitele tuginedes koostati VAR(4) mudel (infokriteeriumid: AIC 4, SC 1 ja HQ 2) ning testides erinevaid viitaegu leiti, et vähemate viitaegadega jäi jääkliikmetesse autokorrelatsioon; neljanda viitajaga LM test enam autokorrelatsiooni ei täheldanud, seega tugineti Akaike kriteeriumile.

$$\begin{aligned} KBTCEUR = & C(1) \times KBTCEUR(-1) + C(2) \times KBTCEUR(-2) + C(3) \times KBTCEUR(-3) + \\ & C(4) \times KBTCEUR(-4) + C(5) \times KETHEUR(-1) + C(6) \times KETHEUR(-2) + C(7) \times KETHEUR(-3) + \\ & C(8) \times KETHEUR(-4) + C(9) \times KLTCEUR(-1) + C(10) \times KLTCEUR(-2) + C(11) \times KLTCEUR(-3) \\ & + C(12) \times KLTCEUR(-4) + C(13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KETHEUR = & C(14) \times KBTCEUR(-1) + C(15) \times KBTCEUR(-2) + C(16) \times KBTCEUR(-3) + \\ & C(17) \times KBTCEUR(-4) + C(18) \times KETHEUR(-1) + C(19) \times KETHEUR(-2) + C(20) \times KETHEUR(-3) \\ & + C(21) \times KETHEUR(-4) + C(22) \times KLTCEUR(-1) + C(23) \times KLTCEUR(-2) + \\ & C(24) \times KLTCEUR(-3) + C(25) \times KLTCEUR(-4) + C(26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KLTCEUR = & C(27) \times KBTCEUR(-1) + C(28) \times KBTCEUR(-2) + C(29) \times KBTCEUR(-3) + \\ & C(30) \times KBTCEUR(-4) + C(31) \times KETHEUR(-1) + C(32) \times KETHEUR(-2) + C(33) \times KETHEUR(-3) \\ & + C(34) \times KETHEUR(-4) + C(35) \times KLTCEUR(-1) + C(36) \times KLTCEUR(-2) + \\ & C(37) \times KLTCEUR(-3) + C(38) \times KLTCEUR(-4) + C(39) \end{aligned}$$

Waldi viitaegade testi järgi on mudelis kolmas viitaeg ebaoluline (vt Lisa 17).

3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

3.1. Korrelatsioonianalüüsi tulemused

Pearsoni korrelatsioonimaatriksi tulemused (vt Lisa 4) näitavad, et suurem osa koefitsientidest on nullist kõrgemad. Suurema negatiivse korrelatsiooni näiteks on Coinbase'i börsil dollarites ja eurodes väljendatud Bitcoin hindade vaheline korrelatsioon (-0,2527). Veidi nõrgem seos on Krakeni börsil, sh dollarites ja eurodes väljendatud Bitcoin ja ETHBTC vahel, vastavalt -0,2401 ja -0,2428. Tulemustest on näha, et negatiivsete koefitsientide absoluutväärtus on nullile lähedane, mis tähendab paaride vahel statistilise seose puudumist.

Kõrgeimad korrelatsioonikoefitsiendid (0,9-st suurem) esinesid teatud seaduspärasusega. Nimelt on kõrgeimaid koefitsiente näha ühel börsil oleva sama krüptoraha dollarites ja eurodes noteeringute vahel, nt Bitstampil olevad Litecoin (0,9593) ja Bitcoin (0,9591), Coinbase'il Bitcoin (0,9166), Ethereum (0,9179), Litecoin (0,9277) ning Krakenil olevad Bitcoin (0,9352), Ethereum (0,9293) ja Litecoin (0,9097). Sama tugevat seost on näha ka Bitstampi ja Krakeni börsidel nii dollarites (0,9252) kui ka eurodes (0,9174) noteeritud Bitcoin hindade vahel. Samas Coinbase'il ja Krakenil ning Coinbase'il ja Bitstampil samade paaride vahel korrelatsioon puudub, nt CBTCUSD ja KBTCUSD (-0,0496), CBTCEUR ja BBTCEUR (-0,0374).

Arvestades nõrga seosega teatud ilma nihketa paaride vahel, teostas autor riskkorrelatsiooni analüüsi. Koefitsiente leiti nii erinevate börside vahel kui ka eraldiseisva börsi piires, eesmärgiga uurida seose tugevuse muutust aegriidade nihkumisel (kuni 12 tundi). Tabelis 3 on toodud üldine korrelatsiooni koefitsientide jaotus vastaval viitajal. Sellest selgub, et kõige rohkem paare korreleeruvad tugevamalt 0 (332 paari) ja -2 (137 paari) viitajal. Kõige madalam korrelatsioon on -5 (95 paari) ja -6 (67 paari) viitajal. Samas, kuna varem uuritud Pearsoni korrelatsioonimaatriks, mis on sisuliselt 0 viitajal korrelatsioonianalüüs, näitas, et osa saadud koefitsientidest on nullilähedased, uuris autor iga paari koefitsientide absoluutväärtusi seose tugevuse põhjal järelduste tegemiseks. Lisas 5 on toodud kõikidel börsidel olevate paaride keskmised maksimaalse ja minimaalse korrelatsiooni näitajad. Tabelist selgub, et 0 (0,4393) ja -2 (0,4954) viitajal ei ole keskmine korrelatsioon kõrge ning kõikidel viitaegadel olevad minimaalse korrelatsiooni keskmised näitavad seoste puudumist. Lisaks tegi autor sarnaseid koondtabeleid iga börsi lõikes

(vt Lisad 6-8) ning börside vahel (vt Lisad 9-11). Nii Bitstampil, Coinbase'il kui ka Krakenil näitavad suurem osa kaubeldavatest paaridest tugevamat seost 0 viitajal vastavalt 0,5405 (39 paari), 0,5526 (54 paari) ja 0,5654 (52 paari). Nullist väiksematel viitaegadel seos paaride vahel puudub. Börsidevaheliste paaride lõikes on Bitstampi ja Krakeni vahel olevate paaride korrelatsioon kõige tugevam 0 viitajal, s.o 0,5842 (104 paari). Nendes paarides, kus üks vastaspooltest on Coinbase'il kaubeldav krüptoraha, näitasid kõrgemat korrelatsioonikoefitsienti 2-tunnise nihkega: Coinbase'i ja Bitstampi vahel 0,5481 (58 paari) ning Coinbase'i ja Krakeni vahel 0,7521 (62 paari).

Kuna viitaegadega arvestades selgus, et mõnede börside vaheline seos muutus tugevaks kui üks uuritavatest paaridest nihkus, vaatas autor uuesti üle kõrgeima korrelatsioonikoefitsiendiga paarid kõikide viitaegade lõikes. Nendest kümne esimese paari tulemused on toodud Tabelis 4, milles võrreldes tavalise korrelatsioonimaatriksiga tuvastati tugev seos Coinbase'il ja Bitstampil ning Coinbase'il ja Krakenil kaubeldavate krüptorahade vahel.

Tabel 3. Igal viitajal olev maksimaalse ja minimaalse korrelatsiooni väärtusega paaride arv

Viitaeg	Maksimaalne korrelatsioon	Minimaalne korrelatsioon
0	332	6
-1	33	23
-2	137	21
-3	9	46
-4	6	49
-5	1	95
-6	11	68
-7	6	50
-8	5	55
-9	3	42
-10	23	36
-11	6	39
-12	4	46

Allikas: autori koostatud

Tabel 4. Kõrgeimate korrelatsioonikoefitsientidega paarid ja vastav viitaeg

Viitaeg	Korrelatsioon	Paarid
0	0,9593	BLTCEUR/BLTCUSD
0	0,9591	BBTCUSD/BBTCEUR
-2	0,9548	CBTCUSD/BBTCUSD
-2	0,9354	CBTCUSD/BBTCEUR
0	0,9352	KBTCEUR/KBTCUSD
0	0,9293	KETHEUR/KETHUSD
-2	0,9279	CETHUSD/BETHEUR
0	0,9277	CLTCEUR/CLTCUSD
-2	0,9262	CBTCUSD/KBTCUSD
0	0,9252	BBTCUSD/KBTCUSD

Allikas: autori koostatud

Viimaseks sammuks korrelatsioonianalüüsis oli hinnata krüptoraha hindade ja S&P 500 noteeringute omavahelist seost (vt Lisa 12) maailmaturu tegutsemise suuna ja suhteliselt noore

krüptoraha turu vahel. Teostatud analüüs näitas, et ühelgi krüptoraha paaril ei ole seost S&P 500 reaga, mis eeldab krüptoturgude sõltumatust teistest turgudest.

3.2. Dokumendianalüüsi tulemused

Käesolevas peatükis on esitatud lühikokkuvõtte teostatud dokumendianalüüsist, mille täisversioon on kättesaadav tööga kaasas olevas elektroonilistes dokumentides Google Docs. Dokumendianalüüsi põhieesmärgiks oli leida arbitraažitehingute teostamist takistavaid olukordi, riske ja tingimusi, mille mõju on kaalutud järgmises stsenaariumianalüüsis. Lisaks pööras autor tähelepanu dokumentides mainitud olukordadele, millega edasises stsenaariumianalüüsis ei arvestata, kuid nende tingimuste või sündmuste realiseerimine võiks vähendada kaupleja kasumi suurust või tekitada kahjumit. Analüüsi käigus selgus, et teatud hulk infot kajastatakse vaid kasutaja kontol, seega börside poolt seatud limiitide ja verifitseerimise protsessi uurimiseks registreeris autor ennast kolmel uuritaval börsil.

Bitstamp

Bitstamp'i börsi põhjalik dokumentatsiooni ülevaade on toodud vastavas Google Docs failis. Uuritud hinnakirjast selgus, et tavakorras ei teki krüpto- ja *fiat*-vahendite deponeerimisega kauplejale lisakulusid, va rahvusvaheliste ülekannete puhul. Siin on tasud määratud protsendina ning seatud on ka minimaalsed tasud. Ka uuritavate krüptorahade *fiat*-rahana väljavõtmine ei tekita kauplejale lisakulusid, kuid *fiat*-raha väljavõtmine (0,9€ SEPA), mugavuste ja parandamisega seotud teenused, sh ülekande tagastamine ja muutmine, ülekande jälg ja sularaha väljavõtmisest loobumine on tasulised. Börs võtab oma komisjonitasu iga teostatud tehingu pealt, see tähendab kauplemise tasu, mis sõltub kuu käibest ja varieerub 0,1-0,25%. Samas rakendatakse esimese kuu jooksul fikseeritud kõrgeim protsent 0,25% sõltumata käibest ning summa ümardatakse alati kuni kaks komakohta. Eraldi ostu- ja/või müügitellimuse esitamise eest komisjonitasu ei rakendata.

Vastavalt kasutustingimustele on komisjonitasu maksmine sõltumata transaktsiooni tüübist ostjale kohustuslik. Lisaks keelab kasutustingimustes ja rahapesu tõkestamise seaduses toodud info kauplemisega tegelemise alaealistel, krüptoraha kauplemisega kui kommertseesmärgiga tegelevatel ettevõtetel, rahapesu ja muude ebaseaduslike tehingutega tegelevatel isikutel. Börsil on õigus ette teatamata külmutada või kinni panna kahtlust tekitavad kontod kuni teatud

protseduuride teostamise ja põhjuste selgumiseni. Antud õigus on suureks riskiks kauplejale, kes soovib suure mahuga arbitraažitehingut teostada, kuna teisi väljavõtmisega seotud limiite börs ei sea. Samas Bitstamp ei vastuta vääramatul jõu tulemusel teostamata jäänud tehingute ja muude krüptoraha kauplemisega seotud riskide (sh tagatise puudus, hindade volatiilsus jms) realiseerumise eest.

Avaldatud uudised sisaldasid enamjaolt infot kaht tüüpi asjaolude kohta, mis arbitraaži takistada võivad. Esiteks teatati, millistel kuupäevadel ei ole võimalik *fiat*-raha deponeerida ega välja võtta seoses puhkepäevadega, nt 30.10.-01.11.2017, 25-26.12.2017, 01.-02.01.2018, 30.03.2018. Teiseks edastati info tehnilistest tõrgetest, nt käsitsi verifitseerimise protseduuride suurenenud hulgast (15.02.2018) või serveri ülekoormusest (30.11.2017), mis takistasid nii *fiat*-, kui ka krüptoraha transaktsioonide teostamist.

KKK-s sisalduv info hõlmab ka börsi tehnilisi piiranguid, sh *fiat*-raha transaktsiooni aeg (1-3 pangapäeva SEPA deposiit ning 2-3 SEPA väljavõtt), minimaalse väljavõtte summad (SEPA 10\$) ning krüptoraha ülekandmiseks kuluv aeg (BTC ja LTC puhul ca 1 tund). Eraldi on mainitud ettevõtte konto verifitseerimist, mis erinevalt eraisikutest eeldab KYC (ingl *Know Your Customer*) protseduuri. Erasisikute konto loomine ja verifitseerimise protsess on mitmeastmeline ja digitaalne. Probleemiks võib olla vajalike dokumentide korjamine, kuid kuna Eestis on need digitaalses vormis kättesaadavad, siis ei olnud see lisatakistuseks.

Coinbase

Coinbase'i dokumendianalüüsi detailsemad tulemused on esitatud kaasnevas Google docs failis. Hinnakirjast selgub, et Bitstamp börsiga sarnaselt on *fiat*-raha deponeerimine tasuta. Sõltumata mahust ja kaubeldava valuuta liigist on ostutellimuse esitamise tasu 0,3%. Müügitellimuse esitamise komisjonitasu on sõltuvalt paarist fikseeritud tasemel (vt Tabel 5) ning *fiat*-raha väljavõtmise eest kuulub tasumisele 0,15€.

Tabel 5. Müügitellimuse esitamise tasud

Paar	Tasu summa	Paar	Tasu summa
CBTCUSD	20,9\$	CLTCBTC	0,00005079BTC
CBTCEUR	17,02€	CETHEUR	0,94€
CLTCEUR	0,29€	CETHUSD	1,16\$
CLTCUSD	0,35\$	CETHBTC	0,0001656 BTC

Allikas: koostatud autori poolt Coinbase'i hinnakirja alusel

Võrreldes Bitstampiga on Coinbase'il kehtestatud rangemad ostu-, müügi- ja väljavõtulimiidid, vastavalt 100 000€/nädal, 100 000€/nädal ja 10 000\$/päev (värskest registreeritud eraisikust kasutaja limiidid). Bitstampiga sarnaselt rakendatakse tellimuste minimaalsed nõuded. Sõltuvalt kaupleja tegutsemisriigist ja maksevahendist rakendatakse erinevat konverteerimise tasu, mis on kuni 3,99%.

Privaatsuspoliitikas on konto avamiseks ja verifitseerimiseks vajalike dokumentide hulk Bitstampiga võrreldes väiksem, kuid sisaldab muuhulgas ka maksukohustuslase numbrit ja nõuab korduvat verifitseerimisprotsessi teise ID-ga GDAX ja Coinbase kontode seostamisel. Samas ei anna börs andmete kaotamise, väärkasutuse, volitamata omandamise ja muutmise takistamisele 100% garantiid. Mainitud verifitseerimisprotsess ei ole börsil efektiivselt lahendatud, seda mainiti 08.12.17 ja 08.02.2018 avaldatud uudises ning katsetati ka autori poolt (isikutuvastamine programmis õnnestus pärast mitut katset). Lisaks on avalikustatud uudistes suur osa infost seotud börsidel toimunud tehniliste vigadega, nt limiitide suurendamisel muutub transaktsiooni aeg mitme päeva võrra pikemaks (12.10.2017), Bitcoinide transaktsioonid on 24 tunniks edasi lükatud (24.10.2017), serveri ülekoormus (08.12.2017), tehingute korduv töötlemine (11.02.2018), uute krediitkaartide lisamine ja maksmine on piiratud (13.02.2018, 27.02.2018), Paypaliga maksmise peatamine (27.02.2018), Ethereum'i ülekannete mitteaktsepteerimine (06.03.2018). Kauplemisreeglitele vastavalt ei ole planeeritud seisaku kestvus pikem kui 20 minutit.

Vastavalt kasutajalepingu tingimustele on Bitstampiga sarnaselt börsil registreerimiseks vajalik minimaalne vanus 18 aastat. Sarnasust on näha ka rahapesu tõkestamise ja sanktsioonide poliitika põhimõtetes. Lisaks on börside sarnasuseks nende õiguste ulatus kahtlust tekitavate transaktsioonide peatamiseks ja kontode sulgemiseks ning taastatud tehingu tingimused ei pruugi olla kooskõlas varem kokku lepitud tingimustega. Tekkinud olukord võib edaspidi

arbitraažitehingute teostamisel takistuseks olla, kuna börsile jääb ühepoolne transaktsiooni limiitide muutmise õigus.

Üldküsimumustest selgub, et sõltuvalt kaupleja tegutsemise riigist on kaubeldavate paaride ulatus erinev. Euroopas tegutsevatele kauplejale on kättesaadavad kõik käesolevas töös uuritavad paarid, millel deponeerimise, miinimumsaldo ja kauplemise limiidid puuduvad, kuid vastavalt GDAX deosiitide ja väljavõtete reeglitele esineb ajaline viivitus *fiat*-raha deponeerimisel (kuni 2 pangapäeva Euroopas, 6 pangapäeva rahvusvaheliselt ning 7-10 kalendripäeva ACH süsteemi kaudu). Samas võrreldes Bitstampiga on krüptoraha ülekandmise ooteaeg lühem, vastavalt Bitcoin 30 min, Ethereum 10 min ja Litecoin 30 min.

Kraken

Google Docs's esitatud analüüsitulemustest on näha, et Coinbase'i hinnakirjaga sarnaselt rakendatakse Krakenil müügi- (0-0,1%), ostu- (0,1-0,26%) ja *fiat*-raha väljavõtutasud (0,09€). *Fiat*-raha deponeerimine on tasuta. Ostu- ja müügitasud sõltuvad kaubeldavast mahust ning on iga uuritava paari kohta identsed.

Kasutustingimustele vastavalt ja teiste börsidega sarnaselt peab konto omanik olema vähemalt 18 aastane. Lisaks jätab Kraken sarnaselt teiste börside õigustega endale õiguse seadusvastaste tehingute kõrvale jätmiseks, ajutiseks peatamiseks või kasutatava konto külmutamiseks. Lisaks on börsi pädevuses oma nägemuse järgi piirata esitatavate tellimuste arvu või takistada kauplemist teatud riigis. Teistest erinevalt rakendab börsi süsteem kasutaja saldo negatiivseks muutmisel kasutajale 48 tunni pärast viivise ning menetlemistasu võib jõuda kuni 18% võlasummast. Lisaks, kuna Krakenil on lubatud võimendus kuni 5.0, siis muutuvad laenatavad vahendid tagatiseks. Kui tagatise väärtus ei ole laenatud vahendite tagamiseks piisav, on börsil õigus digitaalvara realiseerida. Sarnane õigus on ka saldo tagatisdeposiidi määrast (ingl *margin*) madalamaks muutmise olukorras. Coinbase'ist erinevalt ei taga börs tehnilise vea tekkimisel transaktsiooni taastamist, kuid tagastab kulutatud vahendid. Vääramatu sündmuse aset leidmisel ei teavita börs kontole juurdepääsu piiramisest, sulgemisest ja/või konto kustutamisest.

Kauplemisabi ja loodud konto info põhjal koosneb verifitseerimise protsess mitmest etapist ning vastavalt verifitseeritud tasemele on kasutajale kättesaadavad teatud *fiat*- ja krüptoraha deposiidi- ja väljavõtulimiidid (kõrgeimal tasemel kuni 500 000\$ *fiat*- ja krüptoraha mahtu kuus). Sõltuvalt

tasemest tuleb verifitseerimiseks esitada kontaktandmed, finantsandmed, biograafiline ja demograafiline info. Krakeni eeliseks võrreldes teiste uuritavate börsidega on limiitide ja komisjonitasude kohta info avalikustamine ilma tellimust esitamata ning verifitseerimisprotsessi keerukus, st edastamiseks vajalike dokumentide hulk, on põhjendatud suuremate limiitide avamisega. Krakenil on võimalik kasutada mitut deposiidikontot, kuid alates kuuenda konto avamisest hakkab üks vanematest kontodest 7 päeva pärast automaatselt aeguma ning kasutajal on risk kaotada selle perioodil lõpu seisuga kontol olevad vahendid. Teistest börsidest erinevalt võib *fiat*-raha deponeerimine kesta kuni 5 pangapäeva. Krüptoraha transaktsiooni ooteaeg on võrreldavatega sarnane ning kestab vastavalt Bitcoin 60 min, Litecoin 30 min ja Ethereum 6 min.

Erinevalt teistest börsidest ei teata Kraken tehniliste vigade esinemise tõenäosusest. Uudiste hulgas on info vaid plaanitavate hooldustööde kohta (06.01.2018, 10.01.2018), mille kestvus oli tegelikult pikem (vt alapeatükk 2.1.) ning tagajärgede seas on nii verifitseerimisprotsessi edasi lükkamine, kui ka transaktsioonide teostamiseks vajaliku ajavaru pikemaks muutmine.

