

Ilari Karhu

**LOHKOKETJUPOHJAISTEN OMAISUUSERIEN
VALUAATIO:
METCALFEN LAKI**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2022

TIIVISTELMÄ

Karhu, Ilari

Lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuaatio: Metcalfen laki

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2022, 62 s.

Tietojärjestelmätiede, Pro-Gradu -tutkielma

Ohjaaja(t): Laatikainen, Gabriella

Tämä Pro Gradu -tutkielma tarkastelee lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuaatiota varainhoidollisesta näkökulmasta. Tutkielman empiirisessä analyysissä tarkasteltiin määrällisiä menetelmiä hyödyntäen verkostovaikutukseen perustuvan Metcalfen lain ja markkina-arvojen välistä yhteyttä ensimmäisen tason lohkoketjuverkoissa. Metcalfen laki valittiin tarkasteltavaksi valuaatiomenetelmäksi aiempien merkittävien tutkimustulosten takia, jonka vuoksi itse ilmiötä on tärkeä tarkastella uusin menetelmin ja aineistoin. Jotta tutkielman pääkysymykseen ”kuinka hyvin Metcalfen laki selittää lohkoketjupohjaisten omaisuuserien markkina-arvojen muutosta?” voitaisiin vastata, tutkielman kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan ensin akateemisen ja harmaan kirjallisuuden avulla, mitä lohkoketjuteknologia, lohkoketjupohjaiset omaisuuserät ja niihin perustuvat eri valuaatiomallit ovat. Tutkielman tulosten mukaan Metcalfen lakiin perustuvan arvon muutoksen selityksaste lohkoketjuverkon markkina-arvon muutokseen on n. 30,11–54,75 % riippuen tarkasteltavasta ensimmäisen tason lohkoketjuverkosta. Lohkoketjuverkot, joita empiirisessä analyysissä tutkittiin, olivat Bitcoin, Ethereum, Cardano ja NEO. Tulokset viittaavat siihen, että Metcalfen lakia viitekehystenä voidaan mahdollisesti hyödyntää jatkossakin lohkoketjuverkkomarkkinoihin perustuvissa jatkoanalyysissä.

Asiasanat: lohkoketjuteknologia, Metcalfen laki, kryptovaluutta, älysojimus, hajautettu rahoitus, arvonmääritys, portfolionhallinta

ABSTRACT

Karhu, Ilari

Blockchain-based asset valuation: Metcalfe's law

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2022, 62 pp.

Information Systems, Master's thesis

Supervisor(s): Laatikainen, Gabriella

This Master's thesis examines the valuation of blockchain-based assets from a financial perspective. The empirical analysis of the thesis examined the relationship between Metcalfe's law and market values in first level blockchain networks. Metcalfe's law was chosen as a valuation method because of previous significant research results. However, these findings are relatively old and therefore it is important to look more at the phenomenon itself with new methods and datasets. To answer to the main research question "how well does Metcalfe's law explain the change in the market values of blockchain-based assets?" we need first examine what is blockchain technology, blockchain-based assets, and different valuation models. These concepts are defined by using various academic and grey literature in the literature review of thesis. According to the results of the empirical analysis, the explanation rate for the change in market value based on Metcalfe's value changes is approximately 30,11-54,75% depending on the first level blockchain network under consideration. The blockchain networks studied in the analysis were Bitcoin, Ethereum, Cardano and NEO. The results suggest that Metcalfe's law will continue to be a fruitful frame of reference for further blockchain market analysis.

Keywords: blockchain technology, Metcalfe's law, cryptocurrency, smart contract, decentralized finance, valuation, portfolio management

KUVIOT

KUVIO 1 Yksinkertaistettu malli lohkoketjusta.....	11
KUVIO 2 Havainnollistava esimerkki UTXO-transaktiosta.....	13
KUVIO 3 Hajautetun rahoituksen arkkitehtuuri Ethereum-lohkoketjussa	20
KUVIO 4 Visuaalinen esimerkki solmujen yhteyksistä Metcalfen laissa.....	28
KUVIO 5 PlanB:n esittämä S2F-mallinnus.....	31
KUVIO 6 Aikasarjojen alkuperäiset arvot luonnollisena logaritmina	37
KUVIO 7 Tarkasteltavien aikasarjojen 1. differenssit.....	39
KUVIO 8 Hajontakaavio: Bitcoin	40
KUVIO 9 Hajontakaavio: Ethereum	41
KUVIO 10 Hajontakaavio: Cardano	42
KUVIO 11 Hajontakaavio: NEO	43
KUVIO 12 Regressioanalyysin lineaarinen suora: Bitcoin	45
KUVIO 13 Regressioanalyysin lineaarinen suora: Ethereum	46
KUVIO 14 Regressioanalyysin lineaarinen suora: Cardano	47
KUVIO 15 Regressioanalyysin lineaarinen suora: NEO	48

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Hyödynnettävä aineisto taulukoituna	35
TAULUKKO 2 Pearsonin korrelaatiokertoimet ja p-arvot.....	44
TAULUKKO 3 Regressioanalyysin tulokset: Bitcoin	44
TAULUKKO 4 Regressioanalyysin tulokset: Ethereum	45
TAULUKKO 5 Regressioanalyysin tulokset: Cardano	46
TAULUKKO 6 Regressioanalyysin tulokset: NEO.....	47

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	7
2	LOHKOKETJUTEKNOLOGIA	9
	2.1 Määritelmä ja toimintaperiaate.....	9
	2.2 Kryptovaluuttojen lohkoketjupohjaiset kirjanpitomallit	12
	2.3 Älysopimukset	14
3	LOHKOKETJUPOHJAISET OMAISUUSERÄT	15
	3.1 Perinteiset kryptovaluutat ja lohkoketjuverkot.....	15
	3.2 Skaalautuvuusratkaisut	17
	3.3 Hajautetun rahoituksen applikaatiot.....	19
	3.4 Tokenit.....	21
	3.4.1 Hyödyketokenit.....	21
	3.4.2 Hallinnointitokenit.....	22
	3.4.3 Arvopaperitokenit.....	22
	3.4.4 Ei-fungibelit tokenit.....	22
4	ARVONMÄÄRITYS	24
	4.1 Traditionaalisten omaisuuserien valuaatio.....	24
	4.2 Lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuaatio	25
	4.2.1 On-chain-analyysi	25
	4.2.2 Metcalfen laki ja verkostovaikutus	28
	4.2.3 Varanto-virtaus-malli	30
	4.2.4 Rahan kvantiteettiteoria	33
5	EMPIIRINEN ANALYYSI	34
	5.1 Tutkimusmenetelmä ja aineisto.....	34
	5.2 Tulokset.....	40
	5.3 Tulosten tulkinta.....	48
6	YHTEENVETO	50
	6.1 Kontribuutio ja rajoitteet.....	51
	6.2 Jatkotutkimusaiheet.....	52
	LÄHTEET	53
	LIITE 1 SELITTÄVÄN MUUTTUJAN LASKUTAPA.....	59

LIITE 2 SELITETTÄVÄN MUUTTUJAN LASKUTAPA	60
LIITE 3 REGRESSIOANALYYSIEN TULOSTEET.....	61

1 JOHDANTO

Lohkoketjuteknologia ja varsinkin lohkoketjuteknologiaan perustuvat kryptovaluutat ovat viime vuosina tulleet osaksi monen sijoittajan elämää. Monet, niin yksityiset, kuin institutionaaliset sijoittajat ovat alkaneet osoittamaan kiinnostusta eri sijoitusmahdollisuuksista kryptovaluuttamarkkinoilla. Lohkoketjumarckkinoiden yleistyessä, huolenaiheeksi nousee usein ko. markkinoiden ja omaisuuserien mekaniikka ja järkevyyt. Jotta sijoitusportfolionhallinta ei perustuisi pelkästään spekulatioon, tulisi tarkasteltavia omaisuuseriä voida tarkastella objektiivisesti ja rationaalisesti. Usein rationaalinen sijoitusnäkemyt ja -päättö perustuu sijoituskohteen fundamentaalisten ominaisuuksien tarkempaan analysointiin. Traditionaalisia omaisuuseriä, kuten esimerkiksi osakkeita on mahdollista analysoida tulevaisuuden kassavirtaan perustuvien laskelmien ja yritysten tilinpäätöstietojen avulla (Damodaran, 2006). Toisin taas, jos tarkastelemme lohkoketjupohjaisia omaisuuseriä, todellisen arvon määrittäminen on hankalaa. Hankaluus juontuu kryptovaluuttojen ja lohkoketjupohjaisten omaisuuserien ominaisuuksista: ne eivät perustu esimerkiksi mihinkään kiinteään omaisuuteen, yrityksen tulokseen tai esimerkiksi valtioiden talouteen. (Corbet, ym., 2019)

Lohkoketjupohjaisten omaisuuserien todellisen arvon tarkastelun ollessa vaikeaa, tutkielman kirjallisuuskatsauksen ensisijainen tarkoitus on etsiä ja koostaa akateemisesta ja harmaasta kirjallisuudesta erilaisia menetelmiä, joita voisi mahdollisesti hyödyntää lohkoketjupohjaisten omaisuuserien arvonmäärittämisessä. Kirjallisuusosion jälkeen tutkielman empiirisessä analyysissä pyritään tutkimaan kuinka hyvin verkostovaikutusta kuvaava Metcalfen laki sopii lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuaation tarkasteluun. Metcalfen laki valikoitui tarkasteltavaksi lähestymistavaksi aiempien merkittävien tutkimustuloksien kautta. Tutkielman laajuuden rajaamiseksi on myös järkevää keskittyä ainoastaan yhteen valittuun lähestymistapaan.

Tutkielman empiirinen analyysi on toteutettu kvantitatiivisia menetelmiä hyödyntäen. Empiirisessä analyysissä hyödynnetään mm. korrelaatio- ja lineaarista regressioanalyysia kartoittamaan Metcalfen arvon muutoksen ja lohkoketjuverkkojen markkina-arvojen muutosten välistä yhteyttä. Tutkielmassa

pyritään vastaamaan yhteen päätutkimuskysymykseen sekä yhteen tukikysymykseen:

1. Kuinka hyvin Metcalfen laki selittää lohkoketjupohjaisten omaisuuserien markkina-arvojen muutosta?
 - a. Mitä ovat lohkoketjupohjaiset omaisuuserät ja kuinka näitä voidaan tarkastella valuaation näkökulmasta?

Päätutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan analysoimalla Metcalfen lain yhteyttä eri lohkoketjuverkkojen markkina-arvojen muodostumisessa. Jotta päätutkimuskysymykseen voitaisiin vastata, tulee ensimmäisenä vastata tutkielman tukikysymykseen; mitä lohkoketjupohjaiset omaisuuserät ovat ja kuinka tällaisille omaisuuserille voidaan mahdollisesti määrittää arvoa. Tutkielman kirjallisuuskatsaus määrittelee edellä mainitut käsitteet sekä esittää empiirisessä analyysissä tarkasteltavan Metcalfen lain osana muita valuaatiomenetelmiä.

Tutkielmassa hyödynnetty kirjallisuus on etsitty eri kirjallisuustietokantoja hyödyntäen. Esimerkiksi Google Scholar -tietokantaa on hyödynnetty akateemisen kirjallisuuden kartoittamisessa. Tämän lisäksi kirjallisuuskatsausta on täydennetty ns. harmaalla kirjallisuudella, joka sisältää aihealueeseen liittyvää käytännön materiaalia ja aineistoa.

Ensimmäisenä tutkielmassa tarkastellaan yleisellä tasolla lohkoketjuteknologiaa, sen historiaa, ominaisuuksia ja toimintaperiaatetta. Tämän jälkeen kirjallisuuskatsauksessa tutustutaan erilaisiin lohkoketjupohjaisiin omaisuuseriin ja valuaatiomenetelmiin. Lopulta tutkielman pääkysymykseen vastataan tutkielman empiirisessä analyysissä.

2 LOHKOKETJUTEKNOLOGIA

Tutkielman ensimmäisessä luvussa käsitellään lohkoketjuteknologian määritelmää, siihen liittyviä käsitteitä sekä itse lohkoketjun toimintaperiaatetta. Osiossa tullaan esittämään yksinkertaiset ja havainnollistavat esimerkit lohkoketjusta ja itse lohkojen sisällöstä. Toisessa alaluvussa käydään läpi kahta eri lohkoketjukirjaustapaa sekä niiden käytännön eroa. Lopulta luku päättyy tarkastelemaan lohkoketjuteknologiaan perustuvia älysovimuksia.