3.3. Stsenaariumianalüüsi tulemused

Stsenaariumianalüüsi koostamise aluseks on eelnevalt uuritud teoreetiline taust ning teostatud dokumendianalüüs, mille abil leiti erinevate börside transaktsiooni teostamiseks vajalikud komisjonitasud, sh *fiat*-raha deponeerimise ja kauplemisega seotud tasud ning *fiat*-raha börsilt väljavõtmise tasud. Autor arvestas tavatingimustel teostatava tehinguga, st ilma kiire ja vastavalt kallima komisjonitasuta. Kauplemistasud on igal börsil varieeruva määraga (reeglina protsent summast), seega arvestades dokumendianalüüsi käigus tuvastatud Coinbase'i börsi väljavõtupiirangut, on hinnaerinevused on arvatud ühe krüptoraha kohta eeldusel, et kaubeldav käive ei ületa 100 000 dollarit nädalas. Lisaks, kuna rida ajapiiranguid, mis võiksid arbitraaži takistada, on ühest tunnist kiiremad ehk kasutatav andmesagedus ei sobi selle piirangu mõju tuvastamiseks ja uurimiseks, ei arvestatud käesolevas töös ajapiirangu mõju.

Esmalt uuriti börsidevahelisi hinnaerinevusi (vt Google docs fail). Graafikutest on näha, et uuritava perioodi käigus ei olnud valuutapaaride hinnad erinevatel börsidel identsed, sellele vihjas varem ka paaride kirjeldav statistika. BTCEUR paaris on näha kõikide börsidevaheliste stsenaariumite puhul suurimad hinnaerinevused perioodil 29.11.2017-15.01.2018. Väikseimad

erinevused on seevastu näha Bitstampi ja Krakeni paaride vahel. Coinbase'il osalemisel on *spread*'ide ulatus omavahel sarnane. Dollarites väljendatud Bitcoinini hinnaerinevused on eurodes väljendatud paaridega sarnased ning hinnaerinevuste täpsem uurimine vajab stsenaariumite koostamist.

BCBTCUSD ja CKBTCUSD paaride vahel on näha suuremaid hinnaerinevusi ning BKBTCUSD puhul on pärast 15.01.2018 hinnaerinevuste absoluutväärtus muutunud oluliselt väiksemaks.

Dollarites ja eurodes väljendatud Litecoin'ide hinnaerinevused on järsult kasvanud alates 08.12.2017 ning sellised erinevused keetsid kuni jaanuari keskpaigani, muutudes siis jälle nullilähedasteks. BTC-s väljendatud paarid näitasid lühiajalisi suuri hinnaerinevusi detsembri keskpaigas. CKLTCBTC puhul on näha ka suuri üksikerinevusi 2018. aasta veebruari teises pooles. Ethereumi puhul on näha pikaajalisemaid *spread*'e (detsembri keskpaigas kestvusega ca kaks kuud) dollarites ja eurodes väljendatud paaride puhul. Bitcoinides väljendatud paaride vahel on näha *spread*'e kogu uuritava perioodi ulatuses. Samas Bitstampi ja Krakeni vahel olevate erinevuste absoluutväärtus on teistest paaridest madalam. Kõikidest suuremad eurodes, dollarites ja Bitcoinides väljendatud *spread*'id börside vahel on esitatud Tabelis 6.

Tabel 6. Eurodes, dollarites, Bitcoinides väljendatud suurimad *spread*'id

Valuuta	Aeg	Paar	Suurus
Euro	22.12.2017 6:00	CKBTCEUR	2499,97
Dollar	09.12.2017 17:00	BCBTCUSD	2703,68
Bitcoin	02.02.2018 13:00	BCETHBTC	0,0078

Allikas: Autori koostatud

Tabelist on näha, et suurimad absoluut*spread*'id on esinenud Krakeni või Bitstampi ja Coinbase'i vahel olevate paaride vahel. Arvestades dokumendianalüüsi käigus saadud infot, st börsil rakendatavate komisjonitasudega paaride *spread*'e uuriti topelt, uuriti nii börsilt 1 börsile 2 kui ka börsilt 2 börsile 1 ülekandmisel saadud kasumi suurust. Nendest suurimad on toodud Tabelis 7. *Spread*'id on väljendatud ühe krüptoraha löikes. Komisjonitasudega arvutamisel arvestas autor Coinbase'il oleva väljavõtumahu piirangu, korraga pangakontole saadava kasumisumma näitamise ning teiste paaridega võrdlemise lihtsustamise eesmärgiga. Kauplemistasudest osutus valituks 100 000\$ mahul nõutav tasu.

Tabel 7. Suurimad *spread*'id börsidevahelisel arbitraažil

Bitstamp ja Coinbase			
	Aeg	Paar	Kasum
Euro	07.12.2017 11.00	CBBTCEUR	2199,656
Dollar	09.12.2017 17.00	CBBTCUSD	2665,359
Bitcoin	02.02.2018 13.00	BCETHBTC	0,007441
Bitstamp ja Kraken			
Euro	21.12.2017 18.00	BKBTCEUR	1275,775
Dollar	07.12.2017 11.00	KBBTCUSD	732,9571
Bitcoin	13.12.2017 2.00	BKLTCBTC	0,000941
Coinbase ja Kraken			
Euro	22.12.2017 6.00	CKBTCEUR	2448,16
Dollar	08.12.2017 4.00	CKBTCUSD	2002,254
Bitcoin	02.02.2018 13.00	KCETHBTC	0,006549

Legend: paaride nimetuse esimene tähemärk – ostutehingu teostamise börs, teine tähemärk – müügitehingu teostamise börs

Allikas: autori koostatud

Tabelist 7 selgub, et pärast komisjonitasudega arvestamist on suurim *spread* eurodes BTCEUR, mis osteti Coinbase'i börsilt ja müüdi Krakeni börsil. Dollarites on investorile kõige kasulikum ka Coinbase'ilt ostetud ja Bitstampil müüdnud Bitcoin.

Pärast börsidevahelise arbitraaži uurimist uuris autor kolmnurksest arbitraažist saadud *spread*'e iga börsi lõikes nii EURUSD-ga kui ka Ethereum ja Litecoiniga. Lisaks uuriti ka börsidel rakendatud komisjonitasude mõju nendele hinnaerinevustele. Koondülevaade on toodud vastavalt Lisades 13 ja 14. *Spread*'id on kaudsel ja otsesel meetodil saadud EURUSD vahel positiivsed vaid enne komisjonitasude rakendamist. Samasugune olukord on Coinbase'il uuritud kaudsel ja otsesel meetodil saadud LTCBTC ja ETHBTC *spread*'ide puhul. Krakeni börsil saadud *spread*'id jäid ka pärast komisjonitasude maksmist positiivseks, kuid võrreldes Bitstampi börsil või Bitstampi ja Coinbase'i börside vahel tekkinud ETHBTC *spread*'idega olid nad väiksemad. Lisaks proovis autor teostada nelja valuutaga kuut arbitraažistsenaariumit, kuid arbitraaživõimalused olid vaid mõnedes tundides, seega ei toonud see väärtuslikku infot.

Vaatamata sellele, et varem teostatud uurimustes ei kasutanud stsenaariumianalüüsi, sai autor börsidevahelisel arbitraažil Gandaliga ja Hafaburda (2014) sarnase tulemuse, kuid need autorid ei kontrollinud vaid eeldasid komisjonitasude mõju tekkinud *spread*'idele. Lisaks tegid Pieters ja Vivanco (2015) ning Pichl ja Kaizoji (2017) ilma täpsema komisjonitasude mõju kontrollita

järelduse börsisese arbitraaži olemasolust kolmnurkse arbitraažistrateegia elluviimisel EURUSD kaudu, mis on autori poolt saadud tulemustega vastuolus.

3.4. VAR-mudelite tulemused

Analüüsi aluseks olevate aegridade stsenaariumianalüüsi tulemusena leiti suurimad hinnaerinevused eelkõige ühe ja sama valuuta puhul erinevate börside lõikes. Samast analüüsist selgus, et suured hinnaerinevused muutuvad oluliselt väiksemaks või kaovad ühe börsiga piiratud stsenaariumite puhul üldse ära. Seega eeldas autor, et rida investoreid eelistavad nii aja (börsil registreerimise protsess, krüptoraha ülekandmine ja *fiat*-raha võljevõtmine) kui ka kulude kokkuhoiu nimel kaubelda ühe börsi piires, võttes arvesse positiivse hinnaerinevuse säilitamist ka pärast piirangute arvestamist. Sellest tulenevalt ei olnud kõigi 24 aegrea VAR-modelleerimine käesoleva töö kontekstis otstarbekas: modelleeriti ennekõike neid aegridu, kus hinnaerinevused on märkimisväärsed või kus modelleerimine võib anda olulist lisainfot: näiteks BTC, ETH ja LTC hindade omavaheline sõltuvus ühel ja samal börsil (mudel koostati iga uuritava börsi kohta, st kokku kolm mudelit).

Kolme krüptoraha-euro paari tootluse osas viidi läbi eraldi VAR-modelleerimine iga börsi kohta, kus valuutapaarid olid sõltuvad muutujad. Bitstampil VAR(2), Coinbase'il VAR(4) ning Krakenil VAR(4).

Kahe viitajaga ehk VAR(2) mudeli tulemused Bitstampi kohta on nähtavad Lisas 15. T-statistika järgi on BBTCEUR-il statistiliselt oluline mõju LTCEUR-le, mis on loogiliselt mõistetav, kuna BTC võib juhtiva krüptovaluutana olla paljude teiste valuutade hinna liikumise aluseks. Samuti on mõju BLTCEURile ETHEURile esimese viitaja kaudu ning BLTCEURi mõjutavad ka valuutapaari enda mõlemad viitajad. BETHEURi puhul võib täheldada, et BBTCEURi mõju ei ole statistiliselt oluline: see on mõnevõrra üllatuslik, kuid selgitatav kahe valuuta erinevate algoritmide ja sealt tulenevalt ka mõnevõrra erineva investorkonnaga, kuna tegemist on mõnevõrra konkureerivate (või alternatiivsete) valuutadega. BBTCEUR ise on sõltuv iseenda esimesest viitajast ning ka BETHEURi teisest viitajast. Waldi viitaegade eemaldamise testist on näha, et mõlemad viitajad on olulised. Granger-põhjuslikkuse test kinnitab eelpool kirjeldatud mõjusid:

BBTCEUR sõltub BETHEURst; BETHEUR sõltub iseenda viitaegadest, BLTCEURst ning BLTCEUR sõltub nii BBTCEURst kui ka BETHEURst.

Lisas 15 olevatelt impulssreaktsioonidelt avaldub samuti iga valuuta puhul iseenda esimese viitaja mõju, kuid ka BETHEURi kohene mõju BBTCEURile ning BLTCEURi mõju teistele valuutapaaridele – viimase puhul ei ole mõju BBTCEURile statistiliselt oluline.

Coinbase'i VAR(4) mudeli ja testide tulemused on toodud Lisas 16. On näha, kuidas CBTCEUR mõjutab iseennast läbi esimese viitaja ning samuti CLTCEURi, nagu ka Bitstampi puhul. CETHEUR mõjutab iseennast läbi esimese ja teise viitaja ning üllatuslikult mõjutab ka CLTCEURi esimese viitaeg Coinbase'i mudelis CETHEURi ja ka CBTCEURi.

Krakeni andmete VAR-mudelist (vt Lisa 17) nähtub, et ka Krakeni andmete põhjal on KBTCEURil iseendale mõju läbi esimese viitaja, KETHEUR mõjutab iseennast (läbi 1. ja 2. viitaja) ning KLTCEURi (läbi 1. viitaja), samuti et KLTCEUR mõjutab iseennast (läbi 1. ja 2. viitaja) ning KETHEURi (läbi 1., 2. ja 4. viitaja). Erinevus teiste börside andmetega väljendub peamiselt KBTCEURi sõltuvuses KETHEURi esimesest viitajast – sellist tulemust ei näita kummagi teise börsi mudel; samuti selles, et KETHEURi 4. viitaeg mõjutab kõiki valuutapaare.

Granger-põhjuslikkuse test näitas, et KBTCEURile on Granger-põhjuslik seos nii KETHEURi kui ka KLTCEURi poolt, mida teistel börsidel ei täheldatud.

Kolme börsi mudeli tulemuste kokkuvõte

Allolevas Tabelis 8 on välja toodud statistiliselt oluliste koefitsientide asukohad erinevatel börsidel ning erinevatel viitaegadel. Välja on jäetud Waldi testi järgi statistiliselt mitteoluliste viitaegade koefitsiendid (mis reeglina olid ka iseseisvalt statistiliselt mitteolulised).

Tabelist nähtub, et mõjude suundades vasturääkivusi ei ole. Samuti on kõigil kolmel börsil näha sarnane tulemus järgmiste muutujate osas (märk börsi lühendi ees tähistab koefitsiendi märki):

1. BTCEURi esimene viitaeg mõjutab BTCEURi;
2. ETHEUR mõjutab iseennast ning LTCEURi (viitajad 1 ja 2);
3. LTCEUR mõjutab läbi 1. ja 2. viitaja iseennast ning läbi 1. viitaja ETH-d.

Tabel 8. Statistiliselt olulised koefitsiendid ja nende märgid erinevate börside puhul

	Sõltuv muutuja		
	BTCEUR	ETHEUR	LTCEUR
BTCEUR (-1)	-B, -C, -K		-B, -C
BTCEUR (-2)			
BTCEUR (-3)			
BTCEUR (-4)			
ETHEUR (-1)	-K	-B, -C, -K	B, C, K
ETHEUR (-2)	-B	-B, -C, -K	-B, -C
ETHEUR (-3)			
ETHEUR (-4)	K	K	K
LTCEUR (-1)	C	B, C, K	-B, -K
LTCEUR (-2)			-B, -C, -K
LTCEUR (-3)			
LTCEUR (-4)	-C, -K	-K	-C, -K

Allikas: autori koostatud (vt Lisad 15-17)

Allolevas Granger-põhjuslikkuse koondtabelis (Tabel 9) on samuti näha, et Granger-põhjuslikkus on olemas LTCEURi puhul ETHEURi ja iseenda suunal ning ETHEURi puhul LTCEURi suunal.

Tabel 9. Granger-põhjuslikkuse koondtabel erinevate börside lõikes

	Sõltuv muutuja		
	BTCEUR	ETHEUR	LTCEUR
BTCEUR	B		B, C
ETHEUR	K		K, C, B
LTCEUR	C, K	B, C, K	B, C, K

Allikas: autori koostatud (vt Lisad 15-17)

Seega saab VAR-mudeli tulemuste põhjal väita, et analüüsitud aegread mõjutavad üksteist läbi erinevate viitaegade ning teatud juhtudel tuvastati ka Granger-põhjuslikkus.

3.5. Järeldused ja ettepanekud edasisteks uurimusteks

Pearsoni maatriksist ja ristkorrelatsiooni analüüsist selgus, et suurem osa uuritavatest paaridest korreleeruvad kõige rohkem 0 viitajal, mis tähendab, et uuritavate paaride kujud on üksteisele kõige sarnasemad ilma ühtegi nihketa, nt Bitstampil kaubeldavate eurodes ja dollarites väljendatud Litecoini ja Bitcoinini aegread on põhimõtteliselt identse kujuga ehk liiguvad paralleelselt. Samas selgus, et 0 viitajal on teatud hulga paaride vahel korrelatsiooni koefitsient nullilähedane. See viitab sellele, et 332 paari korreleeruvad 0 viitajal tugevamalt, võrreldes teiste viitaegadega, aga see ei eelda kõikide paaride puhul tugevat korrelatsiooni. Ristkorrelatsiooni analüüsi tulemused tuvastasid tugeva seose CBTCUSD/BBTCUSD, CBTCUSD/BBTCEUR, CETHUSD/BETHEUR, CBTCUSD/KBTCUSD paaride vahel -2 viitajal. Sellest järeldub, et näiteks BBTCEUR ja BBTCUSD aegridade kujud peegelduvad CBTCUSD aegreal kahe tunni pärast. Sarnane seos on ka CETHUSD/BETHEUR, CBTCUSD/KBTCUSD paarides ning börside vahelises koondülevaates. See annab põhjuse järeldada, et Coinbase'il kaubeldavate krüptorahade hinnad reageerivad teatud informatsioonile kahetunnise viivitusega, millega kaupleja saab arvestada valitud arbitraažistrateegia teostamisel ja/või *fiat*-valuuta deponeerimisel või väljavõtmisel.

Dokumendianalüüsist selgub, et iga tehingu teostamisel puutub kaupleja kokku nii mahu-, rahakui ka ajapiirangutega. Kui esimese kahega on suures osas tegu konkreetse määra või summaga, siis ajaline mõju on ennustamatu, sh selle tekkimise hetk ja kestvus. Samas börsidel on lai õiguste ning suhteliselt kitsas kohustuste ulatus, mis võib teostavat arbitraažitehingut ja sellest saadava kasumi suurust piirata või kõrvale jätta.

Suurimat kasumit eurodes toob kauplejale Bitcoinini ost Coinbase'i börsilt ja selle müümine Krakenil. Dollarites väljendatud suurimat kasumit toob eelmisega sarnaselt Bitcoinini ost Coinbase'ilt, kuid selle realiseerimine Bitstampil toob võrreldes Kraken'il realiseerimisega suurema *spread*'i. CKBTCEUR ja CBBTCUSD börside vahelised stsenaariumid kinnitasid korrelatsioonianalüüsi käigus saadud tulemusi. Bitcoinides väljendatud Litecoini laiem *spread* tuvastati pärast komisjonitasudega arvestamist Kraken'i börsil kolmnurkse arbitraaži teostamisel. Bitcoinides väljendatud Ethereumi suurim hinnavahe tuvastati Bitstamp'i börsil kolmnurkse arbitraaži strateegia teostamisel. Sellest võib järeldada, et eurodes ja dollarites noteeritud krüptoraha arbitraaž on börsidevahelise arbitraaži strateegias kõige kasulikum. Bitcoinides

väljendatud krüptoraha suurimad *spread*'id leiti Bitstampis teostatud kolmnurksel arbitraaži stsenaariumis. Mis puudutab kolmnurkset arbitraaži EURUSD kaudu, siis sõltumata börsist on kaupleja jaoks kasulikum eelistada valuutavahetuse otsest meetodit.

Lisaks korrelatsioonianalüüsi käigus tuvastatud seostele paaride vahel leiti ka põhjus-tagajärg seosed börside lõikes, millega investor peaks arvestama kolmnurksete arbitraažistrateegiate planeerimisel ehk arbitraažiakna tekkimise eeldamisel ja tehingu realiseerimisel. Mõned seosed olid iga börsi lõikes samad, mis annab autorile aluse väita, et Bitcoin mõjutab iseenast läbi -1 viitaja, kuid ei ole altcoinide mõju all. Altcoinide puhul on vastupidine olukord. Siin leiti vastastikune mõju ehk Ethereum mõjutab nii iseenast viitajaga -1 ja -2 kui ka Litecoini läbi -1 viitaja. Litecoini puhul on mõju iseendale läbi -2 viitaja ning Ethereumile -1 viitajaga.

VAR-mudelite hindamisel saavutati aegridade statsionaarsus, võttes valuutade hindadest logaritmid ning leides seejärel tootluse (ingl *logreturns*). Sellest hoolimata oli modelleerimine keerukas, kuna mitme aegrea puhul ei olnud mudelist võimalik jääkliikmetest autokorrelatsiooni eemaldada. Kuna need mudelid otsest arbitraaži ei võimalda, siis neid käesolevas töös välja ei toodud ega kasutatud, kuid edasistes uurimustes võib sama andmestikku kasutades püüda leida autokorrelatsiooni põhjuseid. Sellisteks mudeliteks olid näiteks krüptopaarid, kus ankurvaluutaks oli Bitcoin (LTCBTC, ETHBTC). Samuti oli probleeme jääkliikmete autokorrelatsiooni eemaldamisega mudelites, kus muutujaid oli palju (alates kõigi muutujate kaasamisest mudelisse, kuni näiteks BTCEUR, BTCUSD kasutamiseni ühes ja samas mudelis). Siinkohal tuleb märkida, et paljudes aegridades on korrelatsioon väga tugev, samuti, et mõned aegread on kahe teise aegrea kombinatsioonid (nt LTCBTC on sisuliselt LTCEUR ja BTCEUR kombinatsioonina tekkinud). Abiks võib olla ka fiktiivsete muutujate sissetoomine, kuigi antud juhul katsetati ülikiire kasvu ja languse perioodidel fiktiivseid muutujaid, ent autokorrelatsioon jäi endiselt jääkliikmetesse.

Lisaks näitab Johanseni kointegratsiooni test mõnede kombinatsioonide puhul ka kointegratsiooni, mis tunniste andmete puhul ei pruugi olla probleem, kuid pikemaid perioode vaadeldes oleks mõttekas katsetada ka vektor-veaparandusmudeleid.

Kasutatud kolmes VAR-mudelis, mis olid otseselt seotud arbitraaživõimaluste tekkega, õnnestus autokorrelatsioon eemaldada. Samas tuleks edasistes uurimustes pöörata rohkem tähelepanu jääkliikmete heteroskedastiivsusele (seda esines) ning ka jääkliikmete normaalsusele (ingl *Normality*), sest testi tulemused viitasid, et jääkliikmed ei jaotu normaalselt. Siinkohal võib aidata

andmete korduv diferentseerimine, kuna tegemist on kõrgsagedusandmetega ning seetõttu võib olla vajalik mitu diferentseerimist ja palju viitaegu.

Arvestades asjaolu, et varem teostatud uurimuste arv on vähene, rakendati käesolevas töös kasutatavaid meetodeid vaid osaliselt ning seoses VAR-modelleerimisel tekkinud raskustega pakub autor, et tulevastes uurimustes tasuks proovida sagedust veelgi suurendada, näiteks 30minutiliste andmetega ning vajadusel kasutada ka vektor-veaparandusmudelit. Samuti on võimalus detailsemalt uurida kolmnurkse arbitraažistrateegia võimalikkust krüptoraha börside vahel ning viimaseks ka käesolevast tööst mahukuse tõttu välja jäänud seoseid: näiteks krüptoraha-euro ja krüptoraha-dollar vahelised seosed; samuti teiste valuutade paarid, milles ankurvaluutaks on Bitcoin ning piisava pikkusega aegridade korral lülitada juurde ka teisi krüptorahasid (nt Ripple, Bitcoin Cash jm), mis võimaldaksid uurimust veelgi laiendada.

KOKKUVÕTE

Krüptoraha on teiste finantsinstrumentidega võrreldes uus ja innovaatiline mõiste, mille määratlus ei ole veel põhjalikult uuritud ja selgelt defineeritud (vara, maksevahend või mõlemad?) ning mille soetamist ega kauplemist ei reguleeri veel kuigi palju seadusi ega organisatsioone. Krüptoraha tehnoloogiad ning sellega seotud emotsioonid köidavad aga nii osavamate investorite kui ka väiksema kogemusega kauplejate tähelepanu. Kahtlemata on tegu investorite jaoks emotsionaalse tootega, mida uuritaval perioodil kinnitas krüptoraha hindade suur volatiilsus.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli leida kas ja millised arbitraaživõimalused eksisteerivad krüptoraha turgudel ning millised piirangud tekivad selle realiseerimisel. Lisaks analüüsiti krüptoraha paaride omavahelisi mõjusid, et tabada mustreid, mis võiksid aidata prognoosida arbitraaživõimaluste avanemist. Töö eesmärgi saavutamiseks püstitati uurimisküsimused ning nendele vastuste leidmiseks lahendati uurimisülesanded.

Kuna valdkond on piisavalt uus, siis leidis autor vaid mõned üksikud uurimused arbitraaživõimalustest krüptoraha turgudel, kuid käesolevas töös kasutatavat metoodikate kombinatsiooni ei ole varem rakendatud ja see annab tööle teatava uudsuse.

Töös kasutati tunniseid andmeid Bitstampi, Coinbase'i ja Krakeni börsidel kaubeldava kaheksa krüptoraha paari kohta. Vaatlusperioodiks oli 17.08.2017-31.03.2018. Perioodi alguspunkti valiku tingis suuresti Litecoini kauplemise algus Coinbase'il (varasemalt polnud kõigi kolme valuuta andmeid saada). Valutapaarideks olid Bitcoin, Etherumi ning Litecoini hinnad eurodes, USA dollarites ning Etherumi ja Litecoini puhul ka Bitcoinides ehk kokku 24 aegrida, igas reas 5436 andmepunkti (tundi).

Käesolevas töös kasutati peamise meetodina stsenaariumianalüüsi, kuid stsenaariumite koostamist toetas täiendavalt läbi viidud dokumendianalüüs - autor uuris kõigi kolme börsi dokumentatsiooni, et kaardistada võimalikud piirangud stsenaariumite koostamiseks (tasud, limiidid jms). Lisaks teostas autor korrelatsioonianalüüsid (sh ristkorrelatsiooni), et leida valutapaaride vastastikused

seosed ning seejärel uuriti valuutapaaride vastastikkuseid mõjusid vektorautoregressiivse (VAR) mudeli abil.

Korrelatsioonianalüüsi käigus uuris autor krüptoraha paaride omavahelisi seoseid ilma viitajata. Tugevaim seos oli mõnevõrra aimatavalt ühe ja sama krüptoraha erinevates *fiat*-raha noteeringutes paaride vahel (BLTCEUR ja BLTCUSD 0,9593, BBTCEUR ja BBTCUSD 0,9591, CBTCEUR ja CBTCUSD 0,9166, CETHEUR ja CETHUSD 0,9179, KBTCEUR ja KBTCUSD 0,9352) . Bitstampi ja Krakeni börsidel kaubeldavate BETHEUR ja KETHUSD (0,9097), KLTCEUR ja BLTCUSD (0,8694) vahel leiti samuti tugevad seosed. Coinbase'il ja kahel eelnimetatud börsil kaubeldavate krüptorahade paaride vahel tugevat seost ei leitud (CBTCEUR ja BBTCUSD - 0,0439, KETHUSD ja CETHEUR -0,0706).

Samas riskkorrelatsioonianalüüsi tulemused leidsid CBTCUSD ja BBTCUSD, CBTCEUR ja BBTCEUR, CETHUSD ja BETHEUR, CBTCUSD ja KBTCUSD vahel tugeva seose teise viitajaga (-2 tundi), mis võib viidata, et Coinbase'i hinnad liiguvad teise kahe börsi järel (muudatused toimuvad ca 2 tundi hiljem), mis omakorda võib tähendada arbitraaživõimaluste teket.

Dokumendianalüüsi abil uuris autor börsi sisereeglite, teavituste, limiitide ja tasude kohta, mille puhul on tegemist võimalike arbitraaži teostamist takistavate elementidega. Coinbase'i ja Krakeni börsidel on seatud *fiat*-raha deponeerimise, väljavõetavate summade ja ka krüptoraha liigutamise ning kauplemisega seotud limiidid, näiteks Coinbase'i nädalane väljavõtulimiit on 100 000 USD dollarit. Bitstampi dokumentatsioonis sarnaseid piiranguid ei leitud, kuid autori kogemusel võib tehingud peatada seoses deponeeritud *fiat*-raha päritolu kindlastegemise vajadusega (rahapesuvastane kontroll). Üldiselt sisaldasid kõikide uuritavate börside eeskirjad mitmeid seadusevastaseid toiminguid takistavaid protseduure, alates mitmeastmelisest isikutuvastusest kuni raha päritoluallikate tõestamiseni. Need tingimused võivad tekitada lisakoormust ka seaduskuulekale kauplejale, kes arbitreerimise tõttu suuremaid summasid liigutab (ühelt börsilt teisele, seejärel pank ja jälle esimesele börsile tagasi) ning seetõttu suure kontokäibe tekitab. Börsil on õigus oma äranägemuse järgi ja konto omanikku teavitamata tehinguid külmutada või tühistada. Riskide seisukohast on oluline rõhutada, et börsil hoitavad avatud krüpto- või *fiat*-raha positsioonid on avatud börsi enda tegutsemise riskile – börsi haldava ettevõtte pankroti korral või ka lihtsalt serverite sulgemise korral on oht kogu oma börsil hoitavast varast ilma jääda. Seetõttu

soovitatakse krüptorahasid hoida personaalses rahakotis ja liigutada nad börsile vaid kauplemise aegadel.

Tehingute teostamise eest võtab krüptorahadega kauplev platvorm tasuks kas fikseeritud summa või protsendimäära, mis on seotud tehingu suurusega – tehinguteks on krüptoraha soetamine, müümine, *fiat*-raha ülekanded.

Arbitraažistsenaariumite koostamisel arvestati kõikide eespool kirjeldatud piirangutega, kuid välja jäeti ajafaktor: börsiülekanded ning *fiat*-raha SEPA-maksed võtavad aega, kuid stsenaariumianalüüsis on seda keeruline arvestada, kuna aeg sõltub börsist, valuutast, kaupleja kodupangast, kauplemise päevast ja ajast ning muudest faktoritest. Samas võib kogunud arbitreerija hoida *fiat*-raha positsioone börsidel ootel ning võimaluse tekkides sooritada kiirelt tehingud. Seega ei olnud ajafaktori arvestamine antud juhul otstarbekas.

Kokku koostati vaadeldaval perioodil hinnaerinevuste ja -anomaaliade leidmiseks 45 stsenaariumi, millest 24 olid börside vahel ning 21 erinevad paarid börside sees. Lisaks teostati kuus nelja osapoolega stsenaariumi.

Börside vahel tekkisid suurimad hinnaerinevused Coinbase-Krakeni võrdluses BTCEUR (2499,97), Bitstamp-Coinbase BTCUSD (2703,68) ning Bitstamp-Coinbase ETHBTC (0,0078) puhul.

Igal börsil olid ka kolmnurkse arbitraaži stsenaariumid, st otsesel ja kaudsel meetodil saadud EURUSD, LTCBTC ja ETHBTC vahel tekkis hinnaerinevusi. EURUSD puhul olid suurimad anomaaliad Coinbase'i börsil (0,1015). LTCBTC puhul oli suurimaks hinnaerinevuseks USA dollari kaudu tuletatud Coinbase'il tekkinud hinnaerinevus (0,0014). ETHBTC suurim hinnaerinevus kolmnurkse arbitraaži strateegia rakendamisel leiti Bitstamp'i börsil USA dollari kaudu (0,0155). Seejärel rakendati varasemalt tehtud dokumendianalüüsi tulemustest saadud piirangute info, et leida, kas piirangute rakendamisel on hinnaerinevused endiselt piisavalt suured, et pakkuda kauplejale riskivaba kasumi võimalusi. Piirangutega arvestamisel selgus, et vaadeldaval perioodil oli ajahetki, mil suurima kasumi eurodes tõi Bitcoinit osti Coinbase'ilt ja selle kohene müümine Krakenil (2448,16). USA dollarites maksimaalse kasumi saamiseks pidi kaupleja sama krüptoraha realiseerima Bitstampil, kuna seal oli BTCUSD (2665,36) kurss valdavalt kõige kõrgem. Bitcoinides noteeritud Litecoini ning Ethreumi kõige suuremad hinnaerinevused saadi

vastavalt Krakeni ja Bitstampi börsidel realiseeritud kolmnurkse arbitraaži strateegia tulemusel (vastavalt 0,001 ja 0,014). Komisjonitasud ja mahupiirangud andsid EURUSD hinnaerinevustele negatiivseid mõjusid, seega kauplejale on kasulikum kasutada valuuta vahetamise otsest meetodit. Nelja osapoolega arbitraaži tulemus näitas pidevaid, aga väikeseid hinnaerinevusi, mis tasude rakendamisel muutusid kahjumlikuks.

VAR-mudeli eesmärgiks oli hinnata lineaarseid vastastikkuseid sõltuvusi suuremate hinnaerinevustega või olulist info anda võivate krüptoraha paaride vahel. Kokku koostati kolm VAR-mudelit – üks iga börsi kohta. Igal börsil uuriti kolme valuutapaari, BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR, omavahelisi mõjusid.

Kolme mudeli tulemused olid omavahel sarnased, sh leiti järgmised statistiliselt olulised mõjud:

1. BTCEURi esimene viitaeg mõjutab BTCEURi, ETHEUR mõjutab iseennast ning 1. ja 2. viitajal olevat LTCEURi;
2. LTCEUR mõjutab läbi 1. ja 2. viitaja iseennast ja läbi 1. viitaja ETHEURi.

Granger-põhjuslikkuse testide tulemused kinnitasid mõju suunda LTCEURi puhul ETHEURi suunal ning vastupidisel suunal erinevate viitaegadega.

Magistritöös püstitatud uurimisülesannete lahendamisel leiti, et uuritava perioodi jooksul leidsid korduvalt aset erinevad arbitraaživõimalused, mille puhul oli võimalik märkimisväärseid kasumeid teenida ka pärast uuritavate börside poolt seatud piirangutega arvestamist; seega saavutati töö sissejuhatuses püstitatud eesmärk. Lisaks leiti ka omavahelisi seoseid (korrelatsioonianalüüs) ja vastastikkuseid mõjusid (VAR-mudel), mis võivad aidata kauplejal leida õigeid hetki arbitraažiakna tekkimiseks. seega saavutati töö eesmärk, milleks oli arbitraaživõimaluste leidmine krüptorahaturul.

Kuna valdkond on alles uus ning arenemas, on autori hinnangul mõistlik uurimust korrata, kasutades juba pikema perioodi andmeid. Edasisel uurimisel võib laiendada stsenaariume, sh lisada börse ja teisi krüptovaluutasid. Samuti võib püüda lahendada VAR-mudelisse sisse jäänud probleemid, et oleks võimalik koostada paremaid mudeleid. Kuna andmetes võis täheldada kointegratsiooni ning mõned viitajad olid ebaolulised, võiks edasistes uurimistes kaaluda ka vektorveaparandusmudeli koostamist. Eraldi teemana võib uurida ka erinevaid autoregressiivseid mudeleid ühe aegrea lõikes (AR, ARMA, ARCH, GARCH jt), et võimaldada ühe aegrea väärtuste lühiajalist prognoosimist.

SUMMARY

ARBITRAGE OPPORTUNITIES ON CRYPTOCURRENCY MARKETS

Olga Bugakova

During the last few years, investors' interest in cryptocurrency markets has increased as of volume, regulations and ethics context. The interest occurred due to newness, decentralisation and transparency of the blockchain technology concept behind the cryptocurrency term. The distinctness of blockchain allows assuming the market efficiency. However, there are no mutual conclusions among previous studies in this field. Studies providing insight into arbitrage with use of cryptocurrencies have not reached any common results. This gives a reason to further research arbitrage opportunity within the cryptocurrency market.

This paper aims to find out what arbitrage opportunities exist in cryptocurrency markets and what limits appear realising the arbitrage possibility. Therefore several research questions have been addressed:

1. Are there any anomalies in time series during the research period that allows cryptocurrency investor to earn a risk-free profit (arbitrage)?
2. Does the usage of these anomalies provide a profit, if the regulations, limits and fees from cryptocurrency exchanges are considered?
3. Is there a correlation and interrelation between the cryptocurrency pairs during the research period which provides useful information for an investor to make an investment decision, i.e. the emergence of arbitrage?

The paper consists of three parts. The first theoretical section gives an overview about the cryptocurrency concept, its value formation and market efficiency. This part also includes information about classical and cryptocurrency arbitrage strategies and discusses the results of previous similar research.

The second part explains the research methodology. For a quantitative analysis, the hourly data of Bitcoin, Litecoin and Ethereum was collected between August 17, 2017 and March 31, 2018. The data collected through the three major exchange Bitstamp, Coinbase, Kraken using API in cryptocompare.com server and data taken directly from Bitstamp trading were the primary data used for this research. There were eight pairs from each exchange, i.e. mentioned cryptocurrencies were in Euro, US dollars and Bitcoins. In total there were 24 pairs which consisted the price data of 5436 hours in each series. For a qualitative analysis, all the available documentation in exchanges was analysed to find the terms, situations and regulations that can counteract the realising of arbitrage. This data was for in the scenario analysis. Scenario analysis consisted of 45 scenarios, incl. 24 scenarios across exchanges and 21 within exchange (triangular arbitrage). There were two types of triangular arbitrage realised. The first one assumed comparing the EURUSD data from FOREX with EURUSD data received through an indirect method. The second one observed the spreads between LTCBTC, ETHBTC provided by direct and indirect methods. Pearson correlation matrix and cross-correlation analysis with 12-hour lag (among 576 pairs) using an hour returns data were statistical analyses performed for identifying relations between pairs. For controlling the interrelation among the pairs in each exchange (noted in Euro) the Vector autoregression in respect to logarithm return data has been done. The choice of a suitable number of lags was made according to AIC, SC, HQ criteria, i.e. VAR (2) in Bitstamp, VAR (4) in Coinbase and Kraken respectively.

The third part describes the results of analyses and proposals for further research. According to the correlation analysis results, there is mostly a positive correlation between the pairs. The significant part of pairs has high correlation coefficients (more than 0,9) within 0 lag and ca 20% of pairs mostly correlate within a -2 lag. There is an interesting fact among the pairs which has a high correlation within -2 lag. One of the pairs is trading on Coinbase exchange, i.e. the correlation between Coinbase and Kraken or Coinbase and Bitstamp pairs. This means delaying the price change reactions for circa two hours in Coinbase platform. The information provided from the exchanges' documentation can be divided into five parts: time for deposit, transfer and withdrawal, transaction fees, volume limits, legislation and other. During the scenario analysis, the positive spreads occurred in all scenarios according to the first research question. For example, across the exchanges, the biggest spread noted in Euro, US Dollar and Bitcoin were CKBTC EUR (2499,97), BCBTCUSD (2703,68) and BCETHBTC (0,0078) respectively. However, taking into account the restrictions from document analysis, the spreads narrowed or disappeared. The biggest spreads

across the exchanges were changed CKBTC EUR (2448,16), CBBTC USD (2665,36) and BCETHBTC (0,0074) respectively. Triangular arbitrage within platforms showed that EUR exchange to USD or vice versa is more profitable following the direct way. The same conclusion can be done about ETHBTC and LTCBTC arbitrage in Coinbase exchange. However, there were positive spreads using a triangular arbitrage and taking into account the restrictions from exchanges: LTCBTC on Kraken (0,001) and ETHBTC (0,014) on Bitstamp. Both through US dollar. For investors who would like to save some expenses and prefer trading within one exchange the interrelations between pairs were analysed. According to the VAR results identified in three exchanges, it is possible to say that Bitcoin affects itself through -1 lag and altcoins influence each other. Ethereum makes changes itself through -1 and -2 lag and Litecoin through -1 lag. Litecoin changes itself through -2 lag and Ethereum through -1 lag.

Considering the results of this study and limited research in this field, following ideas for further research are proposed. It is suggested to:

1. form triangular arbitrage strategies across the exchanges
2. use a high-frequency data with 30 min or even 1 min step
3. form research interrelations among the next pairs:
 - a. Cryptocurrency-Euro and Cryptocurrency-USA Dollar
 - b. Cryptocurrency pairs, where anchor currency is Bitcoin (LTCBTC, ETHBTC)
 - c. Cryptocurrency and non-Euro fiat-currency combinations

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Aga, M., & Kocaman, B. (2011). Efficient Market Hypothesis and Emerging Capital Markets: Empirical Evidence from Istanbul Stock Exchange. *Journal of Financial Markets Research*(3), 44-57.
- Ahangama, S., & Poo, D. C. (2016). Credibility of Algorithm Based Decentralized Computer Networks Governing Personal Finances: The Case of Cryptocurrency. *HCIBGO 2016: HCI in Business, Government, and Organizations: eCommerce and Innovation* (lk 165-176). International Conference on HCI in Business, Government and Organizations.
- Aiba, Y., & Hatano, N. (2004). Triangular arbitrage in the foreign exchange market. *Physica A*, 344, 174-177.
- Aiba, Y., Hatano, N., Takayasu, H., Marumo, K., & Shimizu, T. (2002). Triangular arbitrage as an interaction among foreign exchange rates. *Physica A*, 310, 467-479.
- Aiba, Y., Hatano, N., Takayasu, H., Marumo, K., & Shimizu, T. (2003). Triangular arbitrage and negative auto-correlation of foreign exchange rates. *Physica A*, 324, 253-257.
doi:10.1016/S0378-4371(02)01905-2
- Akram, Q. F., Rime, D., & Sarno, L. (2008). Arbitrage in the foreign exchange market: Turning on the microscope. *Journal of International Economics*, 76, 237-253.
doi:10.1016/j.jinteco.2008.07.004
- Allen, R. L., & Mills, D. (2004). *Signal Analysis: Time, Frequency, Scale, and Structure*. Canada: IEEE press, A John Wiley & Sons, Inc.
- Alvarez-Ramirez, J., Rodriguez, E., & Ibarra-Valdez, C. (2018). Long-range correlations and asymmetry in the Bitcoin market. *Physica A*, 492, 948-955.
doi:https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.025

- Angel, J., & McCabe, D. (December 2015. a.). The Ethics of Payments: Paper, Plastic, or Bitcoin? *Journal of Business Ethics*, 132(3), 603-611.
- Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). A Survey of Attacks on Ethereum Smart Contracts (SoK). *6th International Conference, POST* (lk 164-186). Springer-Verlag GmbH Germany.
- Avellaneda, M., & Lee, J.-H. (2010). Statistical arbitrage in the US equities market. *Quantitative Finance*, 10(7), 761-782.
- Badev, A., & Chen, M. (2014). *Bitcoin: Technical Background and Data Analysis*. Divisions of Research & Statistics and Monetary Affairs. Washington: Finance and Economics Discussion Series .
- Baek, C., & Elbeck, M. (2014). Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. *Economics Letters*, 22(1), 30-34.
- Bal, A. (2013). Stateless Virtual Money in the Tax System. *Journals IBFD*, 351-356.
- Bariviera, A. F. (2017). The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach. *Economics Letters*, 161, 1-4. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2017.09.013>
- Bartoletti, M., Carta, S., Cimoli, T., & Saia, R. (2017). *Dissecting Ponzi schemes on Ethereum: identification, analysis, and impact*. Cornell University Library.
- Bartos, J. (2015). Does Bitcoin follow the hypothesis of efficient market? *International Journal of Economic Sciences*, 4(2), 10-23. doi:10.20472/ES.2015.4.2.002
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, lk XXX-XXX.
- Beck, R., Czepluch, S. J., Lollike, N., & Malone, S. (2016). Blockchain-the Gateway to Trust-Free Cryptographic Transactions. *Twenty-Fourth European Conference on Information Systems* (lk 1-14). Istanbul: Association for Information Systems.