2.1 Määritelmä ja toimintaperiaate

Lohkoketjuteknologia konseptina tuli ensimmäisen kerran julkisuuteen Satoshi Nakamoto -nimimerkin julkaisemassa teknisessä paperissa vuonna 2008. Satoshi Nakamoto esitti kyseisessä dokumentissa Bitcoin-lohkoketjuverkon toimintatavan. Lohkoketjuteknologiaa hyödynnettiin kuitenkin ensimmäisen kerran vasta käytännössä vuonna 2009 Bitcoin-järjestelmän käyttöönotossa. Yleisesti ottaen, lohkoketjuteknologiaa voisi kuvailla yksinkertaisesti julkiseksi ja avoimeksi tili-kirjaksi, jossa kaikki tapahtuneet transaktiot ovat kirjattu lohkoihin ketjun tavoin. Lohkoketjuteknologian pääpiirteisiin kuuluu kyseisen ketjun hajautettu luonne sekä kryptografian hyödyntäminen transaktioiden luotettavuuden turvaamiseksi. (Zheng, ym., 2018, Mingxio, ym., 2017; Nakamoto, 2008)

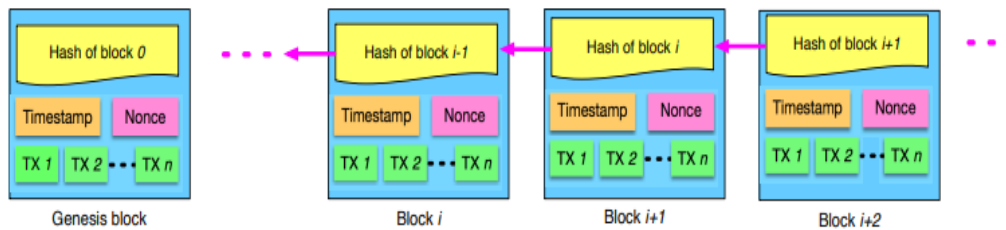
Normaalisti keskitetyssä transaktiojärjestelmissä jokainen transaktio hyväksytään kolmannen luotettavan osapuolen kautta. Tällainen kolmas osapuoli voi esimerkiksi olla liikepankki, joka toimii osapuolten välillä tarkoituksena toimeenpanna transaktiot. Hajautetussa transaktiojärjestelmässä näin kuitenkin ei ole, vaan jokainen toimija tekee transaktioita yksin epäluotettavassa ympäristössä. Lohkoketjutransaktioissa yksimielisyyden ja todenmukaisuuden saavuttamista epäluotettavien toimijoiden keskuudessa voidaan verrata Bysantin kenraalien ongelmaan. Bysantin kenraalin ongelmassa kuvataan tilannetta, jossa moni-kenraalinen Bysanttien armeija piirittää viholliskaupunkia. Bysanttien hyökkäys epäonnistuu, jos vain osa kenraaleista hyökkää kaupunkiin samaan aikaan.

Täten kenraalien on päästävä kommunikaation avulla jotenkin yhteisymmärrykseen, milloin hyökätä. Kommunikaatio ei kuitenkaan ole yksinkertaista: kenraalien joukossa voi olla pettureita, jotka voivat lähettää vääriä signaaleita hyökkäyksestä muille kenraaleille. Ongelmaksi siis nousee kuinka on mahdollista päästä yhteisymmärrykseen epäluotettavassa ympäristössä, epäluotettavien toimijoiden keskuudessa. Lohkoketjuteknologiassa tämä ongelma ratkaistaan erilaisia protokollia hyödyntäen. Näitä protokollia kutsutaan konsensusalgoritmeiksi. Konsensusalgoritmien avulla lohkaketjuverkossa yksittäisen toimijan ei tarvitse luottaa toiseen osapuoleen, eikä luotettavaa kolmatta osapuolta tarvita todenmukaisten ja luotettavien transaktioiden tekemiseen. Konsensusalgoritmien hyödyntäminen ratkaisee myös toisen luottamukseen liittyvän ongelman; kuinka voidaan estää transaktiojärjestelmässä varojen kaksinkertainen kulutus ilman ylimääräistä varmentavaa osapuolta. (Zheng, ym. 2018; Mingxio, ym. 2017; Nakamoto, 2008)

Konsensusalgoritmilla tarkoitetaan lohkaketjuverkon protokollaa, jolla tarkastetaan transaktioiden oikeanmukaisuus hyödyntämällä hajautetun verkon solmuja (Mingxiao, ym., 2017). Solmuilla tarkoitetaan laskentatehoa tarjoavia toimijoita, jotka ovat liitettynä lohkaketjuverkkoon (Nakamoto, 2008). Tällainen toimija voi olla esimerkiksi tietokone. Konsensusprotokollan tarkoituksena on luoda yhteisymmärrys lohkaketjuverkon säännöistä solmujen välille ennen kuin uusia lohkoja kirjataan järjestelmään. Yhteisymmärryksen saavuttamiseksi erilaisilla lohkaketjuilla on oman verkon ominaisuuksien mukainen algoritmi. Tällaisia algoritmeja ovat esimerkiksi työn todiste (*engl. Proof-of-Work*) sekä todiste varannosta (*engl. Proof-of-Stake*). (Mingxiao, ym., 2017; Nakamoto, 2008) On myös olemassa muitakin konsensusalgoritmeja, mutta yllä olevat ovat yleisimmät, joita hyödynnetään eri lohkaketjuissa.

Todiste työstä -algoritmi on alkuperäinen, Bitcoin-järjestelmästä tuttu konsensusmenetelmä. Algoritmin pääideana on insentivoida verkon solmut ylläpitämään verkon kirjanpitoa, turvallisuutta ja sen oikeanmukaisuutta. Solmut hyödyntävät omaa laskentatehoaan, joiden avulla ne yrittävät ratkaista kryptografiaan perustuvia matemaattisia ongelmia. Ensimmäinen solmu, joka onnistuu ratkaisemaan tämän matemaattisen ongelman, palkitaan uuden lohkon syntymisellä ja tätä kautta Bitcoin-kryptovaluuttaan perustuvalla lohkopalkkiolla. (Mingxiao, ym. 2017) Bitcoin-järjestelmässä matemaattisen ongelman haastavuus on verrannollinen koko verkon laskentatehoon; mitä enemmän verkossa on laskentatehoa sitä haastavampaa on louhia uusia lohkoja. Vaihe vaiheelta itse louhinta Bitcoin-järjestelmässä tapahtuu yksinkertaistettuna näin: ensimmäiseksi louhinta-algoritmi määrittää louhintavaikeuden, jonka jälkeen yksittäinen solmu kerää kaikki odottavat transaktiot verkosta viimeisemmäksi julkaistun lohkon jälkeen ja laskee Merkle-puu-tiivisteen kaikista näistä odottavista transaktioista. Tämän jälkeen solmu hakee ja täyttää uuteen lohkoon versionumeron, edellisen lohkon 256-bittisen tiivisteen, nykyisen tiivisteen kohdearvon sekä satunnaisen kertakäyttöisen arvon (*engl. nonce*). Nämä tiedot rakentavat mm. lohkon ylätunnisteen. Ylätunnisteen tietojen avulla, kuten edellisten lohkojen tiivisteiden avulla voidaan nykyinen lohkaketju linkittää jopa ensimmäiseen

lohkoketjuverkon lohkoon saakka. Tällaista lohkoketjuverkon ensimmäistä lohkoa kutsutaan Genesis-lohkoksi. Transaktiotietojen keräämisen jälkeen louhijasoilu alkaa etsimään protokollan SHA256:een perustuvaa tiivistearvoa, ja jos louhijasoilu onnistuu löytämään tiivisteiden tavoitearvon tietyn ajan kuluessa, louhijasoilu saa oikeuden uuden lohkon kirjanpitoon. Uuden lohkon kirjaus kuitenkin vaatii aina verkon muiden solmujen hyväksyntää uudesta louhintaloksesta. Kirjanpidollinen sykli alkaa heti alusta, kun joku verkon solmuista on saanut kirjattua uuden lohkon ketjuun. (Mingxiao, 2017; Nakamoto, 2008) Täydellinen lohko sisältää siis lohkon ylätiivisteiden sekä lohkon runko-osan. Kuten yllä jo todettu, ylätiiviste sisältää mm. lohkon metadatan. Lohkon runko-osa taas sisältää transaktiolaskurin ja transaktiot. Lohkon sisältämien tapahtumien lukumäärä riippuu lohkoketjuverkossa määritellyn lohkokoon ja transaktioiden koon mukaan. (Zheng, ym., 2018) Kuviossa 1 on kuvattu yksinkertaistettu esimerkki lohkoketjun konseptista.



KUVIO 1 Yksinkertaistettu malli lohkoketjusta (Zheng, ym., 2018)

Kun tarkastelemme louhintaprosessia vielä tarkemmin, lohkoja syntyy tietyn väliajoin lohkoketjuun ennalta määrättyjen ominaisuuksien mukaisesti. Esimerkiksi Bitcoin-järjestelmässä lohkoja syntyy keskimäärin kerran kymmenessä minuutissa. (Nakamoto, 2008) Lohkojen syntyminen on myös suoraan yhteydessä uusien Bitcoinien luomiseen lohkopalkkioiden muodossa. Bitcoinien liikkeeseenlasku tapahtuu jokaisen lohkon kirjaamisen yhteydessä. Ensimmäinen lohkopalkkio louhintatapahtumasta vuonna 2009 oli 50 Bitcoinia per louhittu lohko. Tätä liikkeellelaskua on kuitenkin rajoitettu algoritmisesti – uusien Bitcoinien luonti vähenee geometrisesti jokaisen 210 000 louhitun lohkon yhteydessä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että joka neljäs vuosi Bitcoinin tuotanto puolittuu algoritmin mukaisesti siihen asti, kun lukumäärä (21 miljoonaa) Bitcoinia on louhittu. (Meynkhart, 2019) Louhinnan puoliintumiseen perustuva Bitcoinin luomisprosessi voitaisiin esittää matemaattisesti muodossa:

$$\sum_{n=0}^{32} 210,000 * \frac{50}{2^n}$$

jossa

n = tarkasteltavan puoliintumistapahtuman järjestysluku

Todiste työstä -algoritmi on protokollalle turvallinen konsensusmenetelmä, sillä verkon turvallisuus on täysin verrannollinen verkon laskentatehoon. Mikäli lohkoketjua haluaa muokata vilpillisessä mielessä, siihen vaaditaan yli 50 % verkon omasta laskentatehosta. Toisaalta kun verkon turvallisuus riippuu täysin laskentatehosta, verkon turvallisuus on suoraan verrannollinen käytettävän energian määrään. Todiste työstä -algoritmin energiankulutusta monesti pyritäänkin kritisoimaan.

Todiste varannosta -algoritmi ei taas perustu todiste työstä -algoritmin tavoin laskentatehoon. Todiste varannosta -algoritmi vaatii solmuilta todistusta lohkoketjuun lukitusta varoista, kuten lohkoketjuun liitetystä kryptovaluutasta. (Zheng, ym., 2018) Algoritmin implementaatiosta riippuen konseptissa voidaan hyödyntää esimerkiksi lohkoketjuun lukittuja varoja ja niiden ikää (*engl. coin age*). Kryptovaluutan ikä on kryptovaluutan arvo kerrottuna ajanjaksolla sen luomisen jälkeen. Kryptovaluutan ikään perustuvassa implementaatiossa, mitä enemmän ja kauemmin yksittäinen solmu pitää varojaan verkossa, sitä enemmän oikeuksia se saa verkkoon hallinnollisesta näkökulmasta. Toinen mahdollinen todiste varannosta -implementaatio on lohkon validaattorin randomisointi. Randomisoinnissa lohkojen validaattori valitaan satunnaisesti alimman laskentatehon ja suurimman lukitun varannon perusteella. Usein tällaisissa algoritmeissa laskentatehoa rajoitetaan määrittämällä validoinnin vaikeus kääntäen verrannolliseksi hallitun kryptovaluutan määrään ja ikään. Todiste varannosta -algoritmissa kryptovaluutan haltijat saavat verkon turvaamisesta palkkioita esimerkiksi hallitun kryptovaluutan arvon ja iän mukaan. Tämän lisäksi, jos validaattori ei tuota lohkoketjulle oikeanmukaista kirjanpitoa, validaattori menettää omat verkkoon lukitut varat. Tällainen kannustin- ja riskimalli mahdollistaa energiankulutuksen puolesta vaihtoehdon todiste työstä -algoritmille. (Mingxiao, ym., 2017; Binance Academy, 2022)

Vaikka todiste varannosta -algoritmi olisi energiankulutukseltaan kevyempi ratkaisu verrattuna todiste työstä -algoritmiin, se ei välttämättä ole verkon turvallisuuden ja fundamentaalisten ominaisuuden kannalta parempi vaihtoehto. Todiste varannosta -algoritmi voi mahdollisesti rajoittaa verkon hajautuneisuutta sekä se voi mahdollisesti helpottaa verkkoon kohdistuvia varallisuuden perustuvia manipulaatioita.