- Beer, C., & Weber, B. (25. January 2014. a.). Bitcoin – The Promise and Limits of Private Innovation in Monetary and Payment Systems. *Monetary Policy and the Economy*, 53-66.
- Benston, G. J., & Kaufman, G. G. (1996). The Appropriate Role of Bank Regulation. *The Economic Journal*, 106(436), 688-697. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/2235577>
- Beunza, D., Hardie, I., & MacKenzi, D. (2006). A Price is a Social Thing: Towards a Material Sociology of Arbitrage. *Organization Studies*, 27(5), 721-745.
doi:10.1177/0170840606065923
- Bitcoin Legality – Country wise / Territory wise / 2018 /* (22. December 2017. a.). Allikas: CointoinCrypto currency Worldwide: <http://cointoin.com/bitcoin/bitcoin-legality-country-wise-territory-wise/#>
- Bjerg, O. (2016). How is Bitcoin money? *Theory, Culture & Society*, 33(1), 53-72.
- Black, F. (1970). Banking and Interest Rates in a World Without Money: The Effects of Uncontrolled Banking. *Journal of Bank Research*, 9-20.
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238.
doi:doi=10.1257/jep.29.2.213
- Bouoiyour, J., Selmi, R., & Tiwari, A. (2014). *Is Bitcoin business income or speculative bubble? Unconditional vs. conditional frequency domain analysis*. MPRA Paper No. 59595.
- Bowen, G. A. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40. doi:10.3316/QRJ0902027
- Branch, B., Wang, J., & Yang, T. (2008). A note on takeover success prediction. *International Review of Financial Analysis*, 17, 1186–1193. doi:10.1016/j.irfa.2007.07.003
- Brauneis, A., & Mestel, R. (2018). Price discovery of cryptocurrencies: Bitcoin and beyond. *Economics Letters*, 165, 58-61.

- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Marcus, A. J. (1999). *Fundamentals of Corporate Finance* (2nd tr.). McGraw-Hill.
- Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance* (2nd tr.). New York: Cambridge University Press.
- Bugakova, O. (14. May 2018. a.). Börside vahel olevate spreadide absoluutväärtused. Tallinn, Harjumaa, Estonia. Allikas:
https://docs.google.com/document/d/1LbO_L4Eh1v2NCeMSMA0lCscQXNID4baMNSPDRTRD4SM/edit?usp=sharing
- Bugakova, O. (14. May 2018. a.). Dokumendianalüüsi tulemused. Tallinn, Harjumaa, Estonia. Allikas:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1qYgEv1VhIH2cQGUHFZRk7PVfU6zP7im2HuCGMIzFeQ/edit#gid=1285021931>
- Chuen, D. L. (2015). *Handbook of Digital cryptocurrency*. London: Elseiver Inc.
- Danilov, T. (2003). *Välisarengute ülekandumine ja majandustsüklite sünkroonsus Eesti ja Euroopa Liidu vahel*. Tallinn.
- Dannen, C. (2017). *Introducing Ethereum and Solidity: Foundations of Cryptocurrency and Blockchain Programming for Beginners*. New York: Apress.
- de Albuquerque, B. S., & Callado, M. d. (March 2015. a.). Understanding Bitcoins: Facts and Questions. *Revista Brasileira de Economia*, 69(1), 3-16.
- De Jong, A., Rosenthal, L., & Dijk, M. A. (2004). *The Limits of Arbitrage: Evidence from Dual-Listed Companies*. Rotterdam: Erasmus University Rotterdam .
- De Jong, A., Rosenthal, L., & Dijk, M. A. (2009). The Risk and Return of Arbitrage in Dual-Listed Companies. *Review of Finance*, 13, 495-520.
- Debella-Gilo, M., & Kääh, A. (2011). Sub-pixel precision image matching for measuring surface displacements on mass movements using normalized cross-correlation. *Remote Sensing of Environment*, 115, 130-142. doi:10.1016/j.rse.2010.08.012

- Defusco, R. A., McLeavey, D. W., Pinto, J. E., Anson, M. J., & Runkle, D. E. (2015). *Quantitative Investment Analysis*, (3rd tr.). John Wiley & Sons, CFA Institute Investment Books.
- Doepke, M., & Schneider, M. (2017). Money as unit of account. *Econometrica*, 85(5), 1537–1574. doi:<https://doi.org/10.3982/ECTA11963>
- Dong, H., & Dong, W. (2014). Bitcoin: Exchange Rate Parity, Risk Premium, and Arbitrage Stickiness. *British Journal of Economics, Management & Trade*, 5(1), 105-113. doi:0.9734/BJEMT/2015/13308
- Dostov, V., & Shust, P. (2014). Cryptocurrencies: an unconventional challenge to the AML/CFT regulators? *Journal of Financial Crime*, 21(3), 249-263. doi:10.1108/JFC-06-2013-0043
- Dunis, C., Rudy, J., Laws, J., & Giorgioni, G. (2010). *Statistical Arbitrage and High-Frequency Data with an Application to Eurostoxx 50 Equities*. SSRN.
- Dwyer, G. P. (2015). The economics of Bitcoin and similar private digital currencies. *Journal of Financial Stability*, 17, 81-91. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfs.2014.11.006>
- Dyhrberg, A. H. (2016). Hedging capabilities of bitcoin. Is it the virtual gold? *Finance Research Letters*, 16, 139-144.
- Eesti Pangaliit (1. March 2018. a.). *Pangandusterminite sõnastik*. Allikas: Eesti Pangaliit: <http://www.pangaliit.ee/et/component/glossary/Pangandusterminite-s%C3%B5nastik-4/r/raha-funktsioonid-9900368/>
- Eisenmann, T., Parker, G., & Van Alstyne, M. W. (2006). Strategies for Two-Sided Markets. *Harvard Business review*, 84(10), 92-101.
- Elliott, R. J., Van Der Hoek, J., & Malcolm, W. P. (2005). Pairs trading. *Quantitative Finance*, 5(3), 271-276. doi:10.1080/14697680500149370
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107-115. doi:10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x

- European Banking Authority (12. February 2018. a.). *ESAs warn consumers of risks in buying virtual currencies*. Allikas: EBA:
<https://www.eba.europa.eu/documents/10180/2139750/Joint+ESAs+Warning+on+Virtual+Currencies.pdf>
- European Central Bank (2009). *Glossary of terms related to payment, clearing and settlement systems*. ECB.
- European Central Bank (2012). *Virtual currency schemes*. Frankfurt am Main: European Central Bank.
- Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/2325486>
- Fanning, K., & Centers, D. P. (2016). Blockchain and Its Coming. *The Journal of Corporate Accounting & Finance Impact on Financial Services*, 53-37. doi:10.1002/jcaf.22179
- Fenn, D. J., Howison, S. D., McDonald, M., Williams, S., & Johnson, N. F. (2009). The mirage of triangular arbitrage in the spot exchange market. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 1105-1123.
- Fereday, J., & Muir-Cochrane, E. (2006). Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development. *International Journal of Qualitative Methods*, 5(1).
- Figlewski, S. (1978). Market "Efficiency" in a Market with Heterogeneous Information. *Journal of Political Economy*, 86(4), 581-597. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/1840380>
- Finnerty, J. E. (1976). Insiders and Market Efficiency. *The Journal of Finance*, 31(4), 1141-1148. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/2326279>
- Fleischer, V. (2010). Regulatory Arbitrage. *Texas Law Review*, 89(2), 227-290.
- Forexmarkethours.com. (30. March 2018. a.). *Forex trading hours: London, New York, Tokyo, Sydney sessions. Best trading time in the Forex Market*. Allikas: Forex Market Hours: <http://www.forexmarkethours.com/>

- Foucault, T. K., & Tham, W. W. (2017). Toxic Arbitrage. *The Review of Financial Studies*, 30(4), 1053–1094. doi:<https://doi.org/10.1093/rfs/hhw103>
- Galenko, A., Popova, E., & Popova, I. (2007). *Trading in the Presence of Cointegration; Ivilina Popova*. 1-21: SSRN eLibrary.
- Gandal, N., & Hałaburda, H. (2014). *Competition in the cryptocurrency market*. Ottawa: Bank of Canada Working Paper No. 2014-33.
- Garcia, D. T., Mavrodiev, P., & Perony, N. (2014). The digital traces of bubbles: feedback cycles between socio-economic signals in the Bitcoin economy. *Journal of The Royal Society Interface*, 11, 1-8. doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2014.0623>
- Gibbs, T., & Yordchim, S. (2014). Thai Perception on Litecoin Value. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 8(8), 2634-2636.
- Gladden, M. E. (2015). Cryptocurrency with a Conscience: Using Artificial Intelligence to Develop Money that Advances Human Ethical Values. *Annales. Ethics in Economic Life*, 18(4), 85–98.
- Gladstone, J. A. (1997). Exploring the Role of Digital Currency in the Retail Payments System. *New England Law Review*, 31(4), 1193-1204.
- Glaser, F., Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, M., & Siering, M. (2014). Bitcoin - Asset or currency? Revealing users' hidden intentions. *ECIS 2014 Proceedings*. Tel Aviv: 22nd European Conference on Information Systems.
- Gomber, P., Koch, J.-A., & Siering, M. (2017). Digital Finance and FinTech: current research and future research directions. *Journal of Business Economics*, 87(5), 537-580.
- Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Education Today*, 24, 105-112. doi:[10.1016/j.nedt.2003.10.001](https://doi.org/10.1016/j.nedt.2003.10.001)

- Groenewold, N., & Kang, K. C. (1993). The semi-strong efficiency of the Australian share market. *Economic Record*, 69(4), 405-410.
- Gross, M. (1988). A Semi-Strong Test of the Efficiency of the Aluminum and Copper Markets at the LME. *The Journal of Futures Markets*, 8(1), 67-77.
- Gu, M., Kang, W., & Xu, B. (2018). Limits of arbitrage and idiosyncratic volatility: Evidence from China stock market. *Journal of Banking and Finance*, 86, 240-258.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2015.08.016>
- Hayes, A. (2015). *The Decision to Produce Altcoins: Miners' Arbitrage in Cryptocurrency Markets*. New York: The Neew school for social research.
- Hayes, A. S. (2017). Cryptocurrency value formation: An empirical study leading to a cost of production model for valuing bitcoin. *Telematics and Informatics*, 34, 1308-1321.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2016.05.005>
- Hogan, S., Jarrow, R., Teo, M., & Warachka, M. (2004). Testing market efficiency using statistical arbitrage with applications to momentum and value strategies. *Journal of Financial Economics*, 525–565.
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277-1288. doi:10.1177/1049732305276687
- Hsu, Y.-C., Chen, A.-P., & Chang, J.-H. (2011). An inter-market arbitrage trading system based on extended classifier systems. *Expert Systems with Applications*, 38, 3784–3792.
doi:10.1016/j.eswa.2010.09.039
- Hull, J. C. (1997). *Options, futures and other derivatives*. Hillsdale: Prentice Hall.
- Hur, Y., Jeon, S., & Yoo, B. (2015). *Investigation into the Market Viability of Bitcoin: Measuring the Digital Currency's Speculative Nature*. Seoul. doi:
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2599953>

- Hussin, B. M., Ahmed, A. D., & Ying, T. C. (2010). Semi-Strong Form Efficiency: Market Reaction to Dividend and Earnings Announcements in Malaysian Stock Exchange. *IUP Journal of Applied Finance*, 16(5), 36-60.
- Jensen, M. C. (1978). Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency. *Journal of Financial Economics*, 6(2/3), 95-101.
- Jevons, W. S. (1896). Money and mechanism of exchange. rmt: W. S. Jevons, *The international scientific series*. New York: D. appleton and Company.
- Jiang, P., Guo, F., Liang, K., Lai, J., & Wena, Q. (2017). Searchchain: Blockchain-based private keyword search in decentralized storage. *Future Generation Computer Systems*, 1-12.
- Johnson, G., & Pomorski, L. (2014). *Briefing on Digital Currencies*. Ottawa: Bank of Canada.
- Jones, C. M., & Lamont, O. A. (2002). Short-sale constraints and stock returns. *Journal of Financial Economics*, 66, 207-239.
- Khan, W., & Vieito, J. P. (2012). Stock exchange mergers and weak form of market efficiency: The case of Euronext Lisbon. *International Review of Economics and Finance*, 22, 173-189. doi:10.1016/j.iref.2011.09.005
- Kiyotaki, N., & Wright, R. (1989). On Money as a Medium of Exchange. *Journal of Political Economy*, 97(4), 927-954. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/1832197>
- Krippendorff, K. (1980). *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. Thousand Oaks. London. New Delhi: SAGE publications.
- Kroll, J. A., Davey, I. C., & Felten, E. W. (2013). The Economics of Bitcoin Mining, or Bitcoin in the Presence of Adversaries. *The Twelfth Workshop on the Economics of Information Security (WEIS 2013)* (1k 1-21). Washington: Allen Institute for Artificial Intelligence.
- Kubát, M. (2015). Virtual currency bitcoin in the scope of money definition and store of value. *Procedia Economics and Finance*, 30, 409-416. Allikas: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115013088>

- Kumar, A., & Smith, C. (2017). *Crypto-currencies – An introduction to not-so-funny moneys*. Wellington: Reserve Bank of New Zealand.
- Kurihara, Y., & Fukushima, A. (2017). The Market Efficiency of Bitcoin: A Weekly Anomaly Perspective. *Journal of Applied Finance & Banking*, 7(3), 57-64.
- Laidler, D. (1969). The Definition of Money: Theoretical and Empirical Problems. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1(3), 508-525. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/1991204>
- Lamont, O. A., & Thaler, R. H. (2003). The Law of One Price in Financial Markets. *Journal of Economic Perspectives*, 17(4), 191-202.
- Lemieux, V. L. (2016). Trusting records: is Blockchain technology the answer? *Records Management Journal*, 26(2), 110-139. doi:<https://doi.org/10.1108/RMJ-12-2015-0042>
- Leon, D. C., Stalick, A. Q., Jillepalli, A. A., Haney, M. A., & Sheldon, F. T. (2017). Blockchain: properties and misconceptions. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 11(3), 286-300.
- Levi, M. D. (2005). *International Finance* (4th tr.). London and New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Lin, I.-C., & Liao, T.-C. (2017). A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges. *International Journal of Network Security*, 19(5), 653-659.
doi:10.6633/IJNS.201709.19(5).01
- Liu, L. (2014). *International Cross-Listing of Chinese Firms*. IGI Global.
- Loh, E. Y. (2007). An alternative test for weak form efficiency based on technical analysis. *Applied Financial Economics*, 17, 1003-1012. doi:10.1080/09603100600749352
- Lustig, C., & Nardi, B. (2015). Algorithmic Authority: The Case of Bitcoin. *48th Hawaii International Conference on System Sciences* (1k 743-752). IEEE Xplore.
doi:10.1109/HICSS.2015.95
- Luther, W. J., & White, L. H. (2014). *Can Bitcoin Become a Major Currency?* GMU Working Paper in Economics No. 14-17. doi:<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2446604>

- Lütkepohl, H. (2011). *Vector Autoregressive Models*. european University Institute, Department of Economics ECO 2011/30.
- Maurer, B., Nelmsa, T. C., & Swartz, L. (2013). ‘‘When perhaps the real problem is money itself!’’: the practical materiality of Bitcoin. (T. & Francis, Toim.) *Social Semiotics*, 23(2), 261-277. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/10350330.2013.777594>
- Mettler, M. (2016). Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here. *18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)* (1k 1-3). Munich: IEEE. doi:10.1109/HealthCom.2016.7749510
- Miao, G. J. (2014). High Frequency and Dynamic Pairs Trading Based on Statistical Arbitrage Using a Two-Stage Correlation and Cointegration Approach. *International Journal of Economics and Finance*, 6(3), 96-110. doi:10.5539/ijef.v6n3p96
- Miller, E. M. (1977). Risk, Uncertainty, and Divergence of Opinion. *The Journal of Finance*, 32(4), 1151-1168. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/2326520>
- Mitchell, M., Pulvino, T., & Stafford, E. (2002). Limited Arbitrage in Equity Markets. *The Journal of Finance*, 57(2), 551-584. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/2697750>
- Miyazaki, H. (2007). Between arbitrage and speculation: an economy of belief and doubt. *Economy and Society*, 36(3), 396-415. doi:10.1080/03085140701428365
- Mladenov, V., Iliadis, L., & Jayne, C. (2014). *Engineering Applications of Neural Networks*. Sofia: Springer.
- Moles, P., & Terry, N. (1997). *The Handbook of International Financial Terms*. Oxford University Press.
- Moosa, I. (2001). Triangular arbitrage in the spot and forward foreign exchange markets. *Quantitative Finance*, 1(4), 387-390.
- Moustafa, M. A. (2004). Testing the Weak-Form Efficiency of the United Arab Emirates Stock Market. *International Journal of Business*, 9(3), 310-325.

- Nadarajah, S., & Chu, J. (2017). On the inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, *150*, 6-9. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2016.10.033>
- O'Leary, Z. (2004). *The essential guide to doing research*. London, Thousand Oaks, New Delhi: SAGE Publications Ltd.
- Ølnes, S., Ubacht, J., & Janssen, M. (2017). Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *Government Information Quarterly*, *34*, 355-164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.09.007>
- Olowe, R. A. (1999). Weak Form Efficiency of the Nigerian Stock Market: Further Evidence. *African Development Review*, *11*(1), 54-68.
- Papp, J. (2014). A Medium of Exchange for an Internet Age: How to Regulate Bitcoin for the Growth of E-Commerce. *Pittsburgh Journal of Technology Law and Policy*, *15*(1), 33-56.
- Pearce, D. K. (1987). Challenges to the Concept of Stock Market Efficiency. *Economic Review*, *72*(8), 16-33.
- Peck, M. E. (June 2012. a.). The cryptoanarchists' answer to cash. *IEEE Spectrum*, *49*(6), 50-56.
- Peppard, J., & Rylander, A. (2006). From Value Chain to Value Network: Insights for Mobile Operators. (E. Ltd., Toim.) *European Management Journal*, *24*(2-3), 128-141. doi:10.1016/j.emj.2006.03.003
- Petty, N. J., Thomson, O. P., & Stew, G. (2012). Ready for a paradigm shift? Part 2: Introducing qualitative research methodologies and methods. *Manual Therapy*, *17*, 378-384.
- Pichl, L., & Kaizoji, T. (2017). Volatility analysis of Bitcoin price time series. *Quantitative Finance and Economics*, *1*(4), 474-485. doi:10.3934/QFE.2017.4.474
- Pieters, G., & Vivanco, S. (2015). *Bitcoin arbitrage and unofficial exchange rates*. Trinity University.
- Pontiff, J. (2006). Costly arbitrage and the myth of idiosyncratic risk. *Journal of Accounting and Economics*, *42*, 35-52. doi:10.1016/j.jacceco.2006.04.002

- Poshakwale, S. (September 1996. a.). Evidence on Weak Form Efficiency and Day of the Week Effect in the Indian Stock Market. *Finance India*, 10(3), 605-616.
- Rahman, S., & Hossain, M. F. (2006). Weak-Form Efficiency: Testimony of Dhaka Stock Exchange. *Journal of Business Research*, 8, 1-28.
- Reynolds, P., & Irwin, A. S. (2017). Tracking digital footprints: anonymity within the bitcoin system. *Journal of Money Laundering Control*, 20(2), 172-189.
doi:<https://doi.org/10.1108/>
- Rolnick, A. J., & Weber, W. E. (December 1997. a.). Money, Inflation, and Output under Fiat and Commodity Standards. *Journal of Political Economy*, 105(6), 1308-1321. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/10.1086/516394>
- Scargle, J. D. (1989). Astronomical time series analysis. III. Fourier transforms, autocorrelation functions, and cross-correlation function of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 343, 874/887.
- Scott, B. (2016). *How can cryptocurrency and blockchain technology play a role in building social and solidarity finance?* Geneva: UNRISD Working Paper, No. 2016-1.
- Selgin, G. (2015). Synthetic commodity money. *Journal of Financial Stability*, 17, 92-99.
- Serapiglia, A., Serapiglia, C., & McIntyre, J. (2015). Cryptocurrencies: Core Information Technology and Information System Fundamentals Enabling Currency Without Borders. *Information Systems Education Journal*, 13(3), 43-52.
- Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1997). The Limits of Arbitrage. *The Journal of Finance*, 52(1), 35-55. Allikas: <http://www.jstor.org/stable/2329555>
- Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied Energy*, 195, 234-246.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.039>
- Sotiropoulou, A., & Guégan, D. (2017). Bitcoin and the challenges for financial regulation. *Capital Markets Law Journal*, 12(4), 466-479. doi:<https://doi.org/10.1093/cmlj/kmx037>

- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2001). Vector Autoregressions. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 101–115.
- Turk, Ž., & Klinc, R. (2017). Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Engineering*, 196, 638-645. doi:10.1016/j.proeng.2017.08.052
- Urquhart, A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 148, 80-82. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2016.09.019
- Vidal-Tomás, D., & Ibañez, A. (2018). Semi-strong efficiency of Bitcoin. *Finance Research Letters*, 1-7. doi:https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.03.013
- Weber, B. (2014). Can Bitcoin compete with money? *Journal of Peer Production*(4), 1-6.
- White, L. H. (2015). The Market for Cryptocurrencies. *Cato Journal*, 35(2), 383-402.
- Yalçın, K. C. (2010). Market Rationality: Efficient Market Hypothesis versus Market Anomalies. *European Journal of Economic and Political Studies*, 3(2), 23-38.
- Yermack, D. (2013). Is Bitcoin a Real Currency? An Economic Appraisal. *NBER Working Paper* (1k 31–43). Cambridge
- Yuan, Y., & Wang, F. Y. (2016). Towards blockchain-based intelligent transportation systems. *19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (1k 2663-2668). Rio de Janeiro: IEEE. doi:10.1109/ITSC.2016.7795984
- Ziegeldorf, J. H., Matzutt, R., Henze, M., Grossmann, F., & Wehrle, K. (2018). Secure and anonymous decentralized Bitcoin mixing. *Future Generation Computer Systems*, 80, 448-466. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2016.05.018
- Zohar, A. (September 2015. a.). Bitcoin: Under the Hood. *Communications of the ACM*, 58(9), 104-113. doi:10.1145/2701411

LISAD

Lisa 1. Raha funktsioonile mittevastamise põhjused

Funktsioon	Funktsiooni definitsioon	Põhjused
Akumulatsiooni vahend	Raha tagab võimaluse saada soovitud toode või raha koguda ja hoida (Jevons, 1896)	<ul style="list-style-type: none">• Kuna puudub füüsiline keha, ei sobi klassikaline väärtuse säilitamise viis. Teoreetiliselt on asjakohane vaid lisakulude eest kindlustuse vormistamine (Yermack 2013, 14).• Ei taga lühiajalises perspektiivis stabiilsust (kõrge hinnavolatiilsus, mis on traditsioonilise raha väärtuse akumulereerimise eeldus (Yermack, 2013; Angel, McCabe 2015, 606).• Tegevusalade standardid ei luba krüptoraha kasutamist vahetusvahendina jae- ja kommertsurul, seega selle nõudlus ega väärtus ei suurene (Papp 2014, 55).
Vahetusvahend	Kindel objekt, mille realiseerimise eesmärk ei ole tarbimine ega tootmisprotsessis kasutamine, vaid millegi muu vastu vahetamine (Kiyotaki, Wright 1989, 937).	<ul style="list-style-type: none">• Krüptoraha kasutamine jaeturul on piiratud, seda aktsepteeritakse vaid mõnede suurte organisatsioonide poolt. Kuigi klient maksab krüptovaluutas, on tegu sisuliselt valuuta müügiga reaalses maailmas, mille tulemusena laekub kaupmehe kontole ikka <i>fiat</i>-valuuta (White 2015, 385; Glaser <i>et al.</i> 2014, 2; Johnson, Pomorski 2014, 8), seega isegi piiratud kasutamist on keeruline väita.• Krüptoraha vahetusvahendina ei vasta kahele tingimusele:<ul style="list-style-type: none">○ keskpanga poolt aktsepteeritav ja reguleeritav (Benston, Kaufman, 1996, 690);○ võimaldab rahuldada võlausaldaja nõudeid (Luther, White 2014).