2.2 Kryptovaluuttojen lohkoketjupohjaiset kirjanpitomallit

Kryptovaluuttojen kirjanpitomallit ovat yksi olennainen osa kryptovaluuttojen luonteen ja ominaisuuksien arviointia, ja tämän takia niiden läpikäyminen on olennaista tutkielman seuraavia lukuja varten. Kryptovaluutat ovat usein jaettu kahteen eri kategoriaan sen mukaan, mitä kirjanpitomallia ne hyödyntävät lohkoketjuverkossa. Suurin osa kryptovaluutoista noudattaa joko käyttämättömien transaktioiden ulostuloon (*engl. unspent transaction output model*, myöhemmin lyhennelmänä UTXO) tai tilikohtaisuuteen (*engl. account based model*) perustuvaa mallia. (Zahmentferner, 2018)

UTXO-malli esitettiin ensimmäisen kerran Bitcoin-kryptovaluutan yhteydessä. Tähän malliin perustuvassa transaktiossa, jokainen tapahtuma perustuu aikaisempien tapahtumien tuloksiin. Tällaisia aiempien tapahtumien tuloksia kutsutaan käyttämättömiksi transaktioiden ulostuloiksi. Yksinkertaistettuna jokainen transaktio kuluttaa aikaisempien transaktioiden ulostuloja tuottaakseen uusia, käyttämättömiä ulostuloja. Konseptin ymmärtämiseksi UTXO-transaktioita voitaisiin ajatella käteistransaktioiden kautta, kuten esimerkiksi eurotransaktioiden. Eurot jakautuvat nimellisarvoisesti eri seteleihin ja kolikoihin. Euromääräisessä kaupassa kolikot ja setelit pysyvät sellaisinaan, kun ne vaihtavat omistajaa. UTXO:n kirjanpidollisessa tapauksessa vaihtoprosessi on taas seuraavanlainen: vaihtoprosessissa vaihdettava kryptovaluutta tuhoetaan (käytettynä sisääntulona), jonka jälkeen prosessissa luodaan ulos uusi arvoltaan yhtäläinen kryptovaluutta (käyttämättömänä ulostulona). Jos taas eurotransaktiossa ostaja maksaa esineestä sellaisella setelillä, jonka arvo on enemmän kuin esine, myyjä palauttaa ylijäämän takaisin vaihtorahana, kuten esim. kolikoina. UTXO:n tapauksessa ostajalle taas luodaan vaihtorahan arvoinen kryptovaluutta (käyttämättömänä ulostulona), jonka hän lähettää takaisin itselleen samassa transaktiossa, jossa maksu suoritetaan. (Zahmentferner, 2018)

Kuviossa 2 on esitetty yksinkertaistettuna UTXO-transaktio ilman transaktiokuluja. Kuviossa 2 henkilö A lähettää 0.25 Bitcoinia henkilölle B. Alkutilanteessa henkilö A omistaa 0.5 Bitcoinia käyttämättömänä ulostulona, jotka menevät transaktioprosessiin käytettynä sisääntulona. Transaktioprosessista tulee ulos kaksi uutta käyttämättöntä ulostuloa: vaihtorahana 0.25 Bitcoinia takaisin henkilölle A ja 0.25 Bitcoinia henkilölle B.



KUVIO 2 Havainnollistava esimerkki UTXO-transaktiosta

Toisin kuin Bitcoin, esimerkiksi Ethereum-lohkoketjuverkko ja kaikki Ethereumiin pohjautuvat ERC-20 standardia hyödyntävät kryptovaluutat käyttävät tilikohtaista kirjanpitoa. Tilikohtaisessa kirjanpidossa lohkoketjuosoitetta tarkastellaan nimensä mukaisesti tileinä, joiden transaktioissa siirretään arvoa tililtä toiselle. (Zahmentferner, 2018) Tilikohtaiset mallit ovat konseptina yksinkertaisempia kuin UTXO-mallit. Kuten traditionaaliset pankkitilit, ne edustavat käyttäjiensä saldoa yhdellä tilillä. Tilikohtaisuus mahdollistaa myös saldojen osittaisen käyttämisen. Esimerkkinä Ethereum-lohkoketjun transaktiosta voisi olla tämänlainen: henkilöllä A on tilillään 7 ETH ja hän päättää lähettää 2,5 ETH henkilölle B. Toisin kuin UTXO-mallissa, henkilö A lähettää suoraan henkilölle B 2,5, jonka

jälkeen henkilön A saldo on 4,5 ETH ja henkilön B 2,5 ETH. (Glassnode Academy, 2021a) Kirjanpitomallit itsessään ovat merkittävässä asiassa lohkoketjuverkkojen tarkempaa tarkastelua, sillä lohkoketjuverkon transaktioiden ja lohkoketjudatan analysointi on riippuvainen lohkoketjun omasta kirjanpitomallista.

2.3 Älysopimukset

Lohkoketjuteknologia mahdollistaa myös konseptin älykkäistä sopimuksista. Yksinkertaisesti selitettynä älysopimus on tietokoneohjelma, joka voidaan koodata noudattamaan mitä tahansa lohkoketjun konsensusprotokollaan sopivaa sääntöä. Esimerkiksi älysopimus voidaan koodata suorittamaan tiettyjä transaktioita tiettyjen tapahtumien ehdoilla. (Luu, ym., 2016) Älysopimusten avulla transaktioista voidaan siis tehdä käytännössä entistä monimutkaisempia ja spesifimpiä lisäämällä transaktioihin sopimuksentapaisia piirteitä. Älysopimusten avulla lohkoketjuteknologian pariin voidaan rakentaa mm. erilaisia kompleksisia rahoitusinstrumentteja ja esimerkiksi erilaisia itsenäisiä hajautettuja sovelluksia. (Luu, ym., 2016)

Noferin, ym. (2017) mukaan konsepti älykkäistä sopimuksista perustuu ensisijaisesti Szabon (1997) julkaisemaan paperiin, jossa hän kuvailee älysopimusta teknisenä kombinaationa, joka hyödyntää tietokoneprotokollia ja erilaisia käyttöliittymiä sopimusehtojen toteuttamiseen. Schärin (2021) mukaan lohkoketju-pohjainen, hajautettu älysopimuskonsepti perustuu Buterinin (2013) esittämään visioon. Schärin (2021) mukaan Buterin (2013) ehdotti paperissaan hajautettua älykkäiden sopimusten alustaa, Ethereum-lohkoketjuverkkoa, ratkaisemaan mm. sopimusten toteutusympäristöön liittyvät luottamusongelmat. Tämän lisäksi Buterinin (2013) ehdottama alusta mahdollistaa sopimusten välisen vuorovaikutuksen ja mahdollisuuden uusien sopimusten rakentamisen aiempien sopimusten päälle. Schärin (2021) mukaan Wood (2015) formalisoi Buterinin konseptia eteenpäin, jonka avulla loppujen lopuksi implementoitiin Ethereum-lohkoketju. Tällä hetkellä Ethereum-lohkoketju onkin suurin älysopimusalue, kun tarkastellaan markkina-arvoa, toiminnassa olevia applikaatiota ja aktiivista kehitystä. (Schär, 2021)

Itse älysopimuksen toimintatapa on konseptina yksinkertainen: aluksi älysopimus ja sen lohkoketjuun nojautuva koodi identifioidaan 160-bittisellä osoitteella. Tätä älysopimuksen koodia voidaan kutsua lähettämällä kryptovaluutatransaktio tähän edellä mainittuun sopimusosoitteeseen, jonka jälkeen sopimus toteutetaan. Toisin sanoen, jos lohkoketjuverkkoon syntyy uusi transaktio, jossa vastaanottajana on sopimusosoite, lohkoketjuverkko toteuttaa sopimuskoodin lohkoketjuverkon nykyisen tilan mukaan. Tämän jälkeen verkko hyväksyy sopimuksen tuloksesta ja verkon seuraavasta tilasta lohkoketjun konsensusprotokollaa hyödyntäen. (Luu, ym., 2016)

3 LOHKOKETJUPOHJAISET OMAISUUSERÄT

Tässä luvussa paneudutaan hieman tarkemmin erilaisiin lohkoketjupohjaisiin omaisuuseriin ja niiden eri ominaisuuksiin. Tutkielmassa lohkoketjupohjaiset omaisuuserät jaotellaan kolmeen eri kategoriaan : perinteiset kryptovaluutat & lohkoketjuverkot, hajautetun rahoituksen applikaatiot sekä tokenit.

3.1 Perinteiset kryptovaluutat ja lohkoketjuverkot

Kuten jo tutkielman alussa todettiin, kryptovaluutat ovat lohkoketjuteknologiaan perustuvia digitaalisia valuuttoja. Toisin kuin keskitetysti liikkeeseen lasketut valuutat, lohkoketjuteknologia mahdollistaa kryptovaluuttojen hajautettavuuden. Lohkoketjuteknologian mahdollistama hajautettavuus ratkaisee digitaalisessa ympäristössä esiintyviä ongelmia, kuten esimerkiksi resurssien ja varojen kaksinkertaiseen kulutukseen sekä epäluotettavaan ympäristöön liittyviä ongelmia. Hajautettavuus mahdollistaa myös tilannekohtaisesti transaktioille esimerkiksi paremman turvallisuuden ja nopeamman lopullisen selvityksen. (Chuen, 2018)

Kun tarkastelemme lohkoketjuverkkoja ja kryptovaluuttoja, usein ensimmäisenä esille nousee Bitcoin-lohkoketjuverkko ja -kryptovaluutta. Tarkasteltaessa Bitcoinin käyttötarkoitusta, usein Bitcoiniin liitetään sen ominaisuudet vaihdon välineenä ja arvonsiirtoverkkona. Bitcoinia voidaan hyödyntää esimerkiksi palveluiden ja esineiden maksamiseen, arvon lopulliseen siirtämiseen ja taloudellisen arvon kanavoimiseen hajautettuun, digitaaliseen muotoon.

Yksinkertaistettuna Bitcoin-transaktioon vaaditaan Bitcoin-lohkoketjuosoite, tai siihen osoitteeseen perustuva lompakkosovellus. Tällaisella lompakolla on tyypillisesti oma yksityinen avain, jota käytetään transaktioiden allekirjoittamiseen. Tämä digitaalinen allekirjoitus mahdollistaa matemaattisen todisteen siitä, että transaktio on peräisin itse lompakon omistajalta. Itse Bitcoin-lohkoketjuverkoissa tapahtuvat transaktiot eivät ole salattuja tai anonyymejä, vaan niitä voidaan tarkastella lohkoketjussa transaktioita tai lompakkoa vastaavilla

julkisilla osoitteilla. Julkiset osoitteet ovat nimensä mukaisesti julkisia, mutta kuitenkin lähettäjän tai vastaanottajan henkilöllisyyttä ei ole linkitetty itse julkiseen osoitteeseen. (Chuen, ym. 2017)

Bitcoinin keksimisen ja implementoinnin jälkeen markkinoille on syntynyt valtava määrä erilaisia alternatiivisia kryptovaluuttoja ja niiden taustalla olevia lohkoketjuverkkoja. Nämä vaihtoehtoiset kryptovaluutat ovat Bitcoinin tavoin kryptografiaan perustuvia lohkoketjupohjaisia valuuttoja, mutta usein ne eroavat Bitcoinista algoritmillisesti. Tämän lisäksi moni näistä kryptovaluutoista on kehitetty erilaisiin tarkoituksiin, mahdollisine käyttötapauksineen. Lohkoketju-tekniologiaa voidaan hyödyntää muun muassa finanssialan eri tarkoituksiin (finanssipalveluihin, riskienhallintaan jne.), IoT-palveluihin (esim. turvallisuuteen ja yksityisyyteen), julkisiin sekä sosiaalisiin palveluihin ja oikeuksiin (esim. maalueiden rekisteröintiin, sananvapauden edistämiseen, energian säästämiseen) ja esimerkiksi mainejärjestelmien ylläpitoon (esim. opintosuoritteet ja muut todistukset). (Zheng, ym., 2018; Chuen, ym., 2017) Lähes kaikki käyttötapaukset, joissa on ensisijainen tarve hyödyntää täydellistä luotettavuutta epäluotettavassa ympäristössä, on mahdollista toteuttaa lohkoketjuekosysteemissä.