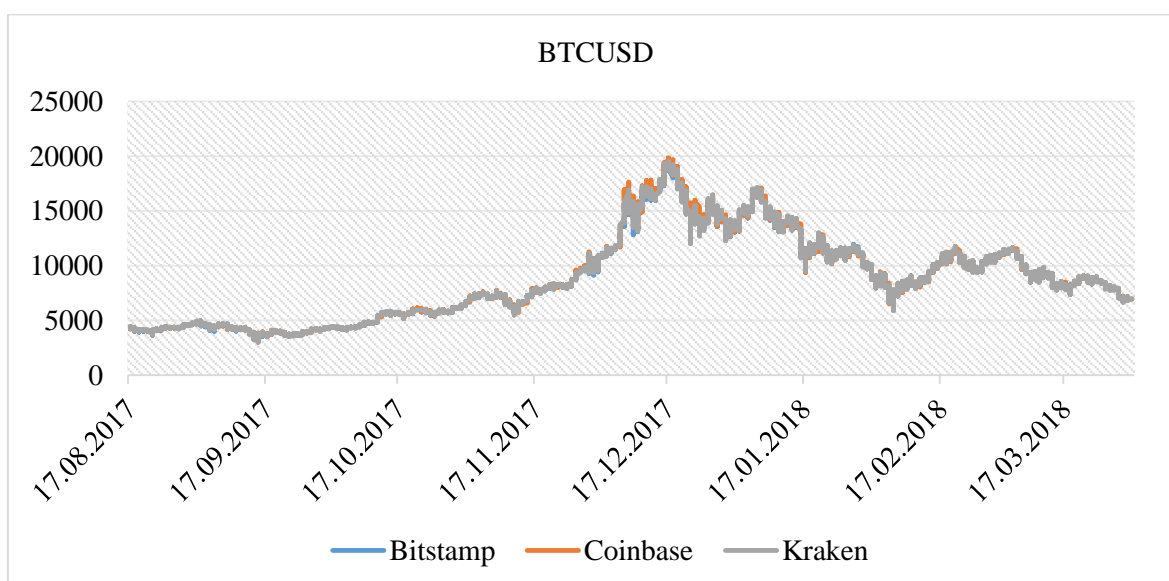
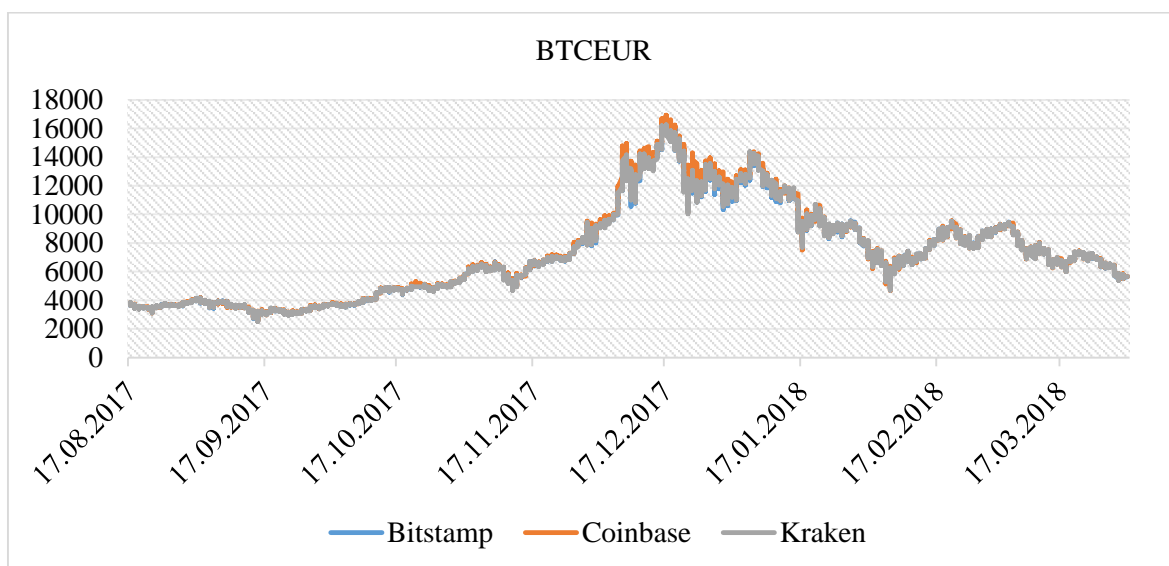
Allikas: autori koostatud

Lisa 1. järg

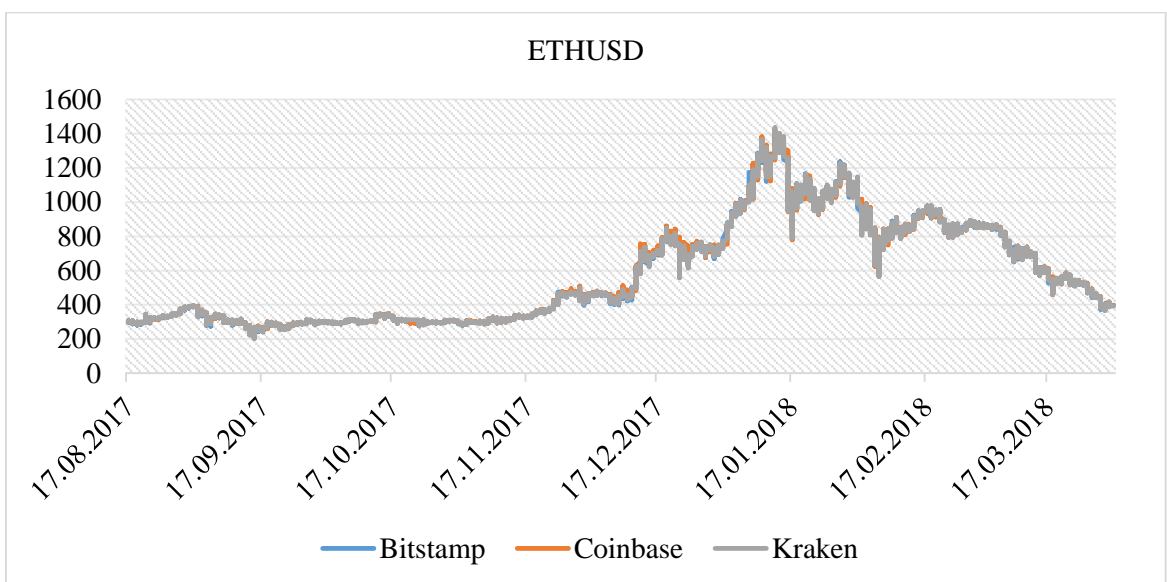
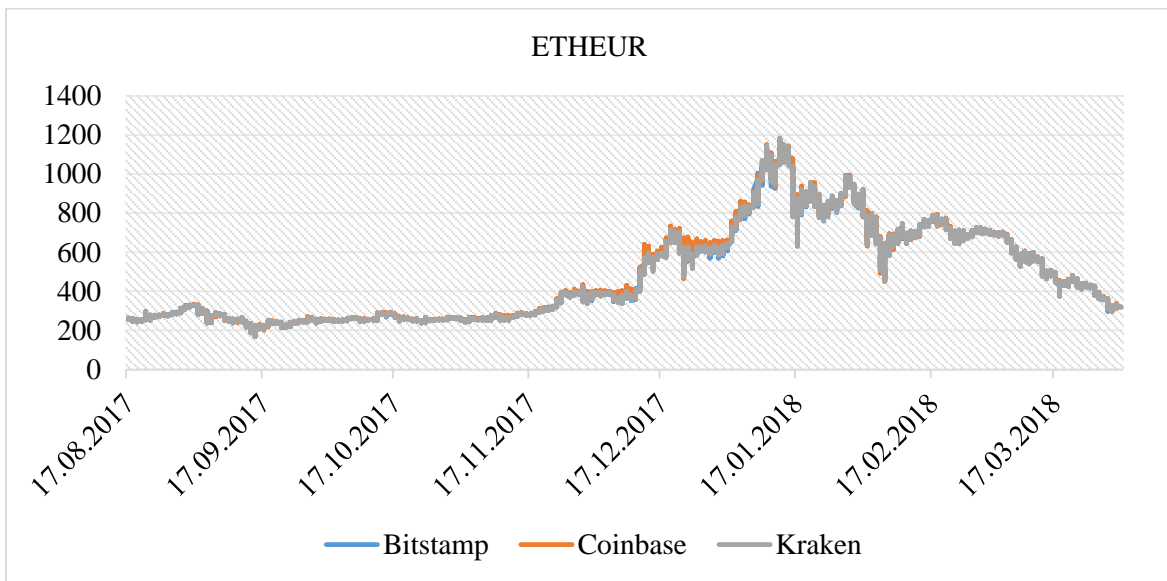
Arvestusühik	Efektiivne lahendus, mis eeldab, et kõik hinnad on interpreteeritud samades ühikutes, mis teeb need võrreldavateks ja kasutuskõblikeks. (Beer, Weber 2014, 59).	<ul style="list-style-type: none"> • Black (1970), Doepke, Schneider (2017), H. Dong, W. Dong (2015) järgi ei tohi arvestusühiku väärtus olla ajas volatiilne, mis on krüptoraha olukorraga vastuolus. • Arvestusühikuks pidamine ja kasutuselevõtt peab olema heaks kiidetud ehk reguleeritud riigi tasemel (Doepke, Schneider 2017, 5), mis ei vasta krüptoraha olemusele. • Börsidel kaubeldavate altcoinide kogum on erinev, mis takistab krüptoraha kasutamist teiste varade väärtuse võrdlemiseks (Yermack 2013, 11).
Maksevahend	Tööriist või protseduuride kogum, mis võimaldab teostada rahaülekannet maksjalt saajale (European Central Bank, 2009).	<ul style="list-style-type: none"> • Krüptoraha vastab vaid osadele kriteeriumitele, et seda saaks tuvastada maksevahendina, nt turvalisus, anonüümsus, madalad kulud (Bal <i>et al.</i> 2013, 353), kuid siin ei ole aktuaalsed nullvastutuse, tarbijakaitse (Dostov, Shust 2014, 259) ja transaktsiooni pöörduvuse (<i>Ibid.</i>) mõisted. • Puuduvad <i>fiat</i>-raha tunnused ja tagatis, st seda ei saa täiuslikuks, sõltumatuks ja iseseisvaks maksevahendiks pidada (Dostov, Shust 2014, 259; Yermack 2013).

Allikas: autori koostatud

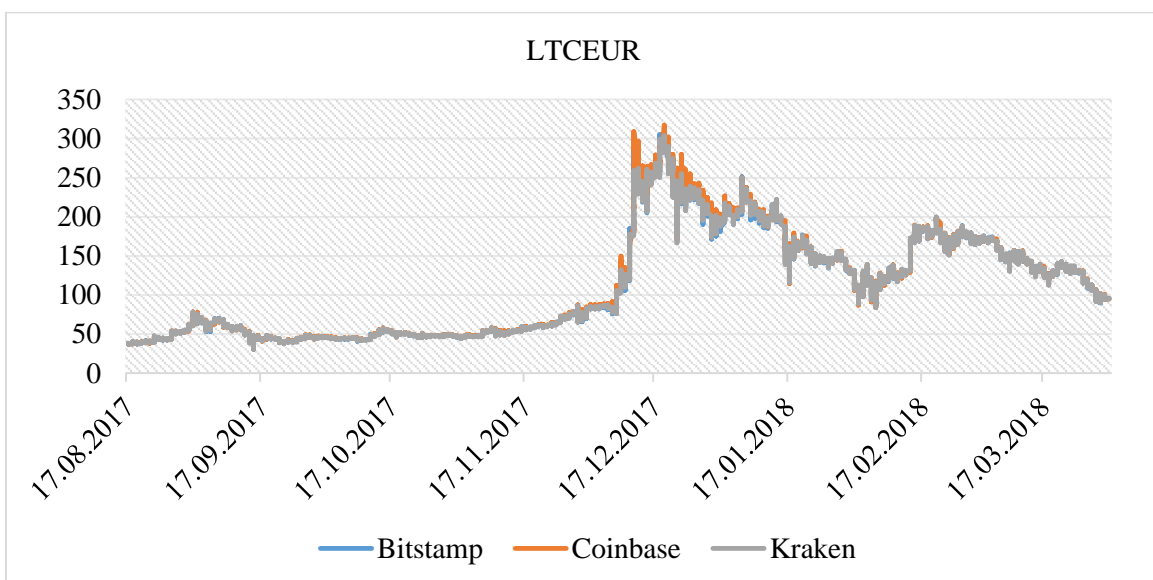
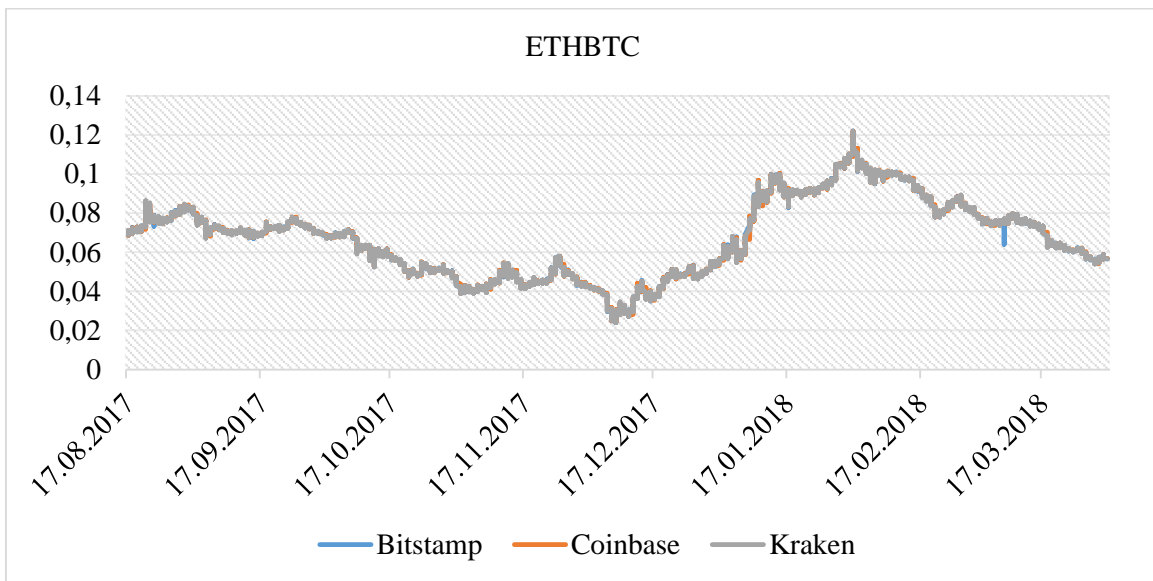
Lisa 2. Uuritavate aegridade dünaamika perioodil 17.08.2017-01.04.2018



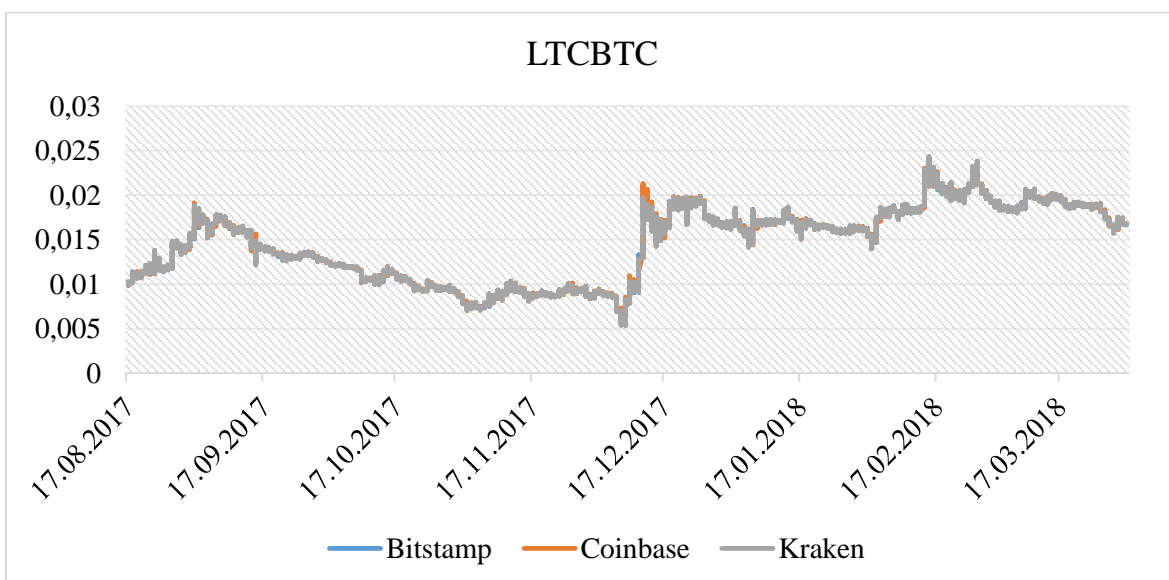
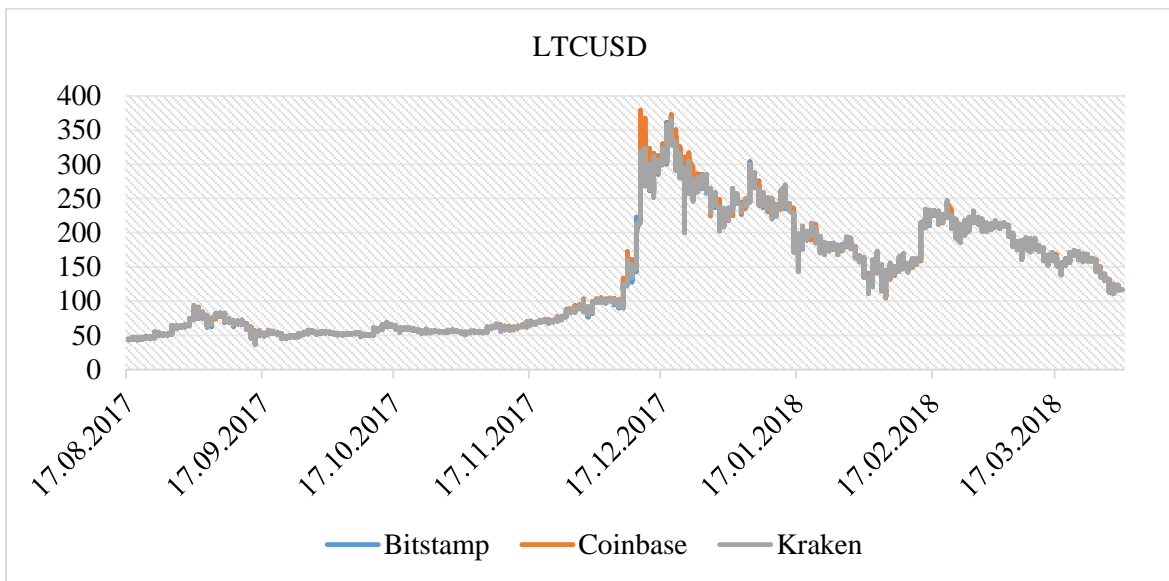
Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase, Kraken andmete alusel



Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase, Kraken andmete alusel



Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase, Kraken andmete alusel



Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase, Kraken andmete alusel

**Lisa 3. Uuritava valemi kirjeldav statistika perioodil 17.08.2017 13:00 –
01.04.2018**

		Börsid		
		Bitstamp	Coinbase	Kraken
Paarid	BTCEUR	BBTCEUR	CBTCEUR	KBTCEUR
	Keskmine	7 285,720	7 393,466	7 286,780
	Mediaan	6 853,255	6 884,440	6 860,600
	Maksimum	16 409,000	16 928,210	16 262,000
	Miinumum	2 517,730	2 525,060	2 513,000
	Std.hälve	3 235,467	3 370,621	3 240,958
	BTCUSD	BBTCUSD	CBTCUSD	KBTCUSD
	Keskmine	8 757,152	8 798,575	8 770,134
	Mediaan	8 252,700	8 263,760	8 251,000
	Maksimum	19 546,880	19 847,110	19 539,300
	Miinumum	3 022,890	3 025,000	3 013,000
	Std.hälve	3 915,771	3 973,155	3 921,098
	ETHEUR	BETHEUR	CETHEUR	KETHEUR
	Keskmine	477,109	482,432	476,731
	Mediaan	385,820	394,085	384,345
	Maksimum	1 168,400	1 176,990	1 184,040
	Miinumum	169,500	170,000	168,800
	Std.hälve	238,480	241,417	239,002
	ETHUSD	BETHUSD	CETHUSD	KETHUSD
	Keskmine	576,139	578,107	576,219
	Mediaan	460,000	464,545	460,385
	Maksimum	1 419,990	1 418,610	1 435,000
	Miinumum	202,370	205,390	203,090
	Std.hälve	296,319	295,668	295,446
	ETHBTC	BETHBTC	CETHBTC	KETHBTC
	Keskmine	0,06710	0,06711	0,06704
	Mediaan	0,06940	0,06938	0,06942
	Maksimum	0,12208	0,12180	0,12170
	Miinumum	0,02395	0,02401	0,02405
	Std.hälve	0,01937	0,01937	0,01939

Allikas: autori arvutused börside Bitstamp, Coinbase, Kraken andmete baasil

Lisa 3. järg

		Börsid		
		Bitstamp	Coinbase	Kraken
Paarid	LTCEUR	BLTCEUR	CLTCEUR	KLTCEUR
	Keskmine	110,694	112,498	110,716
	Mediaan	88,635	90,495	88,780
	Maksimum	312,640	317,000	303,490
	Miinumum	30,610	30,880	30,730
	Std.hälve	66,031	68,285	65,886
	LTCUSD	BLTCUSD	CLTCUSD	KLTCUSD
	Keskmine	133,603	134,599	133,647
	Mediaan	111,225	107,920	110,985
	Maksimum	370,450	378,660	364,320
	Miinumum	36,420	37,340	37,200
	Std.hälve	80,394	81,609	80,035
	LTCBTC	BLTCBTC	CLTCBTC	KLTCBTC
	Keskmine	0,01459	0,01461	0,01459
	Mediaan	0,01595	0,01595	0,01594
Maksimum	0,02432	0,02428	0,02434	
Miinumum	0,00538	0,00548	0,00538	
Std.hälve	0,00413	0,00414	0,00413	

Allikas: autori arvutused börside Bitstamp, Coinbase, Kraken andmete baasil

Lisa 4. Pearson'i korrelatsioonimaatriks

	BBTCEUR	BBTCUSD	BETHEUR	BETHUSD	BETHBTC	BLTCEUR
BBTCEUR	1					
BBTCUSD	0,9591	1				
BETHEUR	0,6939	0,6809	1			
BETHUSD	-0,0099	-0,0099	-0,0023	1		
BETHBTC	-0,2280	-0,2280	0,4460	0,0083	1	
BLTCEUR	0,7067	0,6896	0,7018	0,0001	0,1032	1
BLTCUSD	0,6957	0,7046	0,6954	0,0021	0,1072	0,9593
BLTCBTC	-0,0110	-0,0232	0,2746	0,0048	0,3942	0,6342
CBTCEUR	-0,0374	-0,0439	-0,0548	0,0079	-0,0246	-0,0391
CBTCUSD	-0,0534	-0,0571	-0,0647	0,0052	-0,0155	-0,0545
CETHEUR	-0,0470	-0,0519	-0,0732	0,0088	-0,0418	-0,0543
CETHUSD	-0,0673	-0,0673	-0,0841	0,0089	-0,0304	-0,0708
CETHBTC	-0,0235	-0,0196	-0,0320	0,0071	-0,0229	-0,0282
CLTCEUR	-0,0500	-0,0522	-0,0597	0,0094	-0,0263	-0,0536
CLTCUSD	-0,0536	-0,0527	-0,0625	0,0120	-0,0213	-0,0657
CLTCBTC	-0,0232	-0,0193	-0,0209	0,0104	-0,0094	-0,0466
KBTCEUR	0,9174	0,9074	0,6612	-0,0086	-0,2045	0,6792
KBTCUSD	0,9188	0,9252	0,6685	0,0019	-0,2082	0,6734
KETHEUR	0,6754	0,6694	0,9116	-0,0036	0,4014	0,6983
KETHUSD	0,6662	0,6741	0,9097	-0,0009	0,4087	0,6758
KETHBTC	-0,2336	-0,2304	0,4189	0,0012	0,8242	0,0869
KLTCEUR	0,6657	0,6522	0,6779	0,0043	0,1169	0,8822
KLTCUSD	0,6552	0,6510	0,6805	0,0095	0,1268	0,8741
KLTCBTC	-0,0049	-0,0176	0,2634	0,0107	0,3673	0,5485

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken andmete baasil

Lisa 4. järg

	BLTCUSD	BLTCBTC	CBTCEUR	CBTCUSD	CETHEUR	CETHUSD
BLTCUSD	1					
BLTCBTC	0,6331	1				
CBTCEUR	-0,0444	-0,0274	1			
CBTCUSD	-0,0577	-0,0328	0,9166	1		
CETHEUR	-0,0565	-0,0398	0,7179	0,6537	1	
CETHUSD	-0,0683	-0,0392	0,6703	0,7162	0,9179	1
CETHBTC	-0,0211	-0,0137	-0,2331	-0,2527	0,4507	0,4694
CLTCEUR	-0,0576	-0,0352	0,7070	0,6397	0,7223	0,6700
CLTCUSD	-0,0666	-0,0456	0,6605	0,6936	0,6771	0,7127
CLTCBTC	-0,0450	-0,0377	-0,0214	-0,0493	0,2662	0,2539
KBTCEUR	0,6752	0,0082	-0,0426	-0,0590	-0,0535	-0,0737
KBTCUSD	0,6816	-0,0064	-0,0411	-0,0496	-0,0488	-0,0645
KETHEUR	0,6975	0,2901	-0,0643	-0,0747	-0,0800	-0,0901
KETHUSD	0,6885	0,2689	-0,0591	-0,0609	-0,0706	-0,0732
KETHBTC	0,0910	0,3734	-0,0145	-0,0029	-0,0373	-0,0227
KLTCEUR	0,8694	0,5595	-0,0594	-0,0730	-0,0673	-0,0843
KLTCUSD	0,8752	0,5588	-0,0504	-0,0578	-0,0641	-0,0746
KLTCBTC	0,5415	0,7958	-0,0292	-0,0315	-0,0313	-0,0279

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken andmete baasil

Lisa 4. järg

	CETHBTC	CLTCEUR	CLTCUSD	CLTCBTC	KBTCEUR	KBTCUSD
CETHBTC	1					
CLTCEUR	0,1150	1				
CLTCUSD	0,1145	0,9277	1			
CLTCBTC	0,4125	0,6353	0,6657	1		
KBTCEUR	-0,0234	-0,0588	-0,0645	-0,0329	1	
KBTCUSD	-0,0227	-0,0525	-0,0497	-0,0232	0,9352	1
KETHEUR	-0,0277	-0,0750	-0,0746	-0,0309	0,7171	0,6911
KETHUSD	-0,0192	-0,0671	-0,0613	-0,0235	0,6692	0,7108
KETHBTC	-0,0268	-0,0081	0,0009	0,0075	-0,2428	-0,2401
KLTCEUR	-0,0188	-0,0922	-0,1014	-0,0748	0,6941	0,6633
KLTCUSD	-0,0241	-0,0857	-0,0910	-0,0794	0,6514	0,6793
KLTCBTC	-0,0010	-0,0548	-0,0670	-0,0657	-0,0205	-0,0284

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken andmete baasil

Lisa 4. järg

	KETHEUR	KETHUSD	KETHBTC	KLTCEUR	KLTCUSD	KLTCBTC
KETHEUR	1					
KETHUSD	0,9293	1				
KETHBTC	0,4171	0,4200	1			
KLTCEUR	0,7251	0,6784	0,0978	1		
KLTCUSD	0,6949	0,7022	0,1095	0,9097	1	
KLTCBTC	0,2736	0,2601	0,3984	0,6030	0,5879	1

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken andmete baasil

Lisa 5. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused kõikide börside seas

Viitaeg	Kõikide börside seas			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,43928	332	0,00177	6
-1	0,02607	33	0,00188	23
-2	0,49541	137	0,00199	21
-3	0,06156	9	0,00192	46
-4	0,25978	6	0,00146	49
-5	0,03538	1	0,00192	95
-6	0,03007	11	0,00158	68
-7	0,03307	6	0,00183	50
-8	0,02388	5	0,00149	55
-9	0,28580	3	0,00158	42
-10	0,04872	23	0,07007	36
-11	0,02471	6	0,00207	39
-12	0,07929	4	0,00208	46
<i>Kokku</i>		<i>576</i>		<i>576</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 6. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Bitstampi börsil olevate paaride vahel

Viitaeg	Bitstampi börs			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,540531936	39	0,000079	1
-1	0,014994804	15	0,0063658	3
-2	-0,075566304	3	0,002566138	2
-3	0,029819	1	0,002040188	5
-4			0,000873678	6
-5			0,002107731	11
-6			0,001706114	11
-7			0,00434705	4
-8	0,020619525	2	0,000948001	5
-9	0,02454304	2	0,001930563	3
-10			0,001883362	3
-11			0,002503259	4
-12	0,065645255	2	0,009763915	6
<i>Kokku</i>		<i>64</i>		<i>64</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 7. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Coinbase'i börsil olevate paaride vahel

Viitaeg	Coinbase'i börsil			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,552638155	54		
-1	0,061397656	2		
-2	0,075351128	5	0,008108675	2
-3			0,003575617	5
-4			0,00179459	6
-5			0,001337464	8
-6			0,001085734	8
-7	0,046356	1	0,00135219	7
-8	0,026194	1	0,001941288	6
-9			0,00286989	5
-10			0,002586466	9
-11			0,00199707	3
-12	0,113341	1	0,001685986	5
<i>Kokku</i>		<i>64</i>		<i>64</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 8. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Krakeni börsil olevate paaride vahel

Viitaeg	Krakeni börsil			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,565447896	52		
-1	0,056735	1	0,0010904	1
-2	0,061855988	6	0,000976208	2
-3			0,001244892	8
-4	0,040945919	2	0,001773169	4
-5			0,001254784	9
-6			0,002086305	5
-7			0,000949174	8
-8	0,039005	1	0,00126133	3
-9			0,001413903	5
-10	0,031085	1	0,00104304	6
-11			0,00205083	5
-12	0,072547	1	0,002246204	8
<i>Kokku</i>		<i>64</i>		<i>64</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 9. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Bitstampi ja Coinbase'i börsidel olevate paaride vahel

Viitaeg	Bitstampi ja Coinbase'i vahel			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,050310268	39		
-1			0,001662771	10
-2	0,54810179	58	0,001378575	5
-3	0,065523641	8	0,002603806	10
-4			0,001318	14
-5			0,002001101	22
-6	0,032859766	4	0,002193947	14
-7	0,035869	1	0,001643316	6
-8			0,001225	11
-9			0,001268	10
-10	0,04639718	12	0,002042	6
-11	0,02471951	6	0,001822	9
-12			0,00164361	11
<i>Kokku</i>		<i>128</i>		<i>128</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 10. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Bitstampi ja Krakeni börsidel olevate paaride vahel

Viitaeg	Bitstampi ja Krakeni vahel			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,58420157	104	0,0048743	1
-1	0,04676337	15	0,00167796	2
-2	0,02936493	3	0,001320982	5
-3			0,00148992	9
-4	0,042410822	2	0,00134283	13
-5			0,001494925	25
-6	0,0166437	3	0,00132706	15
-7			0,001000215	14
-8	0,01294401	1	0,001144921	15
-9			0,001159201	8
-10			0,002270026	8
-11			0,002337921	7
-12			0,002473788	6
<i>Kokku</i>		<i>128</i>		<i>128</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 11. Ristkorrelatsiooni koefitsientide keskmised tulemused Coinbase'i ja Krakeni börsidel olevate paaride vahel

Viitaeg	Coinbase'i ja Krakeni vahel			
	Keskmine maksimum	arv	Keskmine miinumum	arv
0	0,06353111	44	0,0014168	4
-1			0,0022298	7
-2	0,752139052	62	0,0017599	5
-3			0,0012075	9
-4	0,029632159	2	0,0020705	6
-5	0,0358	1	0,0027903	20
-6	0,037353268	4	0,0012643	15
-7	0,029048166	4	0,0030332	11
-8			0,0020449	15
-9	0,036659	1	0,0015538	11
-10	0,053274354	10	0,0011572	4
-11			0,0019904	11
-12			0,00637	10
<i>Kokku</i>		<i>128</i>		<i>128</i>

Allikas: autori koostatud

Lisa 12. Korrelatsioonimaatriks S&P500-ga

	BBTCEUR	BBTCUSD	BETHEUR	BETHUSD	BETHBTC	BLTCEUR
BBTCEUR	1					
BBTCUSD	0,9991	1				
BETHEUR	0,9441	0,9455	1			
BETHUSD	0,9431	0,9457	0,9964	1		
BETHBTC	0,2419	0,2450	0,5229	0,5088	1	
BLTCEUR	0,9143	0,9156	0,9439	0,9412	0,4365	1
BLTCUSD	0,9186	0,9209	0,9469	0,9449	0,4309	0,9992
BLTCBTC	0,1404	0,1434	0,2996	0,2924	0,5418	0,5199
CBTCEUR	0,9922	0,9921	0,9418	0,9423	0,2449	0,9102
CBTCUSD	0,9921	0,9929	0,9410	0,9433	0,2456	0,9116
CETHEUR	0,9429	0,9444	0,9942	0,9931	0,4969	0,9342
CETHUSD	0,9425	0,9446	0,9946	0,9946	0,5023	0,9361
CETHBTC	0,2495	0,2508	0,5232	0,5126	0,9637	0,4263
CLTCEUR	0,9022	0,9025	0,9355	0,9323	0,4365	0,9829
CLTCUSD	0,8997	0,9005	0,9329	0,9308	0,4368	0,9830
CLTCBTC	0,1258	0,1249	0,2799	0,2688	0,5207	0,4744
KBTCEUR	0,9990	0,9986	0,9423	0,9413	0,2373	0,9116
KBTCUSD	0,9987	0,9990	0,9472	0,9460	0,2507	0,9192
KETHEUR	0,9463	0,9480	0,9992	0,9960	0,5135	0,9405
KETHUSD	0,9438	0,9461	0,9994	0,9963	0,5195	0,9435
KETHBTC	0,2449	0,2479	0,5248	0,5111	0,9980	0,4365
KLTCEUR	0,9216	0,9234	0,9486	0,9462	0,4294	0,9973
KLTCUSD	0,9180	0,9204	0,9459	0,9441	0,4308	0,9979
KLTCBTC	0,1561	0,1597	0,3145	0,3088	0,5497	0,5295
S&P500	0,0374	0,0417	0,0515	0,0579	0,1020	0,0454

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken ning Yahoo Finance andmete baasil

Lisa 12. järg

	BLTCUSD	BLTCBTC	CBTCEUR	CBTCUSD	CETHEUR	CETHUSD
BLTCUSD	1					
BLTCBTC	0,5081	1				
CBTCEUR	0,9154	0,1414	1			
CBTCUSD	0,9175	0,1473	0,9974	1		
CETHEUR	0,9376	0,2721	0,9504	0,9474	1	
CETHUSD	0,9399	0,2795	0,9483	0,9486	0,9988	1
CETHBTC	0,4189	0,4901	0,2467	0,2458	0,5112	0,5160
CLTCEUR	0,9814	0,4992	0,9097	0,9089	0,9378	0,9383
CLTCUSD	0,9820	0,5062	0,9055	0,9080	0,9339	0,9366
CLTCBTC	0,4592	0,9121	0,1272	0,1309	0,2665	0,2726
KBTCEUR	0,9161	0,1345	0,9920	0,9916	0,9414	0,9406
KBTCUSD	0,9239	0,1527	0,9916	0,9917	0,9457	0,9454
KETHEUR	0,9438	0,2854	0,9448	0,9436	0,9946	0,9947
KETHUSD	0,9470	0,2979	0,9421	0,9418	0,9943	0,9950
KETHBTC	0,4309	0,5359	0,2475	0,2489	0,5001	0,5058
KLTCEUR	0,9979	0,4967	0,9189	0,9191	0,9392	0,9404
KLTCUSD	0,9986	0,5063	0,9147	0,9162	0,9358	0,9380
KLTCBTC	0,5194	0,9913	0,1577	0,1632	0,2855	0,2930
S&P500	0,0462	0,0378	0,0426	0,0408	0,0501	0,0514

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken ning Yahoo Finance andmete baasil

Lisa 12. järg

	CETHBTC	CLTCEUR	CLTCUSD	CLTCBTC	KBTCEUR	KBTCUSD
CETHBTC	1					
CLTCEUR	0,4411	1				
CLTCUSD	0,4407	0,9987	1			
CLTCBTC	0,5228	0,5199	0,5260	1		
KBTCEUR	0,2437	0,8996	0,8967	0,1192	1	
KBTCUSD	0,2562	0,9066	0,9042	0,1355	0,9987	1
KETHEUR	0,5147	0,9330	0,9302	0,2676	0,9458	0,9496
KETHUSD	0,5199	0,9356	0,9335	0,2789	0,9424	0,9479
KETHBTC	0,9673	0,4379	0,4387	0,5191	0,2399	0,2528
KLTCEUR	0,4152	0,9756	0,9746	0,4371	0,9202	0,9269
KLTCUSD	0,4162	0,9756	0,9757	0,4460	0,9160	0,9240
KLTCBTC	0,4897	0,4971	0,5035	0,8734	0,1497	0,1681
S&P500	0,1023	0,0480	0,0470	0,0373	0,0383	0,0417

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken ning Yahoo Finance andmete baasil

Lisa 12. järg

	KETHEUR	KETHUSD	KETHBTC	KLTCEUR	KLTCUSD	KLTCBTC	S&P500
KETHEUR	1						
KETHUSD	0,9993	1					
KETHBTC	0,5159	0,5215	1				
KLTCEUR	0,9463	0,9484	0,4288	1			
KLTCUSD	0,9429	0,9461	0,4303	0,9991	1		
KLTCBTC	0,2999	0,3122	0,5434	0,5132	0,5219	1	
S&P500	0,0493	0,0525	0,0957	0,0435	0,0502	0,0366	1

Allikas: autori koostatud börside Bitstamp, Coinbase ja Kraken ning Yahoo Finance andmete baasil

Lisa 13. Kaudsel ja otsesel meetodil saadud suurimad EURUSD *spread* id ja komisjonitasude mõju nendele

Bitstamp	BBTCEUR/ BBTCUSD- EURUSD	BBTCEUR/ BBTCUSD- EURUSD-tasud	BETHEUR/ BETHUSD- EURUSD	BETHEUR/ BETHUSD- EURUSD-tasud	BLTCEUR/ BLTCUSD- EURUSD	BLTCEUR/ BLTCUSD- EURUSD-tasud
Kasum	0,0337	-6,9476	0,0953	-1,3071	0,0375	-0,9648
Aeg	05.09.2017 19:00	15.09.2017 11:00	22.12.2017 12:00	15.09.2017 11:00	05.09.2017 15:00	19.08.2017 20:00
Coinbase	CBTCEUR/ CBTCUSD- EURUSD	CTCEUR/ CBTCUSD- EURUSD-tasud	CETHEUR/ CETHUSD- EURUSD	CETHEUR/ CETHUSD- EURUSD-tasud	CLTCEUR/ CLTCUSD- EURUSD	CLTCEUR/ CLTCUSD- EURUSD-tasud
Kasum	0,1001	-24,7484	0,0926	-1,6102	0,1015	-0,5316
Aeg	07.12.2017 12:00	15.09.2017 12:00	07.12.2017 12:00	15.09.2017 13:00	07.12.2017 12:00	22.09.2017 13:00
Kraken	KBTCEUR/ KBTCUSD- EURUSD	KBTCEUR/ KBTCUSD- EURUSD-tasud	KETHEUR/ KETHUSD- EURUSD	KETHEUR/ KETHUSD- EURUSD-tasud	KLTCEUR/ KLTUSD- EURUSD	KLTCEUR/ KLTUSD- EURUSD-tasud
Kasum	0,0416	-11,1592	0,0468	-0,8412	0,0454	-0,2227
Aeg	30.12.2017 8:00	15.09.2017 11:00	30.12.2017 8:00	15.09.2017 11:00	20.12.2017 17:00	15.09.2017 9:00

Allikas: autori arvutused

Lisa 14. Kaudsel ja otsesel meetodil saadud LTCBTC ja ETHBTC suurimad *spread* id ja komisjonitasude mõju nendele

Bitstamp	BLTCEUR/ BBTCEUR- BLTCBTC	BLTCEUR/ BBTCEUR- BLTCBTC-tasud	B LTCUSD/ BBTCUSD- BLTCBTC	B LTCUSD/ BBTCUSD- BLTCBTC-tasud	BETHEUR/ BBTCEUR- BETHBTC	BETHEUR/ BBTCEUR- BETHBTC-tasud	BETHUSD/ BBTCUSD- BETHBTC	BETHUSD/ BBTCUSD- BETHBTC-tasud
Kasum	0,0006	-0,0002	0,0007	-0,0015	0,0024	0,0019	0,0155	0,0145
Aeg	12.12.2017 17:00	17.08.2017 13:00	12.12.2017 17:00	12.12.2017 17:00	23.08.2017 16:00	23.08.2017 16:00	02.02.2018 12:00	02.02.2018 12:00
Coinbase	CLTCEUR/ CBTCEUR- CLTCBTC	CLTCEUR/ CBTCEUR- CLTCBTC-tasud	CLTCUSD/ CBTCUSD- CLTCBTC	CLTCUSD/ CBTCUSD- CLTCBTC-tasud	CETHEUR/ CBTCEUR- CETHBTC	CETHEUR/ CBTCEUR- CETHBTC-tasud	CETHUSD/ CBTCUSD- CETHBTC	CETHUSD/ CBTCUSD- CETHBTC-tasud
Kasum	0,0009	-0,0003	0,0014	-0,0028	0,0022	-0,0008	0,0008	-0,0038
Aeg	12.12.2017 17:00	12.12.2017 17:00	12.12.2017 17:00	12.12.2017 17:00	09.10.2017 21:00	30.12.2017 14:00	17.01.2018 1:00	20.12.2017 2:00
Kraken	KLTCEUR/ KBTCEUR- KLTCBTC	KLTCEUR/ KBTCEUR- KLTCBTC-tasud	KLTCUSD/ KBTCUSD- KLTCBTC	KLTCUSD/ KBTCUSD- KLTCBTC-tasud	KETHEUR/ KBTCEUR- KETHBTC	KETHEUR/ KBTCEUR- KETHBTC-tasud	KETHUSD/ KBTCUSD- KETHBTC	KETHUSD/ KBTCUSD- KETHBTC-tasud
Kasum	0,0009	0,0009	0,0011	0,0011	0,0030	0,0028	0,0051	0,0049
Aeg	07.12.2017 11:00	07.12.2017 11:00	07.12.2017 11:00	07.12.2017 11:00	21.10.2017 15:00	21.10.2017 15:00	21.10.2017 15:00	21.10.2017 15:00

Allikas: autori arvutused

Lisa 15. VAR-mudel Bitstampil

Tabel 8. VAR(2) mudel BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR muutujatega

Vector Autoregression Estimates

Date: 04/21/18 Time: 20:52

Sample (adjusted): 8/17/2017 16:00 4/01/2018 00:00

Included observations: 5433 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

	BBTCEUR	BETHEUR	BLTCEUR
BBTCEUR(-1)	-0.099212 (0.02074) [-4.78469]	-0.049043 (0.03294) [-1.48870]	-0.138110 (0.05541) [-2.49264]
BBTCEUR(-2)	-0.010300 (0.02074) [-0.49652]	-0.019873 (0.03296) [-0.60299]	0.077616 (0.05543) [1.40020]
BETHEUR(-1)	0.013275 (0.01320) [1.00555]	-0.116113 (0.02097) [-5.53612]	0.158202 (0.03528) [4.48478]
BETHEUR(-2)	-0.029971 (0.01319) [-2.27303]	-0.076900 (0.02095) [-3.67091]	-0.025723 (0.03523) [-0.73009]
BLTCEUR(-1)	0.007232 (0.00790) [0.91590]	0.066536 (0.01255) [5.30355]	-0.096269 (0.02110) [-4.56242]
BLTCEUR(-2)	-0.006739 (0.00790) [-0.85265]	0.007201 (0.01256) [0.57346]	-0.091682 (0.02112) [-4.34124]
C	1.15E-05 (2.1E-05) [0.53871]	9.12E-06 (3.4E-05) [0.26800]	5.94E-05 (5.7E-05) [1.03713]

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(2)
 mudel BTCEUR,
 ETHEUR ja LTCEUR

muutujatega R-squared	0.010133	0.013778	0.014217
Adj. R-squared	0.009039	0.012687	0.013127
Sum sq. Resids	0.013533	0.034158	0.096625
S.E. equation	0.001579	0.002509	0.004220
F-statistic	9.257621	12.63355	13.04230
Log likelihood	27341.63	24826.43	22001.71
Akaike AIC	-10.06244	-9.136549	-8.096711
Schwarz SC	-10.05394	-9.128045	-8.088207
Mean dependent	1.04E-05	1.03E-05	5.06E-05
S.D. dependent	0.001586	0.002525	0.004248
<hr/>			
Determinant resid covariance (dof adj.)	5.90E-17		
Determinant resid covariance	5.87E-17		
Log likelihood	78397.38		
Akaike information criterion	-28.85197		
Schwarz criterion	-28.82646		
<hr/>			

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR mudelis kasutatavate viitaegade valiku testimine

VAR Lag Order Selection Criteria
 Endogenous variables: BBTCEUR BETHEUR BLTCEUR
 Exogenous variables: C
 Date: 04/21/18 Time: 20:50
 Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5427

Lag	LogL	LR	FPE	AIC
0	78142.01	NA	6.26e-17	-28.79639
1	78265.26	246.3136	6.00e-17	-28.83850
2	78306.54	82.45261	5.93e-17*	-28.85039*
3	78311.57	10.04585	5.94e-17	-28.84893
4	78317.12	11.07151	5.95e-17	-28.84766
5	78320.95	7.636875	5.96e-17	-28.84575
6	78323.91	5.889038	5.97e-17	-28.84353
7	78327.31	6.788035	5.98e-17	-28.84146
8	78337.85	20.98395*	5.98e-17	-28.84203

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Autokorrelatsiooni LM test VAR(2) mudelile

VAR Residual Serial Correlation LM Tests
 Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h
 Date: 04/21/18 Time: 20:52
 Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018
 00:00
 Included observations: 5433

Lags	LM-Stat	Prob
1	11.36531	0.2515
2	9.081851	0.4298
3	9.311597	0.4090
4	11.13089	0.2668
5	7.906699	0.5436
6	6.485716	0.6905
7	8.057260	0.5284

Probs from chi-square with 9 df.

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(2) mudeli koefitsientide statistiline olulisus erinevates viitaegades

VAR Lag Exclusion Wald Tests
 Date: 04/21/18 Time: 20:53
 Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5433

Chi-squared test statistics for lag exclusion:
 Numbers in [] are p-values

	BBTCEUR	BETHEUR	BLTCEUR	Joint
Lag 1	30.66849 [9.98e-07]	47.07293 [3.35e-10]	44.29958 [1.30e-09]	280.6990 [0.000000]
Lag 2	26.60011 [7.14e-06]	32.99505 [3.23e-07]	38.80035 [1.91e-08]	82.94747 [4.19e-14]
df	3	3	3	9

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 9. Granger-põhjuslikkuse test

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Date: 04/21/18 Time: 11:05

Sample: 1 5435

Included observations: 5433

Dependent variable: BBTCEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
BETHEUR	7.056806	2	0.0294
BLTCEUR	1.820059	2	0.4025
All	13.01166	4	0.0112

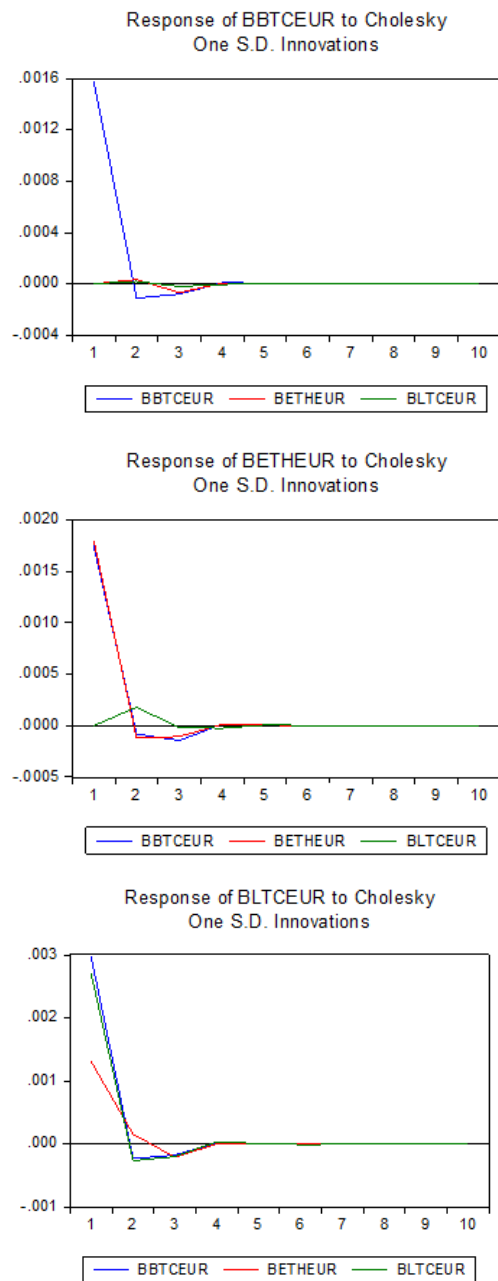
Dependent variable: BETHEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
BBTCEUR	2.474825	2	0.2901
BLTCEUR	28.15662	2	0.0000
All	29.40308	4	0.0000

Dependent variable: BLTCEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
BBTCEUR	8.657397	2	0.0132
BETHEUR	22.19636	2	0.0000
All	23.97066	4	0.0001

Allikas: autori arvutused Eviews'is



Joonis 1. Impulssreaktsioonid: BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR
 Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Koefitsientide olulisuse testimine vähimruutude meetodil

System: UNTITLED
 Estimation Method: Least Squares
 Date: 04/21/18 Time: 21:28
 Sample: 8/17/2017 16:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5433
 Total system (balanced) observations 16299

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.099212	0.020735	-4.784693	0.0000
C(2)	-0.010300	0.020745	-0.496519	0.6195
C(3)	0.013275	0.013201	1.005550	0.3146
C(4)	-0.029971	0.013186	-2.273033	0.0230
C(5)	0.007232	0.007897	0.915903	0.3597
C(6)	-0.006739	0.007903	-0.852654	0.3939
C(7)	1.15E-05	2.14E-05	0.538715	0.5901
C(8)	-0.049043	0.032943	-1.488705	0.1366
C(9)	-0.019873	0.032958	-0.602989	0.5465
C(10)	-0.116113	0.020974	-5.536125	0.0000
C(11)	-0.076900	0.020948	-3.670906	0.0002
C(12)	0.066536	0.012546	5.303549	0.0000
C(13)	0.007201	0.012557	0.573456	0.5663
C(14)	9.12E-06	3.40E-05	0.268003	0.7887
C(15)	-0.138110	0.055407	-2.492642	0.0127
C(16)	0.077616	0.055432	1.400203	0.1615
C(17)	0.158202	0.035275	4.484778	0.0000
C(18)	-0.025723	0.035233	-0.730092	0.4653
C(19)	-0.096269	0.021100	-4.562416	0.0000
C(20)	-0.091682	0.021119	-4.341239	0.0000
C(21)	5.94E-05	5.73E-05	1.037127	0.2997
Determinant residual covariance	5.87E-17			

Equation: BBTCEUR = C(1)*BBTCEUR(-1) + C(2)*BBTCEUR(-2) + C(3)*BETHEUR(-1) + C(4)*BETHEUR(-2) + C(5)*BLTCEUR(-1) + C(6)*BLTCEUR(-2) + C(7)
 Observations: 5433

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Koefitsientide olulisuse testimine vähimruutude meetodil

R-squared	0.010133	Mean dependent var	1.04E-05
Adjusted R-squared	0.009039	S.D. dependent var	0.001586
S.E. of regression	0.001579	Sum squared resid	0.013533
Durbin-Watson stat	1.999467		

Equation: $BETHEUR = C(8)*BBTCEUR(-1) + C(9)*BBTCEUR(-2) + C(10)*BETHEUR(-1) + C(11)*BETHEUR(-2) + C(12)*BLTCEUR(-1) + C(13)*BLTCEUR(-2) + C(14)$

Observations: 5433

R-squared	0.013778	Mean dependent var	1.03E-05
Adjusted R-squared	0.012687	S.D. dependent var	0.002525
S.E. of regression	0.002509	Sum squared resid	0.034158
Durbin-Watson stat	2.000564		

Equation: $BLTCEUR = C(15)*BBTCEUR(-1) + C(16)*BBTCEUR(-2) + C(17)*BETHEUR(-1) + C(18)*BETHEUR(-2) + C(19)*BLTCEUR(-1) + C(20)*BLTCEUR(-2) + C(21)$

Observations: 5433

R-squared	0.014217	Mean dependent var	5.06E-05
Adjusted R-squared	0.013127	S.D. dependent var	0.004248
S.E. of regression	0.004220	Sum squared resid	0.096625
Durbin-Watson stat	2.001317		

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Lisa 16. VAR mudel Coinbase's

Tabel 8. VAR(4) mudel BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR mõjude hindamiseks Coinbase'is

Vector Autoregression Estimates

Date: 04/21/18 Time: 13:59

Sample (adjusted): 5 5435

Included observations: 5431 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

	CBTCEUR	CETHEUR	CLTCEUR
CBTCEUR(-1)	-0.079214 (0.02109) [-3.75536]	-0.011732 (0.03285) [-0.35714]	-0.133637 (0.05464) [-2.44593]
CBTCEUR(-2)	-0.029856 (0.02114) [-1.41227]	-0.015960 (0.03292) [-0.48479]	0.054988 (0.05476) [1.00421]
CBTCEUR(-3)	-0.026468 (0.02114) [-1.25197]	-0.028662 (0.03292) [-0.87056]	-0.090576 (0.05476) [-1.65407]
CBTCEUR(-4)	0.005934 (0.02108) [0.28147]	0.066138 (0.03283) [2.01461]	0.118772 (0.05460) [2.17519]
CETHEUR(-1)	-0.019445 (0.01395) [-1.39387]	-0.126762 (0.02173) [-5.83473]	0.075319 (0.03613) [2.08439]
CETHEUR(-2)	-0.018999 (0.01409) [-1.34815]	-0.093342 (0.02195) [-4.25312]	-0.085524 (0.03650) [-2.34296]
CETHEUR(-3)	0.014504 (0.01409) [1.02956]	0.003823 (0.02194) [0.17424]	0.081518 (0.03649) [2.23406]
CETHEUR(-4)	0.009253 (0.01396) [0.66303]	-0.023340 (0.02173) [-1.07396]	-0.049029 (0.03615) [-1.35641]

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(4) mudel BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR mõjude hindamiseks

CLTCEUR(-1)	0.018036 (0.00820) [2.19838]	0.069797 (0.01278) [5.46287]	-0.012252 (0.02125) [-0.57657]
CLTCEUR(-2)	-0.008708 (0.00825) [-1.05605]	0.010730 (0.01284) [0.83556]	-0.072915 (0.02136) [-3.41375]
CLTCEUR(-3)	0.008979 (0.00824) [1.08918]	0.017342 (0.01284) [1.35079]	-0.019296 (0.02135) [-0.90366]
CLTCEUR(-4)	-0.019482 (0.00819) [-2.37782]	-0.022951 (0.01276) [-1.79877]	-0.046104 (0.02122) [-2.17247]
C	1.18E-05 (2.2E-05) [0.53697]	8.52E-06 (3.4E-05) [0.24930]	5.80E-05 (5.7E-05) [1.01997]
R-squared	0.012524	0.016658	0.013983
Adj. R-squared	0.010337	0.014480	0.011799
Sum sq. resids	0.014160	0.034342	0.095003
S.E. equation	0.001617	0.002518	0.004187
F-statistic	5.726244	7.648572	6.402629
Log likelihood	27207.42	24801.70	22038.59
Akaike AIC	-10.01452	-9.128597	-8.111063
Schwarz SC	-9.998719	-9.112799	-8.095265
Mean dependent	1.03E-05	1.01E-05	5.01E-05
S.D. dependent	0.001625	0.002536	0.004212
Determinant resid covariance (dof adj.)		5.74E-17	
Determinant resid covariance		5.70E-17	
Log likelihood		78448.59	
Akaike information criterion		-28.87482	
Schwarz criterion		-28.82743	

Allikas: autori arvutused EViews'is

Tabel 8. VAR-mudeli viitaegade hindamine infokriteeriumite järgi

VAR Lag Order Selection Criteria
 Endogenous variables: CBTCEUR CETHEUR
 CLTCEUR
 Exogenous variables: C
 Date: 04/21/18 Time: 14:08
 Sample: 1 5435
 Included observations: 5427

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	78246.36	NA	6.02e-17	-28.83485	-28.83120	-28.83358
1	78324.19	155.5455	5.87e-17	-28.86021	-28.84562	-28.85512
2	78367.02	85.54944	5.80e-17	-28.87268	-28.84715*	-28.86377*
3	78377.87	21.66076	5.79e-17	-28.87336	-28.83688	-28.86063
4	78388.79	21.77470	5.79e-17*	-28.87407*	-28.82665	-28.85752
5	78395.13	12.64741	5.80e-17	-28.87309	-28.81472	-28.85272
6	78399.54	8.784743	5.81e-17	-28.87140	-28.80209	-28.84721
7	78406.11	13.09622	5.81e-17	-28.87050	-28.79025	-28.84249
8	78414.91	17.52436*	5.81e-17	-28.87043	-28.77923	-28.83860

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(4) mudeli jääkliikmete autokorrelatsiooni LM test

VAR Residual Serial Correlation LM Tests
 Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h
 Date: 04/21/18 Time: 14:07
 Sample: 1 5435
 Included observations: 5431

Lags	LM-Stat	Prob
1	6.966381	0.6406
2	7.491647	0.5861
3	13.53899	0.1397
4	16.12105	0.0644
5	13.00972	0.1622
6	8.783024	0.4575
7	13.96541	0.1236

Probs from chi-square with 9 df.

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(4) mudeli koefitsientide statistiline olulisus erinevates viitaegades

VAR Lag Exclusion Wald Tests
 Sample: 1 5435
 Included observations: 5431

Chi-squared test statistics for lag exclusion:
 Numbers in [] are p-values

	CBTCEUR	CETHEUR	CLTCEUR	Joint
Lag 1	30.25113 [1.22e-06]	45.96999 [5.76e-10]	8.656930 [0.034218]	172.8535 [0.000000]
Lag 2	29.48495 [1.77e-06]	42.21248 [3.62e-09]	54.67882 [8.04e-12]	91.43092 [8.88e-16]
Lag 3	4.272061 [0.233546]	2.701629 [0.439951]	5.963207 [0.113414]	20.92238 [0.013000]
Lag 4	7.804252 [0.050235]	7.565448 [0.055900]	11.67566 [0.008581]	21.97502 [0.008958]
df	3	3	3	9

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 9. Granger-põhjuslikkuse hindamine VAR(4) mudelis

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Date: 04/21/18 Time: 14:09

Sample: 1 5435

Included observations: 5431

Dependent variable: CBTCEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
CETHEUR	5.322313	4	0.2558
CLTCEUR	13.64796	4	0.0085
All	19.55543	8	0.0122

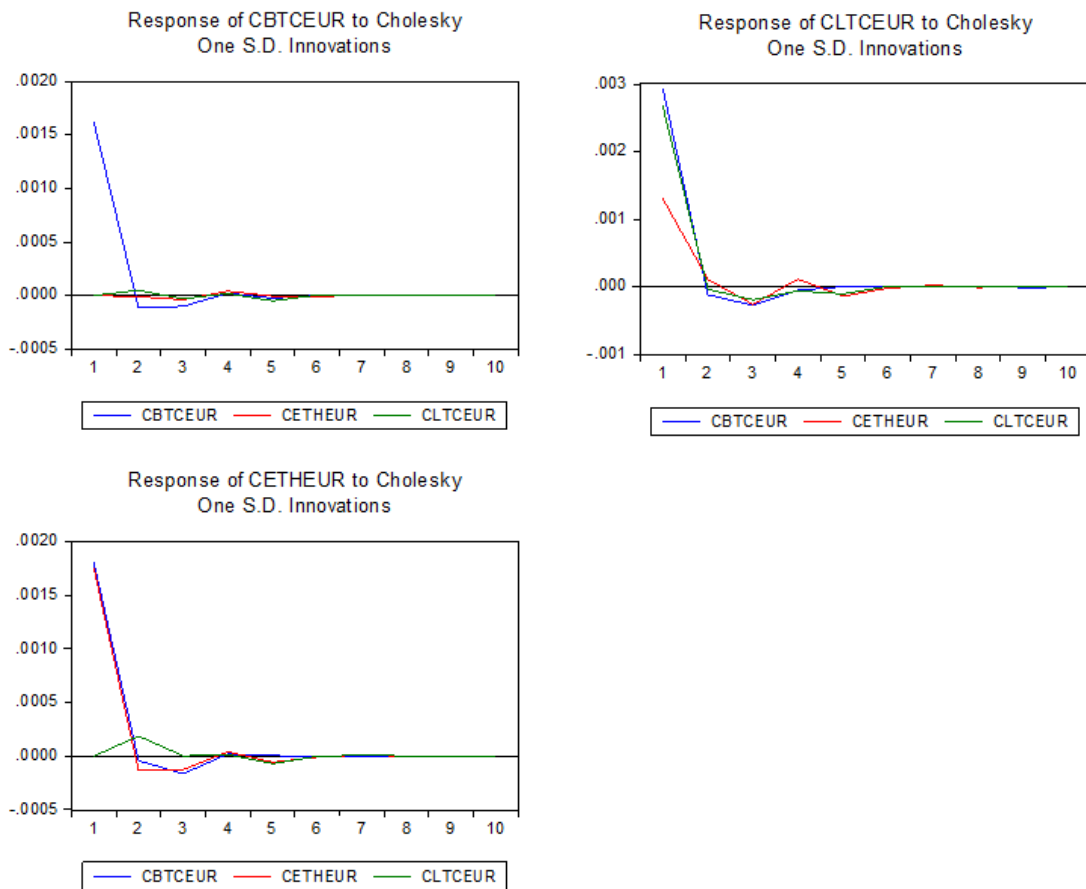
Dependent variable: CETHEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
CBTCEUR	5.368713	4	0.2515
CLTCEUR	35.49025	4	0.0000
All	40.74827	8	0.0000