Kuten yllä jo todettiin, käyttötapauksia ja kryptovaluuttoja löytyy maailmasta lukuisia. Esimerkiksi tämän tutkielman kirjoittamisen aikaan, CoinMarketCapin mukaan maailmassa on listattuja kryptovaluuttoja jopa 15389 kappaletta. Markkina-arvoltaan Bitcoin on näistä suurin, jonka jälkeen toisena on Ethereum-lohkoketjuverkko. (CoinMarketCap, 2021a) Ethereum-lohkoketju on hajautettu, Turing-täydellinen virtuaalinen kone, joka mahdollistaa lohkoketjupohjaisen älysovimusfunktionaalisuuden. Ethereum-lohkoketjuun on sidottu natiivikryptovaluutta Ether (ETH), jota hyödynnetään mm. Ethereum-ekosysteemissä kaasumaksuihin (*engl. gas*). Kaasumaksuja käytetään Ethereum-ekosysteemissä transaktioiden (kuten älysovimusfunktioiden) prosessoimiseen. (Vujičić, ym. 2018)

Yksi lohkoketjuverkkoja ja niiden natiivikryptovaluuttoja usein piinaavista ongelmista on niiden heikko skaalautuvuus ja transaktioihin liittyvät käytännön ongelmat. Lohkoketjujen skaalautuvuutta voidaan mitata usein esimerkiksi verkon suoritusteholla, latenssilla ja transaktiokustannuksilla. Esimerkiksi Bitcoin-verkkoa on kritisoitu sen transaktioiden hitauden vuoksi. Bitcoin-verkon transaktionopeus on rajattu protokollalle ominaisten ominaisuuksien vuoksi. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi lohkojen koko ja louhintanopeus. Näiden ominaisuuksien pohjalta on arvioitu Bitcoin-lohkoketjuverkon transaktioiden selvitysnopeuden olevan maksimissaan noin 7 transaktiota sekunnissa. Bitcoinille ja muille skaalautuvuusongelmista kärsiville lohkoketjuille on kuitenkin kehitetty erilaisia toimivia ratkaisuja. (Zhou, ym., 2020)

Skaalautuvuusratkaisujen takia eri lohkoketjuverkkojen ja niihin liitettyjen natiivikryptovaluuttojen tarkastelu omaisuuseränä monimutkaistuu. Usein skaalautuvuus natiivilohkoketjuissa on pyritty ratkaisemaan esimerkiksi ensimmäisen ja toisen tason ratkaisujen avulla (Zhou, ym., 2020). Mielenkiintoista kuitenkin näissä ratkaisuissa on se, että esimerkiksi osa toisen tason skaalautumisratkaisuista tarjoaa erilliset, joko välillisesti tai välittömästi

natiivikryptovaluuttaan sidoksissa olevat omaisuuserät eri kryptovaluuttojen muodossa. Joten, jos siis tarkastelemme esimerkiksi Bitcoin- tai Ethereum-lohkoketjuverkkoja ja kryptovaluuttoja omaisuuserinä, tulee niitä tarkastella myöskin skaalautumISRatkaisujen kautta yhtenäisenä kokonaisuutena. Mielestäni on väärää väittää, että omaisuuseränä skaalautumISRatkaisut luovat niin välillisesti ja suoranaisesti arvoa verkon ekosysteemille ja toisinpäin esimerkiksi käytettävyyden ja käyttäjäkunnan kautta.

3.2 Skaalautuvuusratkaisut

Lohkoketjuverkkojen skaalautuvuusongelmien ratkaisemista voidaan tarkastella kahdesta eri näkökulmasta. Nämä kaksi lähestymistapaa ovat ensimmäisen tason (*engl. layer 1*) sekä toisen tason (*engl. layer 2*) ratkaisut. Ensimmäisen tason ratkaisut lähestyvät ongelmaa päälohkoketjuverkon kehittämisen ja muuttamisen kautta. Tällaiset ratkaisut keskittyvät esimerkiksi lohkoketjun rakenteeseen ja suunnitteluun liittyviin epäkohtiin. Ensimmäisen tason ratkaisuja ovat esimerkiksi lohkojen rakenteen, konsensusalgoritmin ja muiden lohkoketjuverkolle kriittisten ominaisuuksien uudelleenstrukturointi. Toisen tason ratkaisut taas pyrkivät ratkaisemaan ongelman lohkoketjuverkon ulkopuolisia menetelmiä hyödyntäen. Lohkoketjuverkon ulkopuolisten ratkaisuiden tarkoituksena on pyrkiä ensisijaisesti vähentämään päälohkoketjun taakkaa. Taakkaa voidaan vähentää esimerkiksi siirtämällä joidenkin tapahtumien suorittamista päälohkoketjun ulkopuolisille alustoille, kuten esim. erilaisille sivuverkoille. Skaalautuvuusratkaisua valitessa joudutaan kuitenkin tekemään kompromisseja lohkoketjuverkon fundamentaalisissa ominaisuuksissa, kuten esim. hajautettavuudessa ja turvallisuudessa. Esimerkiksi lohkoketjun lohkokoon suurentaminen voi johtaa verkon liialliseen keskittämiseen. Liian suuri lohkokoko ajaa yksittäiset solmut pois verkosta, sillä he eivät voi tarpeeksi tehokkaasti prosessoida verkon transaktioita. Tämä johtaa lopulta siihen, että verkon solmuina toimii ainoastaan keskitettyjä tahoja, joilla on riittävästi resursseja toimia tehokkaasti. (Zhou, ym., 2020)

Kun tarkastelemme käsitteellisesti skaalautuvuusratkaisujen vaikutusta lohkoketjuverkkojen kokonaisuuteen, ensimmäisen tason ratkaisut vaikuttavat verkon kokonaisuuteen välittömästi. Kun päälohkoketjun ominaisuuksia muutetaan, se muuttaa väijäämättä lohkoketjuverkkoa kokonaisuutena. Toisaalta tilanne ei ole niin yksinkertainen, jos tarkastelemme käsitteellisellä tasolla toisen tason ratkaisuja. Jos päälohkoketjuverkon taakkaa vähennetään siirtämällä transaktioita sivuverkolle, on mielestäni väijäämättä, että abstraktion tasolla kokonaisuuteen lisätään modulaarisuuden tavoin uusi kerros. Tällä kerroksella on kaksisuuntainen, toisistaan riippuvainen suhde, joka ominaisuuksien mukaisesti tuo lisäarvoa niin itse päälohkoketjulle kuin sivuverkolle. Esimerkkinä erilaisista toisen tason ratkaisuista ovat Bitcoin-verkon maksukanavajärjestelmä Lightning Network ja Ethereum-verkon Plasma-sivuverkot. Näiden lisäksi esimerkkinä toisen tason ratkaisuista on erilaiset ketjujen väliset ratkaisut (*engl.*

cross-chain solutions), kuten Cosmos. Ketjujen välisten ratkaisujen tarkoituksena on yhdistää useita itsenäisiä lohkoketjuja integroivaan lohkoketjuverkkoon.

Maksukanavajärjestelmät, kuten esimerkiksi Lightning Network toimii väliaikaisena lohkoketjun ulkopuolisena kaupankäyntikanavana, jonka tarkoituksena on vähentää päälohkoketjun transaktiovolyymia. Yksinkertaistettuna, Lightning Networkin maksukanavajärjestelmässä solmujen välille voidaan avata maksukanavia, joissa voidaan suorittaa useita matalan latenssin transaktioita kustannustehokkaasti. Ennen transaktioiden tekemistä, maksukanavaan talletetaan transaktioiden kokonaissummaa suurempi määrä Bitcoin-kryptovaluuttaa. Tällaista alkutalletusta kutsutaan kanavan avaukseksi, joka kirjataan Bitcoin-lohkoketjuverkon pääverkkoon. Kanavan avauksen jälkeen kanavan osapuolet voivat tehdä vapaasti transaktioita solmujen välillä. Jos kanavan sisäisissä transaktioissa kuitenkin joku osapuolista pyrkii vilpillisiin transaktioihin, huijatulle osapuolelle lähetetään kaikki kanavaan talletetut, vilpillisen toimijan varat. Kun maksukanavan transaktiot ovat saatu päätökseen, kanava suljetaan. Kanavan sulkemisen yhteydessä lopullinen tila tallennetaan Bitcoin-verkon päälohkoketjuun. Tämä siis mahdollistaa yksinkertaisesti monien transaktioiden tekemisen kahdessa eri lohkoketjukirjauksessa. Tämän avulla Lightning Network mahdollistaa Bitcoinille välittömät ja transaktiokustannuksiltaan todella halvat transaktiot. (Zhou, ym., 2020)

Sivuverkot ovat päälohkoketjuihin sidottuja erillisiä lohkoketjuverkkoja. Esimerkkinä tällaisista ovat Plasma-viitekehykseen sopivat Ethereum-lohkoketjuverkon sivuverkot. Yksinkertaistettuna tällainen Plasma-viitekehykseen perustuva sivuverkko toimii päälohkoketjuverkossa toimivan älysopimuksen kautta, jonka tarkoituksena on tallentaa sivuverkon tila ja konsensus päälohkoketjuverkkoon. Konseptin avulla käyttäjät voivat tehdä Plasma-viitekehykseen sopivan ketjun ja Ethereumin pääketjun välillä yhteensopivia transaktioita. Tämän avulla esimerkiksi Ethereumin päälohkoketjun kuormitusta voidaan vähentää siirtämällä transaktiovolyymia sivuverkon puolelle. (Zhou, ym., 2020)

Kun tarkastelemme tällaisia ratkaisuja omaisuuserinä, mielenkiintoista näistä tekee sen, että esimerkiksi Plasma-viitekehykseen sopivilla sivuverkoilla on usein omat kryptovaluuttansa. Yksi esimerkki tällaisesta on Polygon-lohkoketjuverkko (entinen Matic). (Polygon, 2021a; GitHub, 2021) Polygon-verkko tarjoaa MATIC-nimisen, Ethereum-verkkoon sopivan tokenin, jolla on ekosysteemissä kaksi eri tarkoitusta: verkon turvaamiseen liittyvät varojen lukitsemiset (*engl. staking*) sekä verkon sisäisissä transaktiomaksuissa toimiminen. (Polygon, 2021b). Kun tarkastelemme Polygon-sivuverkkoa ja sivuverkon tarjoamaa MATIC-tokenia omaisuuseränä, on vääjäämätöntä, että ketjun pääverkko ja sen natiivikryptovaluutta vaikuttaa omaisuuserän luonteeseen ainakin välillisesti. Samoin kun tarkastelemme sivuverkon pääverkkoa ja sen natiivikryptovaluuttaa, osa verkon fundamentaalisesta arvosta varmasti kanavoituu skaalautuvuuden ja käyttäjien mukana.

3.3 Hajautetun rahoituksen applikaatiot

Hajautetulla rahoituksella (*engl. Decentralized Finance*) viitataan hajautettuihin protokollapinoihin, joiden tarkoituksena on tarjota julkisesti saatavia ja perinteisiin finanssipalveluihin verrattavia taloudellisia palveluita. Hajautetun rahoituksen palvelut ovat rakennettu lohkoketjuihin perustuvien vertaisverkkojen ja älysopimusten varaan. Näiden protokollien tarkoituksena on tarjota perinteiset finanssipalvelut ilman vastapuoliriskejä ja kolmansia osapuolia, kuten esimerkiksi ilman keskusviranomaisen valvontaa tai perinteisen pankkiliiketoiminnan hyödyntämistä. Hajautetussa rahoitusekosysteemissä kaikki käsiteltävät varat ovat lukittuna älysopimukseen, kuten esimerkiksi protokollan sopimuskoodiin. Hajautettu rahoitus mahdollistaa mm. erilaisten markkinatakaaja-sovellutusten, lainapalveluiden, ennustemarkkinoiden, sijoitusrahastoiden ja erilaisten synteettisten omaisuuserien tarjoamisen. (Nadler & Schär, 2020; Ramos & Zanko, 2020a)

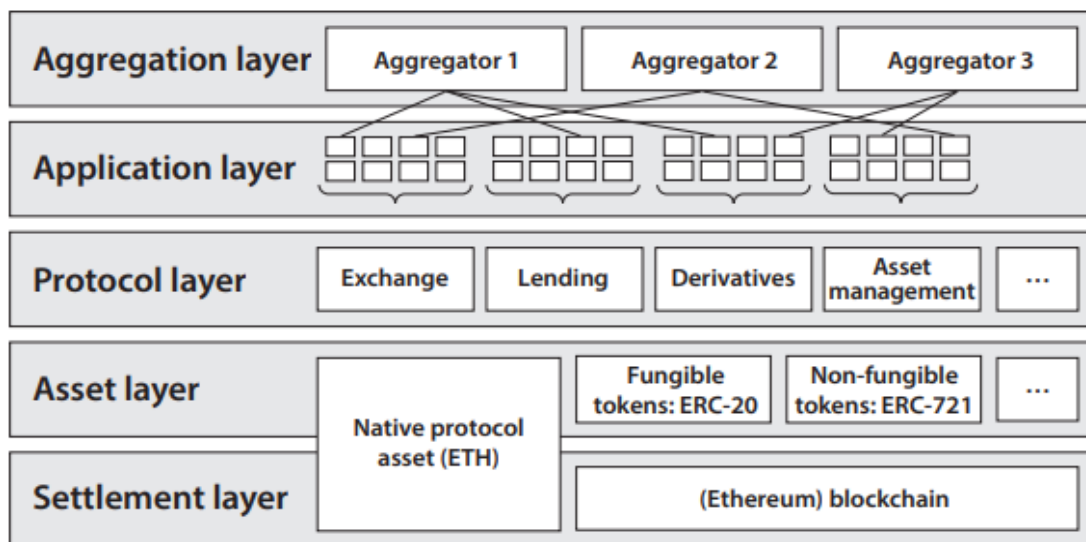
Usein hajautetun rahoituksen protokolliin liittyy erilaisia tokenisoituja omaisuuseriä. Tokenit edustavat mm. kyseisten protokollien omistajuutta sekä ne tuovat erilaisia taloudellisia ja hallinnollisia hyötyjä protokollien käyttäjille. Esimerkiksi ne voivat mahdollistaa tokenin haltijan saamaan äänioikeuden esimerkiksi erilaisiin protokollassa tapahtuviin tapahtumiin, kuten päivityksiin ja kehitysideoihin. Taloudellisia hyötyjä tokenit voivat tarjota esimerkiksi liittyen protokollan kasvuun esimerkiksi tokenin deflatorisien ominaisuuksien tai osinkomaisien maksujen avulla. (Nadler & Schär, 2020) Tokeneita tullaan kuitenkin tarkastelemaan tarkemmin luvun myöhemmissä osioissa.

Kuten aiemmin jo sanottu, hajautetun rahoituksen protokollat toimivat älysopimusten päällä. Yksinkertaisesti ne siis toimivat ainoastaan sellaisissa lohkoketjuverkkoissa, jotka tukevat älysopimuksia. Chen & Bellavitisin (2020) mukaan Ethereum-lohkoketjuverkko on tällä hetkellä hallitsevin alusta hajautetun rahoituksen protokollille. Heidän mukaansa vuonna 2019 noin 87 % lohkoketjuverkkojen päälle rakennetuista projekteista hyödynsivät Ethereumia. (Chen & Bellavitis, 2020). Tämän tutkielman kirjoittamisen aikaan vuonna 2021, edelleen suurimmat hajautetun rahoituksen applikaatiot lukitun dollarimääräisen kokonaisarvon mukaan ovat Ethereum-pohjaisia. (Defi Pulse, 2021a)

Tarkasteltaessa hajautetun rahoituksen protokollia arkkitehtuurillisesti, ne perustuvat monikerroksisuuteen. Protokollan jokaisella kerroksella on oma tarkoituksensa ja kerrosten infrastruktuuri on hierarkkinen. Hierarkisuudella tarkoitetaan sitä, että jokainen kerros on riippuvainen alemman kerroksen turvallisuudesta ja toiminnasta. Yleisesti ottaen monikerroksinen arkkitehtuuri koostuu viidestä eri kerroksesta. (Schär, 2021) Schärin (2021) mukaan konseptuaalisesti nämä kerrokset voidaan esittää hierarkkisessa järjestyksessä:

1. Selvityskerros (*engl. settlement layer*)
2. Omaisuuserä-kerros (*engl. asset layer*)
3. Protokollakerros (*engl. protocol layer*)
4. Applikaatiokerros (*engl. application layer*)
5. Aggregaatiokerros (*engl. aggregation layer*)

Selvityskerros koostuu lohkoketjusta ja alkuperäisestä protokollaan sidotusta omaisuuserästä. (esimerkkinä Ethereum-lohkoketju ja siihen sidottu ETH-kryptovaluutta) Selvityskerros mahdollistaa omistajuustietojen ja transaktioiden tilan muutosten säilönnän lohkoketjun omien sääntöjen puitteissa. Omaisuuserä-kerros koostuu kaikista varoista, jotka ovat liikkeeseen laskettu selvityskerroksen päälle. Tämä sisältää alkuperäiset protokollaan sidotut omaisuuserät ja muut tokenisoidut omaisuuserät, jotka ovat sidottuna käytettävään lohkoketjuun. Protokollakerros sisältää protokollalle ominaiset standardit, jota palvelu noudattaa. Tällaisia standardeja ovat esimerkiksi velkamarkkinoiden ja hajautettujen pörsien eri ominaisuudet ja lainalaisuudet. Protokollan standardit toteutetaan usein älysopimuksia hyödyntäen. Applikaatiokerros koostuu käyttäjäläheisistä sovelluksista, jotka ovat yhteensopivia protokollan standardeihin. Usein tällaisille applikaatioille on rakennettu selainpohjaisia käyttöliittymiä, joita on helppo käyttää. Aggregaatiokerros on applikaatiokerroksen päälle rakennettu laajennus, joka mahdollistaa käyttäjäkeskeisesti yhteyden muihin alustoihin ja protokoliin. Aggregaatiokerrokset mahdollistavat esimerkiksi käyttäjien tehdä toimia eri protokollien välillä. (Schär, 2021) Kuviossa 3 on esitettyä visuaalisesti Ethereum-lohkoketjuverkossa toimivan hajautetun rahoituksen arkkitehtuuri.



KUVIO 3 Hajautetun rahoituksen arkkitehtuuri Ethereum-lohkoketjussa (Schär, 2021)

Yksi esimerkki Ethereum-lohkoketjuverkkoa käyttävästä hajautetun rahoituksen applikaatiosta on Maker Protocol. Maker Protocol on yksi suurimmista Ethereum-lohkoketjuverkon päällä toimivista hajautetun rahoituksen applikaatioista. Maker Protocol on hajautettu, MakerDAO -yhteisön omistama lainapalvelu, jota hallitaan omistamalla protokollan MKR-tokenia. MKR-tokeni mahdollistaa äänestämisen protokollaan liittyvistä toimista. Yksinkertaisuudessaan kyseinen protokolla tarjoaa käyttäjilleen mahdollisuuden ylivakuudellisiin lainoihin, jotka perustuvat protokollan omaan Dai-nimiseen, algoritmisesti dollarin arvoon sidottuun kryptovaluuttaan. Jokainen protokollaa käyttävä voi avata itselleen ns. holvin (*engl. vault*), jonne lukitaan lainan vakuudeksi muita kryptovaluuttoja,

kuten esimerkiksi ETH:ta. Käyttäjät voivat lainata Dai-kryptovaluuttaa jopa 66 % oman vakuudensa arvosta. Holville, jotka eivät täytä vakuussuhdetta, määrätään automaattisesti likviditeettisakkomaksu ja vakuussuhteen laiminlyöminen pyritään korvaamaan likvidoimalla vakuutta. (Defi Pulse, 2021b; MakerDao, 2021)

3.4 Tokenit

Hajautettua tilikirjaa usein hyödynnetään lohkoketjua vastaavan kryptovaluutan kirjanpitoon. Kuitenkin lohkoketjuteknologian yleistyessä nousi idea muiden kuin ns. natiivien omaisuuserien liittämistä lohkoketjuun. Tätä prosessia kutsutaan tokenisoinniksi. (Schär, 2021) Tokenisoinnissa uusi omaisuuserä liitetään olemassa olevan lohkoketjun kirjanpitoon tokenin muodossa. Tokenisaation ajatuksena on saada erilaisista omaisuuseristä helpommin saavutettavia ja transaktiotehokkaampia. Usein näitä tokenisoituja omaisuuseriä voidaan hyödyntää monissa eri hajautetun rahoituksen sovelluksissa ja täten ne ovat tärkeänä osana hajautettua rahoitusta niiden eri ominaisuuksiensa vuoksi. Suurin osa olemassa olevista tokeneista on laskettu liikkeeseen Ethereum-lohkoketjussa.

Ethereum-lohkoketjussa toimivat tokenit usein noudattavat Ethereum-älysopimuksille ominaisia ERC-20 ja ERC-721 standardeja. (Schär, 2021) Esimerkkinä muista tokeneista, jotka toimivat muissa lohkoketjuverkossa ovat BEP-20 standardia noudattavat Binance Smart Chain -lohkoketjuverkossa toimivat tokenit (Binance Academy, 2021) Kaiken kaikkiaan, kun tarkastelemme erilaisia tokeneita, ne eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan huomattavasti. Esimerkkinä erilaisista tokeneista ovat hallinnointiin tarkoitettut tokenit sekä ei-fungibelit tokenit. Seuraavaksi tarkastelemme erilaisten tokenien ominaisuuksia hieman tarkemmin.

3.4.1 Hyödyketokenit

Hyödyketokenien (*engl. utility tokens*) päätarkoituksena on toimia vaihdon välineenä lohkoketjupohjaisissa ekosysteemeissä. Hyödyketokenit mahdollistavat esimerkiksi haltijoilleen kulutus oikeuden ekosysteemissä toimivasta tuotteesta tai palveluksesta. (Fisch, 2019; Lambert, ym. 2021) Yksi tunnetuimmista hyödyketokeneista on esimerkiksi Filecoin, joka on suunniteltu mahdollistamaan Filecoinin tarjoaman hajautetun tiedonhallinta-alustan käytön (CoinMarketCap Alexandria, 2021a; Filecoin, 2020).

3.4.2 Hallinnointitokenit

Jensen, ym. (2021) määrittelevät Kranziin, ym. (2019) nojautuen hallinnointitokeneiden (*engl. governance tokens*) olevan hajautettujen ekosysteemien, kuten esimerkiksi erilaisten hajautetun rahoituksen applikaatioiden hallinnointiin tarkoitettuja tokeneita. Hallinnointitokeneiden ensisijaisena tarkoituksena on mahdollistaa verkossa tapahtuva päätöksenteko hajautetusti. Yksinkertaisesti nämä ovat siis jälkimarkkinakelpoisia, fungiiabeleja omaisuuseriä, jotka mahdollistavat ominaisuuksiensa mukaisen äänestysmahdollisuuden tietyssä ekosysteemissä. Hallinnointitokeneiden liikkeeseenlasku mahdollistaa myös esimerkiksi helpon ja yksinkertaisen aikaisen vaiheen rahoituksen esimerkiksi erilaisille lohkoketjupohjaisille projekteille. (Jensen, ym. 2021: mukaan Kranz, ym. 2019)

Hallinnointitokeneiden haltijat voivat esittää näkemyksensä protokollien kehityksestä ja suunnasta enemmistöäänijärjestelmän mukaisesti. Äänestäminen tapahtuu tokenikohtaisen tilin saldoa hyödyntäen, jossa äänille painotetaan arvo tokenien määrän mukaisesti. Äänestäminen tapahtuu myös binäärisesti; joko ehdotusta vastaan tai sen puolesta. Esimerkkejä hallinnointitokeneista ovat aikaisemmin tutkielmassa mainittu MakerDAO-protokollan MKR-tokeni sekä esimerkiksi Compound-protokollan COMP-tokeni ja Uniswap-protokollan UNI-tokeni. (Jensen, ym. 2021)

3.4.3 Arvopaperitokenit

Arvopaperitokenit (*engl. security tokens*) ovat nimensä mukaisesti arvopaperien kaltaisia sijoitustuotteita. Arvopaperitokenit ovat lohkoketjupohjaisia tokeneita, jotka edustavat digitaalisesti jotain tiettyä sijoitustuotetta. Arvopaperillisen luonteensa vuoksi ne esimerkiksi mahdollistavat oikeuden sijoituskohteen kassavirtoihin ja äänestysoikeuteen. Toisin kuin hyödyketokenit, arvopaperitokenit kuuluvat arvopaperillisen luonteensa vuoksi arvopaperilakien piiriin ja täten ne ovat vahvasti reguloituja. Arvopaperitokenien liikkeeseenlasku on vaihtoehtoinen tapa hankkia ulkopuolista pääomaa esimerkiksi yritysten toimintaan. (Lambert, ym. 2021)

3.4.4 Ei-fungiiabelit tokenit

Ei-fungiiabelit tokenit (*engl. non-fungible token, NFT*) ovat tokeneita, jotka edustavat omaisuuseriä, jotka ovat keräilyesineiden mukaisesti ainutlaatuisia. Ne voivat esimerkiksi olla digitaalisia todisteita fyysisistä esineistä, kuten taideteoksista, musiikista tai esimerkiksi videoista. Tokenin ei-fungiiabelit ominaisuudet takaavat kyseisen omaisuuseriän omistajuuden linkittämällä omistusoikeuden lohkoketjuverkkoon. (Schär, 2021; Dowling, 2021a)

Ei-fungiiabeleilla tokeneilla voidaan myös käydä kauppaa. Vaikka niillä käydään kauppaa kryptovaluuttojen tapaisesti, ne ovat ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia suhteessa kryptovaluuttoihin. Kryptovaluutat usein mielletään

omaisuuseriksi, joilla on valuutan kaltaisia ominaisuuksia. Ei-fungiibelit tokenit ovat toisaalta taas tarkoitettu ainoastaan puhtaasti digitaaliseksi omaisuudeksi. (Dowling, 2021a) Usein ei-fungiibelit tokenit ovat rakennettu ERC-721 standardin mukaisesti yhteensopivaksi Ethereum-älysopimuksien kanssa (Schär, 2021).