Dependent variable: CLTCEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
CBTCEUR	14.98073	4	0.0047
CETHEUR	19.93204	4	0.0005
All	26.29239	8	0.0009

Allikas: autori arvutused Eviews'is



Joonis 2. Impulssreaktsioonid: BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR
 Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Koefitsientide olulisuse testimine vähimruutude meetodil

System: UNTITLED
 Estimation Method: Least Squares
 Date: 04/21/18 Time: 21:33
 Sample: 8/17/2017 18:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5431
 Total system (balanced) observations 16293

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.079214	0.021094	-3.755356	0.0002
C(2)	-0.029856	0.021140	-1.412268	0.1579
C(3)	-0.026468	0.021141	-1.251972	0.2106
C(4)	0.005934	0.021081	0.281467	0.7784
C(5)	-0.019445	0.013951	-1.393867	0.1634
C(6)	-0.018999	0.014093	-1.348151	0.1776
C(7)	0.014504	0.014087	1.029560	0.3032
C(8)	0.009253	0.013955	0.663035	0.5073
C(9)	0.018036	0.008204	2.198377	0.0279
C(10)	-0.008708	0.008246	-1.056053	0.2910
C(11)	0.008979	0.008244	1.089177	0.2761
C(12)	-0.019482	0.008193	-2.377821	0.0174
C(13)	1.18E-05	2.19E-05	0.536968	0.5913
C(14)	-0.011732	0.032849	-0.357141	0.7210
C(15)	-0.015960	0.032922	-0.484791	0.6278
C(16)	-0.028662	0.032924	-0.870563	0.3840
C(17)	0.066138	0.032829	2.014609	0.0440
C(18)	-0.126762	0.021725	-5.834731	0.0000
C(19)	-0.093342	0.021947	-4.253116	0.0000
C(20)	0.003823	0.021938	0.174238	0.8617
C(21)	-0.023340	0.021733	-1.073957	0.2829
C(22)	0.069797	0.012777	5.462872	0.0000
C(23)	0.010730	0.012842	0.835564	0.4034
C(24)	0.017342	0.012838	1.350789	0.1768
C(25)	-0.022951	0.012760	-1.798766	0.0721
C(26)	8.52E-06	3.42E-05	0.249300	0.8031
C(27)	-0.133637	0.054636	-2.445925	0.0145
C(28)	0.054988	0.054757	1.004214	0.3153
C(29)	-0.090576	0.054760	-1.654068	0.0981
C(30)	0.118772	0.054603	2.175191	0.0296
C(31)	0.075319	0.036135	2.084392	0.0371
C(32)	-0.085524	0.036503	-2.342958	0.0191
C(33)	0.081518	0.036489	2.234061	0.0255

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Koefitsientide olulisuse testimine vähimruutude meetodil

C(34)	-0.049029	0.036146	-1.356408	0.1750
C(35)	-0.012252	0.021250	-0.576575	0.5642
C(36)	-0.072915	0.021359	-3.413750	0.0006
C(37)	-0.019296	0.021353	-0.903657	0.3662
C(38)	-0.046104	0.021222	-2.172470	0.0298
C(39)	5.80E-05	5.68E-05	1.019965	0.3078

Determinant residual covariance 5.70E-17

Equation: CBTCEUR = C(1)*CBTCEUR(-1) + C(2)*CBTCEUR(-2) + C(3)
 *CBTCEUR(-3) + C(4)*CBTCEUR(-4) + C(5)*CETHEUR(-1) + C(6)
 *CETHEUR(-2) + C(7)*CETHEUR(-3) + C(8)*CETHEUR(-4) + C(9)
 *CLTCEUR(-1) + C(10)*CLTCEUR(-2) + C(11)*CLTCEUR(-3) + C(12)
 *CLTCEUR(-4) + C(13)

Observations: 5431

R-squared	0.012524	Mean dependent var	1.03E-05
Adjusted R-squared	0.010337	S.D. dependent var	0.001625
S.E. of regression	0.001617	Sum squared resid	0.014160
Durbin-Watson stat	2.000503		

Equation: CETHEUR = C(14)*CBTCEUR(-1) + C(15)*CBTCEUR(-2) + C(16)
 *CBTCEUR(-3) + C(17)*CBTCEUR(-4) + C(18)*CETHEUR(-1) + C(19)
 *CETHEUR(-2) + C(20)*CETHEUR(-3) + C(21)*CETHEUR(-4) + C(22)
 *CLTCEUR(-1) + C(23)*CLTCEUR(-2) + C(24)*CLTCEUR(-3) + C(25)
 *CLTCEUR(-4) + C(26)

Observations: 5431

R-squared	0.016658	Mean dependent var	1.01E-05
Adjusted R-squared	0.014480	S.D. dependent var	0.002536
S.E. of regression	0.002518	Sum squared resid	0.034342
Durbin-Watson stat	2.000502		

Equation: CLTCEUR = C(27)*CBTCEUR(-1) + C(28)*CBTCEUR(-2) + C(29)
 *CBTCEUR(-3) + C(30)*CBTCEUR(-4) + C(31)*CETHEUR(-1) + C(32)
 *CETHEUR(-2) + C(33)*CETHEUR(-3) + C(34)*CETHEUR(-4) + C(35)
 *CLTCEUR(-1) + C(36)*CLTCEUR(-2) + C(37)*CLTCEUR(-3) + C(38)
 *CLTCEUR(-4) + C(39)

Observations: 5431

R-squared	0.013983	Mean dependent var	5.01E-05
Adjusted R-squared	0.011799	S.D. dependent var	0.004212
S.E. of regression	0.004187	Sum squared resid	0.095003
Durbin-Watson stat	1.998351		

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Lisa 17. VAR-mudel Krakenil

Tabel 8. VAR(4) mudel BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR mõjude hindamiseks Krakenil

Vector Autoregression Estimates

Date: 04/21/18 Time: 21:04

Sample (adjusted): 8/17/2017 18:00 4/01/2018 00:00

Included observations: 5431 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

	KBTCEUR	KETHEUR	KLTCEUR
KBTCEUR(-1)	-0.045495 (0.02081) [-2.18625]	0.043202 (0.03275) [1.31924]	0.049023 (0.05617) [0.87282]
KBTCEUR(-2)	-0.014935 (0.02084) [-0.71660]	-0.007866 (0.03280) [-0.23985]	0.050811 (0.05625) [0.90328]
KBTCEUR(-3)	-0.042636 (0.02083) [-2.04681]	-0.023083 (0.03278) [-0.70420]	-0.072245 (0.05622) [-1.28501]
KBTCEUR(-4)	-0.007276 (0.02079) [-0.35006]	0.044291 (0.03271) [1.35402]	0.045742 (0.05610) [0.81532]
KETHEUR(-1)	-0.029085 (0.01393) [-2.08783]	-0.130219 (0.02192) [-5.94009]	0.085359 (0.03760) [2.27021]
KETHEUR(-2)	-0.027336 (0.01409) [-1.94047]	-0.076733 (0.02217) [-3.46132]	-0.007641 (0.03802) [-0.20097]
KETHEUR(-3)	0.016543 (0.01409) [1.17428]	-0.007103 (0.02217) [-0.32038]	0.019159 (0.03802) [0.50387]
KETHEUR(-4)	0.043069 (0.01394) [3.09009]	0.052326 (0.02193) [2.38572]	0.109233 (0.03762) [2.90371]

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(4) mudel BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR mõjude hindamiseks

KLTCEUR(-1)	0.010995 (0.00782) [1.40671]	0.040916 (0.01230) [3.32655]	-0.115555 (0.02110) [-5.47754]
KLTCEUR(-2)	-0.001771 (0.00792) [-0.22365]	0.006402 (0.01246) [0.51374]	-0.092480 (0.02137) [-4.32688]
KLTCEUR(-3)	0.007719 (0.00792) [0.97489]	0.012102 (0.01246) [0.97129]	-0.007985 (0.02137) [-0.37366]
KLTCEUR(-4)	-0.029181 (0.00781) [-3.73548]	-0.055294 (0.01229) [-4.49808]	-0.089807 (0.02108) [-4.25945]
C	1.23E-05 (2.2E-05) [0.56968]	1.09E-05 (3.4E-05) [0.32202]	6.33E-05 (5.8E-05) [1.08718]
R-squared	0.011543	0.015745	0.015887
Adj. R-squared	0.009353	0.013565	0.013707
Sum sq. resids	0.013663	0.033834	0.099530
S.E. equation	0.001588	0.002499	0.004286
F-statistic	5.272324	7.222471	7.288786
Log likelihood	27304.59	24842.19	21912.17
Akaike AIC	-10.05030	-9.143506	-8.064506
Schwarz SC	-10.03450	-9.127708	-8.048708
Mean dependent	1.06E-05	1.01E-05	5.06E-05
S.D. dependent	0.001595	0.002516	0.004316
Determinant resid covariance (dof adj.)		5.83E-17	
Determinant resid covariance		5.79E-17	
Log likelihood		78409.22	
Akaike information criterion		-28.86033	
Schwarz criterion		-28.81293	

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR-mudeli viitaegade hindamine infokriteeriumite järgi

VAR Lag Order Selection Criteria
 Endogenous variables: KBTCEUR KETHEUR
 KLTCEUR
 Exogenous variables: C
 Date: 04/21/18 Time: 21:04
 Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5427

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	78190.53	NA	6.15e-17	-28.81427	-28.81063	-28.81300
1	78287.34	193.4698	5.95e-17	-28.84663	-28.83204*	-28.84154
2	78325.77	76.76130	5.89e-17	-28.85748	-28.83194	-28.84857*
3	78334.26	16.95695	5.89e-17	-28.85729	-28.82081	-28.84456
4	78348.44	28.29623	5.88e-17*	-28.85920*	-28.81178	-28.84265
5	78354.78	12.63107	5.88e-17	-28.85822	-28.79985	-28.83785
6	78358.51	7.446581	5.89e-17	-28.85628	-28.78697	-28.83209
7	78362.24	7.423465	5.91e-17	-28.85434	-28.77408	-28.82632
8	78374.40	24.20459*	5.90e-17	-28.85550	-28.76430	-28.82367

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(4) mudeli jääkliikmete autokorrelatsiooni LM test

VAR Residual Serial Correlation LM Tests
 Null Hypothesis: no serial correlation at lag order h
 Date: 04/21/18 Time: 21:05
 Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5431

Lags	LM-Stat	Prob
1	13.39701	0.1454
2	4.489600	0.8763
3	7.446277	0.5908
4	12.70425	0.1765
5	11.73611	0.2286
6	8.128290	0.5213
7	9.122904	0.4260

Probs from chi-square with 9 df.

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. VAR(4) mudeli koefitsientide statistiline olulisus erinevates viitaegades

VAR Lag Exclusion Wald Tests

Date: 04/21/18 Time: 21:05

Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018 00:00

Included observations: 5431

Chi-squared test statistics for lag exclusion:

Numbers in [] are p-values

	KBTCEUR	KETHEUR	KLTCEUR	Joint
Lag 1	22.81387 [4.42e-05]	37.41794 [3.75e-08]	33.71631 [2.27e-07]	224.7074 [0.000000]
Lag 2	18.50689 [0.000346]	28.53520 [2.80e-06]	37.76684 [3.17e-08]	80.11504 [1.53e-13]
Lag 3	4.877592 [0.180983]	1.128542 [0.770189]	3.469292 [0.324767]	15.89825 [0.069037]
Lag 4	17.22574 [0.000635]	20.36317 [0.000143]	19.28339 [0.000239]	28.51039 [0.000783]
df	3	3	3	9

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 9. Granger-põhjuslikkuse hindamine VAR(4) mudelis

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Date: 04/21/18 Time: 21:06

Sample: 8/17/2017 14:00 4/01/2018 00:00

Included observations: 5431

Dependent variable: KBTCEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
KETHEUR	18.92910	4	0.0008
KLTCEUR	18.38707	4	0.0010
All	31.70872	8	0.0001

Dependent variable: KETHEUR

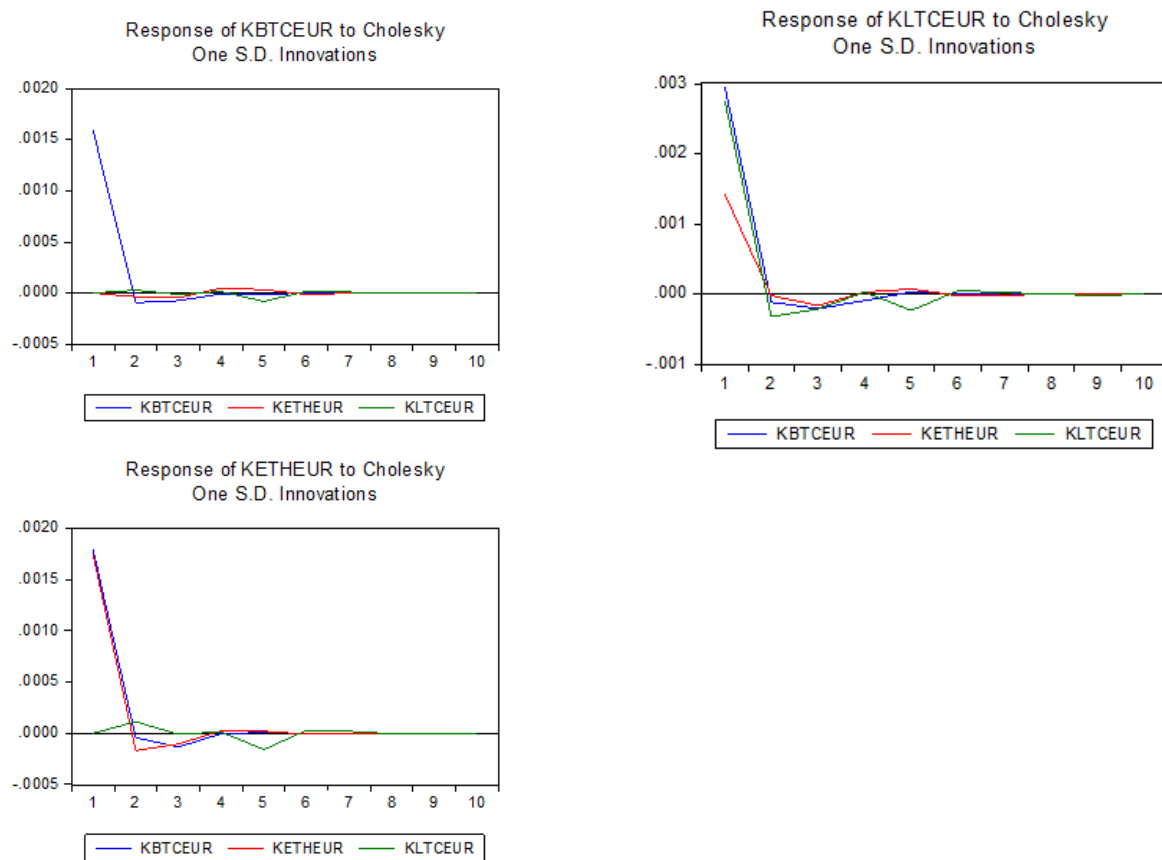
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
KBTCEUR	4.237691	4	0.3748
KLTCEUR	33.96852	4	0.0000
All	41.11768	8	0.0000

Dependent variable: KLTCEUR

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
KBTCEUR	4.073524	4	0.3961
KETHEUR	13.71769	4	0.0083
All	27.17798	8	0.0007

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Lisa 17. järg



Joonis 3. Impulsreaktsioonid: BTCEUR, ETHEUR ja LTCEUR
Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Koefitsientide olulisuse testimine vähimruutude meetodil

System: UNTITLED
 Estimation Method: Least Squares
 Date: 04/21/18 Time: 21:31
 Sample: 8/17/2017 18:00 4/01/2018 00:00
 Included observations: 5431
 Total system (balanced) observations 16293

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.045495	0.020810	-2.186248	0.0288
C(2)	-0.014935	0.020841	-0.716600	0.4736
C(3)	-0.042636	0.020830	-2.046812	0.0407
C(4)	-0.007276	0.020786	-0.350058	0.7263
C(5)	-0.029085	0.013931	-2.087828	0.0368
C(6)	-0.027336	0.014087	-1.940468	0.0523
C(7)	0.016543	0.014088	1.174275	0.2403
C(8)	0.043069	0.013938	3.090094	0.0020
C(9)	0.010995	0.007816	1.406707	0.1595
C(10)	-0.001771	0.007919	-0.223651	0.8230
C(11)	0.007719	0.007918	0.974893	0.3296
C(12)	-0.029181	0.007812	-3.735483	0.0002
C(13)	1.23E-05	2.16E-05	0.569680	0.5689
C(14)	0.043202	0.032747	1.319244	0.1871
C(15)	-0.007866	0.032797	-0.239852	0.8104
C(16)	-0.023083	0.032780	-0.704199	0.4813
C(17)	0.044291	0.032710	1.354021	0.1757
C(18)	-0.130219	0.021922	-5.940085	0.0000
C(19)	-0.076733	0.022169	-3.461321	0.0005
C(20)	-0.007103	0.022169	-0.320384	0.7487
C(21)	0.052326	0.021933	2.385719	0.0171
C(22)	0.040916	0.012300	3.326550	0.0009
C(23)	0.006402	0.012462	0.513736	0.6074
C(24)	0.012102	0.012459	0.971294	0.3314
C(25)	-0.055294	0.012293	-4.498080	0.0000
C(26)	1.09E-05	3.39E-05	0.322022	0.7474
C(27)	0.049023	0.056166	0.872815	0.3828
C(28)	0.050811	0.056252	0.903283	0.3664
C(29)	-0.072245	0.056222	-1.285006	0.1988
C(30)	0.045742	0.056103	0.815316	0.4149
C(31)	0.085359	0.037600	2.270206	0.0232
C(32)	-0.007641	0.038023	-0.200969	0.8407

Allikas: autori arvutused Eviews'is

Tabel 8. Koefitsientide olulisuse testimine vähimruutude meetodil

C(33)	0.019159	0.038023	0.503874	0.6144
C(34)	0.109233	0.037618	2.903706	0.0037
C(35)	-0.115555	0.021096	-5.477544	0.0000
C(36)	-0.092480	0.021373	-4.326878	0.0000
C(37)	-0.007985	0.021370	-0.373663	0.7087
C(38)	-0.089807	0.021084	-4.259447	0.0000
C(39)	6.33E-05	5.82E-05	1.087178	0.2770
Determinant residual covariance		5.79E-17		
Equation: KBTCEUR = C(1)*KBTCEUR(-1) + C(2)*KBTCEUR(-2) + C(3)*KBTCEUR(-3) + C(4)*KBTCEUR(-4) + C(5)*KETHEUR(-1) + C(6)*KETHEUR(-2) + C(7)*KETHEUR(-3) + C(8)*KETHEUR(-4) + C(9)*KLTCEUR(-1) + C(10)*KLTCEUR(-2) + C(11)*KLTCEUR(-3) + C(12)*KLTCEUR(-4) + C(13)				
Observations: 5431				
R-squared	0.011543	Mean dependent var	1.06E-05	
Adjusted R-squared	0.009353	S.D. dependent var	0.001595	
S.E. of regression	0.001588	Sum squared resid	0.013663	
Durbin-Watson stat	1.998486			
Equation: KETHEUR = C(14)*KBTCEUR(-1) + C(15)*KBTCEUR(-2) + C(16)*KBTCEUR(-3) + C(17)*KBTCEUR(-4) + C(18)*KETHEUR(-1) + C(19)*KETHEUR(-2) + C(20)*KETHEUR(-3) + C(21)*KETHEUR(-4) + C(22)*KLTCEUR(-1) + C(23)*KLTCEUR(-2) + C(24)*KLTCEUR(-3) + C(25)*KLTCEUR(-4) + C(26)				
Observations: 5431				
R-squared	0.015745	Mean dependent var	1.01E-05	
Adjusted R-squared	0.013565	S.D. dependent var	0.002516	
S.E. of regression	0.002499	Sum squared resid	0.033834	
Durbin-Watson stat	1.999944			
Equation: KLTCEUR = C(27)*KBTCEUR(-1) + C(28)*KBTCEUR(-2) + C(29)*KBTCEUR(-3) + C(30)*KBTCEUR(-4) + C(31)*KETHEUR(-1) + C(32)*KETHEUR(-2) + C(33)*KETHEUR(-3) + C(34)*KETHEUR(-4) + C(35)*KLTCEUR(-1) + C(36)*KLTCEUR(-2) + C(37)*KLTCEUR(-3) + C(38)*KLTCEUR(-4) + C(39)				
Observations: 5431				
R-squared	0.015887	Mean dependent var	5.06E-05	
Adjusted R-squared	0.013707	S.D. dependent var	0.004316	
S.E. of regression	0.004286	Sum squared resid	0.099530	
Durbin-Watson stat	1.998352			

Allikas: autori arvutused Eviews'is