Ei-fungiibeleista tokeneista tekee mielenkiintoisen niiden mahdolliset käyttötapaukset. Ei-fungiibelit tokenit mahdollistavat esimerkiksi jopa kiinteistöjen tokenisoinnin. Kuitenkin ei-fungiibelien tokenien kehitysvaihe on vasta alussa. Niiden hyödyllisyys ja käyttökelpoisuus tulee väistämättä lisääntymään sitä mukaa, kun digitaalinen infrastruktuuri rakentuu niiden ympärille (esim. markkinapaikat, pelit ja virtuaalimaailmat). (Popescu, 2021) Yksi monista käyttötapauksista on metaversumi. Metaversumi on virtuaalinen, digitaalisia toimintoja ja aktiviteetteja mahdollistava kollektiivinen tila. Usein metaversumi koostuu monien teknologioiden summasta, kuten esimerkiksi virtuaalitodellisuutta ja lisättyä todellisuutta hyödyntävistä teknologioista. Lohkoketjuteknologia ja etenkin ei-fungiibelit tokenit mahdollistavat ihanteellisen ympäristön tämän kaltaiselle virtuaaliselle maailmalle. Lohkoketjuverkko mahdollistaa metaversumin käyttäjälle mm. virtuaalisessa maailmassa omaisuuden kauppaamisen, omistamisen ja esimerkiksi taiteen tekemisen. (Wang, ym., 2021)

Tarkastellessa ei-fungiibelien tokenien arvoa, arvon suurin ajuri on monien muiden omaisuuserien ja hyödykkeiden tapaan yksinkertaisesti kysyntä ja tarjonta. Ei-fungiibilien ominaisuuksien kautta nämä tokenit ovat luonteeltaan niukkoja ja monet ihmiset ovat olleet valmiita maksamaan näistä suuriakin summia rahaa. (Popescu, 2021) Esimerkkinä Dowling (2021b) nostaa 69,3 miljoonan dollarin arvoisen kollaasikaupan, joka sijoittuu myyntihinnaltaan yhdeksi kalleimmaksi koskaan myydystä taiteesta.

4 ARVONMÄÄRITYS

Tässä luvussa tarkastellaan mitä asioita kuuluu arvonmääritykseen, kun puhutaan erilaisista omaisuuseristä. Luvussa ensiksi käsitellään erilaisten traditionaalisten omaisuuserien arvonmääritystä, jonka jälkeen keskitytään laajemmin lohkoketjupohjaisten omaisuuserien arvostusmalleihin ja niihin liittyviin tunnuslukuihin. Arvostusmalleja ja tunnuslukuja tullaan käymään läpi yksityiskohtaisesti eri esimerkkien avulla. Arvonmäärityksellä (huom. jatkossa myös valuaatio) tarkoitetaan ensisijaisesti prosessia, jonka kautta tietyille omaisuuserälle pyritään määrittämään sen todellinen ja luontainen arvo.

4.1 Traditionaalisten omaisuuserien valuaatio

Usein traditionaaliset omaisuuserät voidaan jakaa yleistäen neljään eri omaisuusluokkaan: yleisiin osakkeisiin, joukkovelkakirjoihin, kiinteistöihin ja rahamarkkina-tuotteisiin. (Wilcox & Fabozzi, 2013) Yksinkertaisesti osake tarkoittaa arvopaperia, joka oikeuttaa osakeyhtiön omistukseen omistussosuuden kautta. Joukkovelkakirjat ovat korkoinstrumentteja, jotka edustavat sijoittajien laskemia lainoja, jotka ovat tyypillisesti myönnetty esimerkiksi valtiolle tai yritykselle. Kiinteistöt omaisuusluokkana edustavat esimerkiksi maa-alueita ja rakennuksia. Rahamarkkina-tuotteet taas viittaavat omaisuuseriin, jotka ovat välittömästi muunnettavissa rahaksi. Esimerkkinä rahamarkkina-tuotteista ovat valtion velkasitoumukset, lyhytaikaiset joukkovelkakirjat ja esimerkiksi yritystodistukset. Kannattavan ja rationaalisen sijoitusportfolionhallinnan yksi olennaisimmista asioista onkin hyödyntää eri resursseja löytääkseen jälkimarkkinoilta omaisuuseriä, kuten yritysten osakkeita, joista käydään kauppaa niiden todellista arvoa pienemmällä hinnalla. Tässä prosessissa on tärkeää ymmärtää mitkä asiat määrittävät yrityksen arvon ja kuinka tätä prosessia arvioidaan. (Damodaran, 2006)

Yleisesti omaisuuserien arvonmäärityksessä voisi tarkastella neljää erilaista lähestymistapaa. Ensimmäinen lähestymistapa on diskonttaamiseen perustuvat kassavirtamallit, jotka tarkastelevat omaisuuserän arvoa suhteessa odotettaviin tulevaisuuden kassavirtojen nykyarvoon. Toinen tapa on tarkastella omaisuuserän kirjanpidollista arvoa esimerkiksi erilaisten tunnuslukujen kautta. Tällaisia kirjanpidollisia tunnuslukuja ovat esimerkiksi yritysten tilinpäätöksistä johdettavat likviditeetti-, rahoitusomaisuus-, kannattavuus- ja markkina-arvokertoimet. Esimerkkinä yksi tunnetuista tilinpäätöksen tunnusluvuista, joita hyödynnetään yritysten ja osakkeiden arvonmäärityksessä on p/e -luku (*engl. price per earnings ratio*), joka kuvaa osakkeen hinnan ja yrityksen tuottojen välistä suhdetta. Kolmas lähestymistapa on suhteellinen valuaatio, joka arvioi omaisuuserän arvoa tarkastelemalla vertailukelpoisten omaisuuserien hinnoittelua suhteessa yhteiseen tai yhteisiin muuttujiin, kuten esimerkiksi tuloihin ja myyntiin. Neljäs lähestymistapa on erilaisten optiohinnoittelumallien hyödyntäminen. Jokainen edellä

mainittu lähestymistapa sisältää lukuisia erilaisia yksityiskohtaisia valuaatiomalleja, kuten esimerkiksi osakkeissa hyödynnetään erilaisia diskontattujen osinkojen malleja. Esimerkkinä tällaisesta mallista on Gordonin kasvumalli. (Damodaran, 2006; Baresa, ym., 2013)

On olemassa kuitenkin omaisuuseriä, jotka eivät generoi ollenkaan esimerkiksi kassavirtaa ja täten niiden todellista arvoa ei voida helposti mallintaa traditionaalisia menetelmiä hyödyntäen. Esimerkkinä tällaisesta omaisuuserästä on kulta. Huolimatta kullan maailmanlaajuisesta merkityksestä raha- ja rahoitusjärjestelmälle, kullan todellisen arvon määrittäminen on hankalaa ja siihen ei ole yleistä konsensusta (Baur, ym., 2020). Kullan hinta määräytyy kuitenkin samoin kuten monien muidenkin hyödykkeiden: kysynnän ja tarjonnan mukaan. Tarkasteltaessa kysyntää ja tarjontaa, tulee miettiä mihin kulta käytetään ja mistä kysyntä johtuu. Kullan fundamentaalisen arvona on usein pidetty sen hinnan stabiilisuutta kriisiaikoina ja sen ominaisuuksia arvonsäilyttäjänä. Kulta omaisuuseränä hyödynnetäänkin siis esimerkiksi suojana erilaisten taloudellisten tapahtumien, kuten valuutan devalvaatiota ja inflaatiota vastaan. Osa kullan kysynnästä johtuu myös maailmanlaajuisista korujen ja teollisuuden tarpeista. (Investopedia, 2021a) Baur ym., (2020) artikkelissaan pohtivatkin kullan suhteellista valuaatiota. Artikkelissa he tarkastelivat esimerkiksi kullan hintaa suhteessa muiden hyödykkeiden, kuluttajahintojen ja omaisuuserien arvoihin ja hintoihin.

4.2 Lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuaatio

Kuten kulta, myöskään lohkoketjupohjaiset omaisuuserät eivät itsessään generoi kassavirtaa ja täten niiden ns. absoluuttinen valuaatio haasteellista. Tässä osiossa tullaan kuitenkin tarkastelemaan eri akateemisesta kirjallisuudesta ja käytännön kirjallisuudesta juontuvia menetelmiä ja lähestymistapoja, joita voidaan hyödyntää ja on myöskin hyödynnetty eri lohkoketjupohjaisten omaisuuserien arvioinnissa ja arvonmäärityksessä. Ensimmäisenä tarkastellaan dataan perustuvia tunnuslukuja, jonka jälkeen keskitytään makrotason ja kokonaisvaltaisten valuaatiomallien esittelyyn.

4.2.1 On-chain-analyysi

Lohkoketjuverkossa transaktiot voivat tapahtua joko lohkoketjuverkon sisällä tai vaihtoehtoisesti lohkoketjuverkon ulkopuolella. Lohkoketjuverkon sisällä tapahtuvia transaktioita kutsutaan ns. on-chain -transaktioiksi. Tällaiset tapahtuvat jättävät aina jälkeensä dataa itse lohkoketjuverkkoon. Lohkoketjuverkon ulkopuolella tapahtuvia transaktioita kutsutaan vastaavasti off-chain transaktioiksi. Esimerkkinä off-chain transaktiosta on kryptovaluutan omistajuuden siirtäminen toiselle henkilölle pelkästään yksityisavaimia luovuttamalla. (Investopedia, 2021b) Kuten yllä todettiin, on-chain -transaktiot jättävät jälkeensä dataa.

Tällaista dataa ovat esimerkiksi lohkoketjuverkossa olevat aktiiviset lohkoketjuosoitteet, verkon laskentateho, louhijoiden palkkiotasot, transaktioiden lukumäärät sekä esimerkiksi eri kryptovaluuttojen lompakkokohtaiset iät. Lohkoketjusta saatavaa dataa voidaan hyödyntää esimerkiksi lohkoketjuverkon nykytilan ja tulevaisuuden arvioinnissa. Tällaista toimintaa kutsutaan on-chain-analyysiksi (myös lohkoketjuanalyysi). On-chain-analyysin avulla voidaan esimerkiksi rakentaa erilaisia tunnuslukuja ja metriikoita tukemaan valuaatioprosesseja ja -malleja.

On-chain-datan ympärille on rakennettu lukuisia eri indikaattoreita ja tunnuslukuja, joilla voidaan tarkastella kryptovaluuttamarkkinoita. Esimerkkinä tällaisesta indikaattorista on Willy Woon ja Chris Burnisken vuonna 2017 popularisoima NVT-luku (*engl. Network-Value-to-Transaction ratio*), joka kuvaa transaktiovolyymien ja markkina-arvon välistä suhdetta. NVT-luku saadaan jakamalla lohkoketjuverkon markkina-arvo verkon päivittäisellä transaktiovolyymilla. NVT-lukua on usein kuvailtu kryptovaluuttojen p/e-lukuna. NVT-lukua voidaan hyödyntää kuvailemaan kryptovaluuttojen hintojen kuplautumista – korkea NVT-luku viittaa siihen, että verkon arvostus on suurempi kuin itse verkossa tapahtuvien transaktioiden volyymi. Alhainen NVT-luku taas osoittaa, että verkon arvo on jäljessä verrattuna verkon käyttöön. Toisin sanoen NVT-lukua voidaan hyödyntää kuvailemaan jossain määrin omaisuusarvon ali- ja yliarvostettavuutta. (Woo, 2017; Tahiri, 2021)

$$NVT\text{-luku} = \frac{\text{Verkon markkina-arvo}}{\text{Päivittäinen transaktiovolyymi}}$$

NVT-lukua on kuitenkin kehitetty eteenpäin. Kalichkinin (2018) kehittämässä NVT-Signal mallissa hyödynnetään transaktiovolyymien 90 päivän liukuvaa keskiarvoa kokonaisvolyymien sijaan.

$$NVT\text{S-luku} = \frac{\text{Verkon markkina-arvo}}{\text{Transaktiovolyymien 90 päivän liukuva keskiarvo}}$$

Kalichkin (2018) mukaan pidemmän ajanjakson keskiarvo johtaa parempaan indikaattoriin, silloin kun tarkastellaan verkon fundamentaalista arvoa. Pidempää ajanjaksoa hyödyntämällä päästään eroon transaktiovolyymien ja markkina-arvon epäsäännöllisyyksistä, kuten esimerkiksi spekulatiosta johtuvista transaktiovolyymipiikeistä. (Kalichkin, 2018)

Toinen esimerkki on-chain-analyysin lukuisista tunnusluvuista on Mahmudovin ja Puellin (2018) esittämä MVRV-luku (*engl. Market-Value-to-Realized-Value*). MVRV-luku voidaan hyödyntää UTXO-pohjaisten kryptovaluuttojen, kuten Bitcoin-kryptovaluutan markkinahinnan arvioinnissa. Luku kuvaa nykyisen markkina-arvon ja transaktioissa realisoitujen arvojen suhdetta. Markkina-

arvolla tarkoitetaan arvoa, jossa kierrossa olevien kryptovaluuttojen määrä on kerrottuna sen nykyisellä markkinahinnalla. Realisoitunut arvo eroaa kuitenkin markkina-arvosta, sillä se ottaa huomioon mm. kadonneet sekä sijoittajien pidossa olevat kolikot. Transakzioissa realisoitunut arvo saadaan laskemalla jokaisen käyttämättömän transaktion ulostulon arvo silloin kun ne ovat syntyneet – toisin sanoen, menetelmä pyrkii mallintamaan kaikkien kryptovaluuttojen arvoa sen perusteella, kun ne ovat viimeksi liikkuneet. (Mahmudov & Puell, 2018; Nasdaq, 2021)

$$MVRV\text{-luku} = \frac{\text{Markkina-arvo}}{\text{Realisoitunut arvo}}$$

MVRV-lukua on myös kehitetty ja pyritty tarkentamaan sen esittämisen jälkeen. Awe & Wonder (2018) esittivät MVRV-lukuun perustuvan MVRV:n z-pistemäärään perustuvan mallin, joka pyrkii mittaamaan realisoituneen arvon ja markkina-arvon välistä poikkeamaa. Yksinkertaisesti z-pistemäärällä tarkoitetaan keskiarvon ylä- tai alapuolella olevien standardipoikkeamien lukumäärää, eli ts. keskihajontaa. Menetelmää voidaan hyödyntää, kun arvioidaan omaisuuserän yli- tai aliarvostaneisuutta suhteessa sen ns. ”käypään arvoon”. Kun markkina-arvo on huomattavasti korkeampi kuin realisoitunut arvo, se on historiallisesti osoittanut markkinoiden huippua ja päinvastoin markkinoiden pohjaa. (Awe & Wonder, 2018; Glassnode Academy, 2021b)

$$MVRV\text{-Z pistemäärä} = \frac{\text{Markkina-arvo} - \text{Realisoitunut arvo}}{\text{Keskihajonta (Markkina-arvo)}}$$

Myös hajautetun rahoituksen applikaatioiden valuaatiota voidaan tarkastella on-chain metriikan avulla, kuten esimerkiksi TVL-luvun avulla (*engl. total value locked*). TVL tarkoittaa yksinkertaisesti fiat-määräistä arvoa, joka on lukittuna hajautetun rahoituksen protokollaan esimerkiksi lainojen, vakuuksien ja likviditeetin muodossa. Mitä korkeampi TVL-luku hajautetun rahoituksen applikaatiolla on, sitä korkeampi markkina-arvon suhde on lukittuun arvoon – tämä voi mahdollisesti viitata applikaation yliarvostukseen. (CoinMarketCap Alexandria, 2021b; Ramos & Zanko, 2020b)

$$TVL\text{-luku} = \frac{\text{Markkina-arvo}}{\text{Protokollaan lukittu fiat-määräinen arvo}}$$

On-chain-analyysissä on myös omat heikkouksensa. Tarkasteltavan datan luotettavuus ja saavutettavuus, johtopäätösten ja yleistämisen tekeminen sekä analyysin oikeanmukaisuus saattavat vaikuttaa tulosten todenmukaisuuteen. Hyvänä esimerkkinä voidaan esimerkiksi tarkastella datan luotettavuutta ja johtopäätöstä: kertooko lohkoketjuverkossa olevien lompakoiden määrä oikeanmukaisen arvion verkon todellisesta käyttäjämäärästä? Jokaisella osallistujalla voi

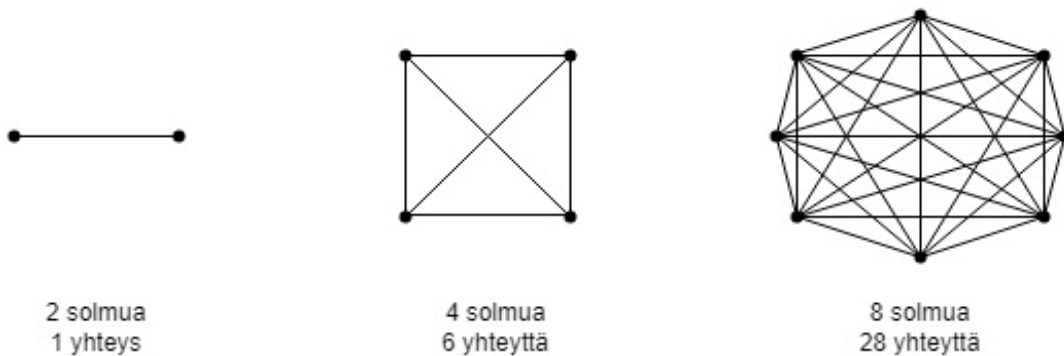
kuitenkin olla lukematon määrä omia lompakoita, joita mahdollisesti hyödynnetään päivittäin eri transaktioissa. Myöskin analysoinnissa hyödynnettävien mallien ja tunnuslukujen valitsemisessa tulee olla skeptinen – malleja on hyvä rakentaa ja sovittaa jälkeempään eri ilmiöihin sopiviksi. Kaiken kaikkiaan kuitenkin on-chain-analyysi mahdollistaa mielenkiintoisen viitekehyyksen, joka vastaa luonteeltaan hieman tilinpäätöstietojen analysointia osakkeiden valuuaatioprosessissa. Parhaimmillaan on-chain-analyysi tuo uutta näkökulmaa kryptovaluuttojen ja lohkoketjujen nykytilan ja tulevaisuuden arviointiin.

4.2.2 Metcalfen laki ja verkostovaikutus

Lohkoketjuverkkojen ja kryptovaluuttojen arvonmuodostusta voisi mahdollisesti tarkastella tietoliikenneverkkojen verkostovaikutusta kuvaavien mallien avulla. Verkostovaikutus tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että palvelun tai verkoston arvo skaalautuu sitä mukaa, kuinka moni muu liittyy kyseiseen verkostoon tai hyödyntää kyseisiä palveluita. Toisin sanoen, verkoston arvo syntyy loppupelissä verkon käyttäjien määrästä (Hendler & Golbeck, 2008). Verkostojen arvoa ja verkostovaikutusta on pyritty kuvaamaan erilaisia malleja ja lakeja hyödyntäen. Esimerkiksi 1980-luvulla Ethernetin keksijä Robert Metcalfe esitti Metcalfen lain, jonka mukaan verkon arvo on suoraan verrannollinen käyttäjiensä neliöön. (Zhang, ym. 2015)

$$\text{Verkon arvo} \propto N^2$$

Metcalfen lain mukaan muodostuva verkoston arvo perustuu oletukseen siitä, että yhteyksien määrä verkossa kasvaa nopeammin suhteessa verkon solmujen määrään (esim. käyttäjiin). Yksinkertaisesti esitettynä, jos solmujen lukumäärä on n , potentiaalisten solmujen välisten yhteyksien määrä on $(n^2 - n)/2$, mikä tarkoittaa sitä, että solmujen välisten yhteyksien määrä kasvaa neliöllisesti verrattuna solmujen määrään. (Yoo, 2015) Kuviossa 4 on visuaalisesti esitetty solmujen ja niiden välisten yhteyksien suhde Metcalfen lain mukaan.



KUVIO 4 Visuaalinen esimerkki solmujen yhteyksistä Metcalfen laissa (mukaihen Yoo, 2015)

Metcalfen lakia onkin pyritty hyödyntämään monien eri teknologioiden kuten älypuhelimien ja esimerkiksi erilaisten sosiaalisten verkkojen kasvun kuvailemisessa. Metcalfen lain validiteettia on kuitenkin kritisoitu ajan myötä ja sen ympärille on rakennettu erilaisia laajennettuja ja sitä korjaavia malleja. (Hendler & Golbeck, 2008) Esimerkiksi Odlyzko & Tilly (2005) sekä Briscoe, ym. (2006) esittivät, että Metcalfen laki ei mallinna todenmukaisesti verkon arvoa, sillä käyttäjien tuoma arvo verkostolle ei aina ole vakio. He korjasivatkin Metcalfen lakia muotoon $n \log(n)$, missä n on verkon osallistujien määrä. (Odlyzko & Tilly, 2005; Briscoe, ym. 2006).

$$\text{Verkon arvo} \propto n \log(n)$$

Muita malleja ja lakeja, joita on kehitetty kuvaamaan verkostovaikutusta ovat esimerkiksi Sarnoffin laki ja Reedin laki. Sarnoffin lain mukaan verkoston arvo on suoraan verrannollinen käyttäjiensä määriin. Reedin lain mukaan taas verkoston arvo skaalautuu eksponentiaalisesti verkoston koon mukaan. (Zhang, ym. 2015). Zhang ym. (2015) tutkivat artikkelissaan kahta suurta sosiaalisiin verkostoihin perustuvaa yritystä Metcalfen, Odlyzkon, Sarnoffin ja Reedin lain kautta. Yritykset, joita tarkasteltiin, olivat Tencent ja Facebook. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että näistä neljästä laista Metcalfen laki kuvasi parhaiten dataa. Tulokset osoittivat myös, että Tencentin ja Facebookin kustannukset ovat verrannollisia verkon koon neliöihin. (Zhang, ym. 2015)

Metcalfen lakia ja esimerkiksi Odlyzkon lakia on myös pyritty hyödyntämään vertaisverkkojen sekä eri kryptovaluuttojen valuaatiossa. Peterson (2018) tutki mm. kuinka Metcalfen laki kuvaa Bitcoin-kryptovaluutan hintakehitystä. Peterson (2018) mallinsi Bitcoinin ns. tasapainohintaa vertaamalla tarjontaa (bitcoinien määrä) ja kysyntää (bitcoin-lompakkojen määrä). Petersonin (2018) mallinnuksien mukaan Bitcoinin tasapainohinta keskipitkästä pitkään ajanjaksoon näyttää seuraavan Metcalfen lakia yli 80 % havainnoiduista tapauksista.

Myös Alabi (2017) tutki lohkoketjuverkkojen arvostamista Metcalfen lakia hyödyntäen. Tutkimuksessaan hän analysoi kolmea eri lohkoketjuverkkoa, jotka olivat Bitcoin, Ethereum ja Dash. Mallinnuksissa hän hyödynsi päivittäin osallistuvien yksilöllisten lohkoketjuosoitteiden lukumäärää kuvaamaan verkkojen aktiivisten käyttäjien määrää. Tutkimus osoitti, että Metcalfen laki mallintaa verkkojen arvoa suhteellisen hyvin. Mielenkiintoista kuitenkin Alabin (2017) tutkimuksessa oli se, että hänen mallinnustensa mukaan verkostojen arvo pysyi tasaisena aina tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen verkoston käyttäjämäärä kasvoi eksponentiaalisesti. Tämä esittää siis sitä, että nopeasti kasvava käyttäjäkunta vaatii kriittistä massaa verkolta.

4.2.3 Varanto-virtaus-malli

Kolmas valuaatiomenetelmä on varanto-virtaus-malli (*engl. stock-to-flow model*) ja siihen perustuvat analyysit. Varanto-virtaus-suhdetta usein hyödynnetään mittarina, kun arvioidaan eri hyödykkeiden niukkuutta. Varanto-virtaus-suhde saadaan jakamalla olemassa oleva tarjonta (varanto) hyödykkeen vuotuisen tuotannon kasvulla (virtaus). Usein korkean varanto-virtaus-kertoimen omaavaa hyödykettä pidetään arvon säilyttäjänä. Esimerkkinä historiallisesti tällaisia hyödykkeistä ovat olleet esimerkiksi kulta ja hopea. (Grayscale Research, 2020)

Tarkastellessa esimerkiksi Bitcoin-kryptovaluuttaa, esille tulee sen niukkuus. Bitcoin on ensimmäinen harvinainen, niukka digitaalinen objekti. Bitcoinia onkin usein kuvailtu ominaisuuksiensa puolesta digitaalisena kultana – molemmat ovat niukkoja ja niitä on vaikea tuhota. Bitcoinin niukkuus perustuu algoritmiin pohjautuvaan kokonaistarjontaan. Bitcoineja voi maksimissaan olla vain ja ainoastaan 21 miljoonaa kappaletta ja tätä määrää ei ole koskaan mahdollista ylittää. Samoin uusien, vielä luomattomien Bitcoinin luomisprosessi ja siihen liittyvät ominaisuudet ovat ennalta määrättyjä. Yksi tärkeistä ominaisuuksista Bitcoinin niukkuuteen on louhintaprosessin puoliintumiset. Bitcoinin tuotanto puolittuu algoritmin mukaisesti joka neljäs vuosi. Näiden edellä mainittujen ominaisuuksien pohjalta onkin myös rakennettu Bitcoinin varanto-virtaus-mallit S2F ja S2FX mallintamaan niukkuuteen perustuvaa hinnan kehitystä. (Merkaš & Roška, 2021)

Bitcoinin varanto-virtaus-mallit (*engl. stock-to-flow model*) kehitti ja popularisoi pseudonyymi Twitter-käyttäjä PlanB. S2F-mallissa hyödynnetään olemassa olevien bitcoinvarojen kokonaistarjonnan ja vuotuisesti kiertoon tulevien uusien bitcoinvarantojen välillä olevaa suhdelukua. Mitä korkeampi suhdeluku on, sitä kauemmin menee aikaa, että uusi tuotanto vastaa nykyiseen kysyntään. Tämä tarkoittaa siis sitä, että aina kun hyödykkeen niukkuus lisääntyy, sen hinta nousee edelleen kysynnän kasvaessa. Yksinkertaisesti PlanB:n kehittämä malli perustuu lineaariseen regressioyhtälöön:

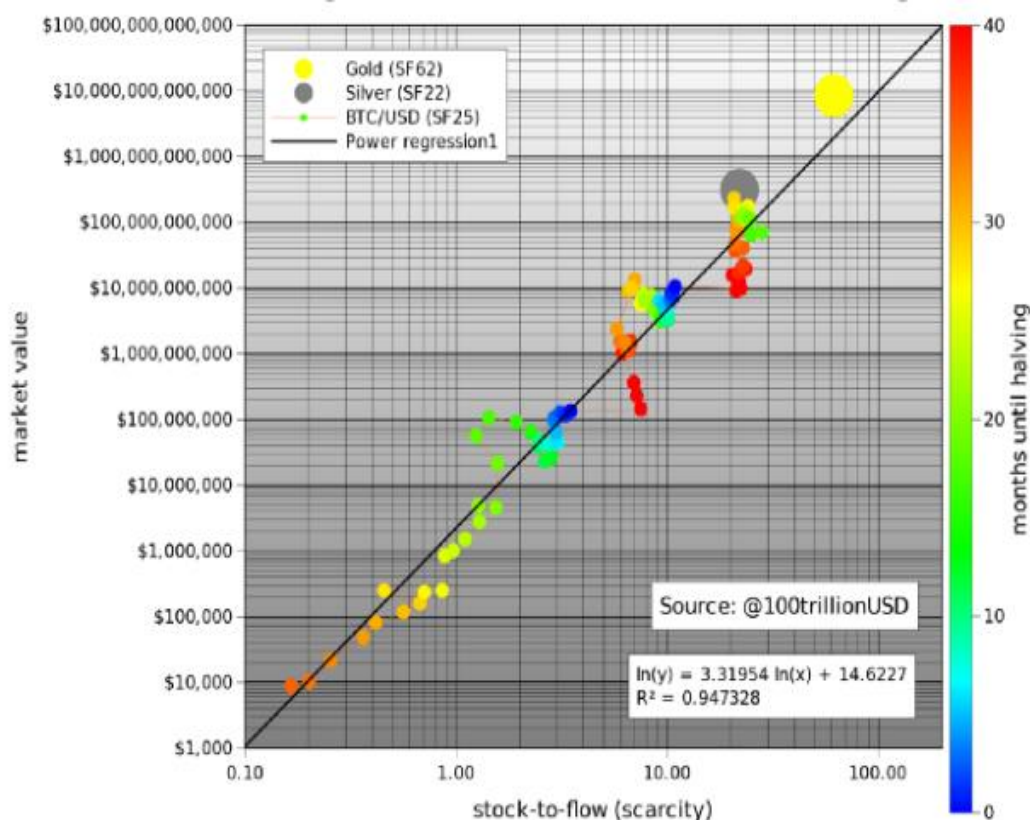
$$\ln(\text{Bitcoinin markkina-arvo}) = 3.3 * \ln(\text{varantovirtauskerroin}) + 14.6$$

Tämä taas voidaan esittää potenssilain mukaisesti funktiona:

$$\text{Bitcoinin markkina-arvo} = \exp(14.6.) * \text{varantovirtauskerroin}^{3.3}$$

Mallin mukaan jokaista puoliintumista kohden Bitcoinin varanto-virtaus-suhde kaksinkertaistuu ja täten markkina-arvo nousee keskimääräisesti puoliintumiskäytön aikana 10-kertaiseksi. Tarkasteltaessa mallin tuottamaa hintakehitystä, suurimman osan ajasta S2F-malli on seurannut Bitcoinin hintaa. (Merkaš & Roška, 2021; PlanB, 2019) Kuviossa 5 näemme, kuinka PlanB mallinsi markkina-arvoa varanto-virtaus-suhdetta hyödyntäen vuonna 2019. Edellä mainitussa kuviossa Bitcoinin markkina-arvo on värikoodattu sinisestä punaiseen perustuen siihen, kuinka monta kuukautta seuraavaan tuotannon puoliintumiseen on.

PlanB (2019) totesi kirjoituksessaan myös, että tästä mallista tekee erityisen mielenkiintoisen se, että kulta ja hopea ovat linjassa Bitcoinin arvon kanssa varantovirtaus-mallissa. Esimerkkinä hän toteaa, että joulukuussa 2017 Bitcoinin varantovirtaus-suhde oli 22 ja sen markkina-arvo oli 230 miljardia dollari, joka vastasi hyvin lähelle hopeaa. (PlanB, 2019)



KUVIO 5 PlanB:n esittämä S2F-mallinnus (PlanB, 2019)

PlanB kehitti kuitenkin S2F-mallia eteenpäin ja julkaisi vuonna 2020 S2FX-mallin, joka pyrki selittämään paremmin markkina-arvon heilahtelua suhteessa S2F-hintamalliin. PlanB:n (2020) mukaan hän vahvisti aiemman S2F-mallin perustaa poistamalla mallista ajan ja lisäämällä malliin muita resursseja, kuten hopean ja kullan. Hänen mukaansa S2FX-malli mahdollistaa erilaisten omaisuuserien kuten hopean, kullan ja Bitcoinin arvostuksen yhdellä mallilla. (PlanB, 2020)

Kyseiset mallit ovat kuitenkin saaneet paljon kritiikkiä. Esimerkiksi monien analyytikoiden mielestä markkinoilla olevien suurten hintavaihtelujen takia mallin tuottamaa hintaennustetta on mahdotonta kiistää. Malli on myös saanut kritiikkiä kysynnän ja tarjonnan liiallisesta yksinkertaistamisesta. Esimerkkinä Cordeiro (2020) kritisoi S2F-mallia siitä, että malli perustuu täysin todistamattomaan väitteeseen siitä, että rahallisten hyödykkeiden markkina-arvo on suoraan johdettavissa hyödykkeiden uudesta tarjontasuhteesta. (Merkaš & Roška, 2021; Cordeiro, 2020)

Tällaisia hinnoittelumalleja voidaan myös kritisoida tarkastelemalla tehokaiden markkinoiden hypoteesia. Tehokaiden markkinoiden hypoteesin mukaan esimerkiksi osakkeiden kurssit heijastavat kaikkea niistä saatavaa olennaista informaatiota markkinoilla (Fama, 1970). Jos markkinat ovat tehokkaat, tällaisten mallien tuottama informaatio olisi siis jo hinnoiteltu Bitcoinin markkinahintaan. Toisaalta taas pääomamarkkinoilla havaitut poikkeavuudet kyseenalaistavat markkinoiden täydellistä tehokkuutta. (Merkaš & Roška, 2021) Myöskin kryptovaluuttamarkkinoiden tehokkuutta on hyvä kyseenalaistaa. Apopo & Phiri (2021) tutkivat kryptovaluuttamarkkinoiden tehokkuutta tarkastelemalla tuottojen frekvenssiä päivittäisissä ja viikoittaisissa sarjoissa. Tutkimuksessaan he huomasivat, että yleisesti päivittäisiin tuottoihin perustuvat sarjat olivat kryptovaluuttamarkkinoilla osittain tehokkaita, kun taas kaikki viikoittaisiin tuottoihin perustuvat sarjat olivat tehottomia. Tulokset viittaavatkin siis siihen, että kryptovaluuttamarkkinat eivät ole ainakaan tällä hetkellä tehokkaita markkinoita. (Apopo & Phiri, 2021) Myös Kyriazis (2019) artikkelissaan tarkasteli systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tavoin Bitcoinin ja muiden kryptovaluuttamarkkinoiden tehokkuutta. Kyriazisin (2019) mukaan akateemisesta kirjallisuudesta kumpuava konsensus on se, että kryptovaluuttamarkkinat ovat epätehokkaat.

Vaikka varanto-virtaus-malleja on laajasti kritisoitu Bitcoinin markkina-arvon ennustamiseen, niistä nousee kuitenkin esille mielestäni yksi huomioonotettava yksityiskohta. Ottamatta kantaa itse mallin todenmukaisuuteen, varanto-virtaus-suhde mahdollistaa niukkojen resurssien, kuten rahahyödykkeiden vertailun toisiinsa esimerkiksi arvonsäilyttäjän roolissa. Kullan varanto-virtaus-suhde on tällä hetkellä noin 62, mikä tarkoittaa sitä, että tarvittaisiin noin 62 tuotantovuotta kattamaan nykyinen kierrossa oleva kullan kokonaismäärä. Bitcoinilla taas varanto-virtaus-suhde on vuoden 2020 puoliintumisen jälkeen noin 58.9, joka tarkoittaa sitä, että arvioitaessa kultaa ja Bitcoinia, niiden niukkuus tällä hetkellä vastaavat suunnilleen toisiansa. (Merkaš & Roška, 2021)

Tarkastellessa vielä tätä edellä mainittua jalometalleihin perustuvaa narratiivia, mielestäni mielenkiintoisen vivahteen tähän luo yksi Satoshi Nakamoton alkuperäinen foorumiviesti. Foorumiviesti ei itse kontekstissaan käsittele tätä kyseistä narratiivia, mutta mielestäni se sopii siihen yleisellä tasolla. Viestissä Nakamoto (2010) esittää ajatuskokeen perusmetallista, joka poikkeaa ominaisuuksiltaan muista. Nakamoton esittämä ajatuskoe menee jota kuinkin näin: ”mitä jos olisi olemassa kullan tavoin yhtä niukka perusmetalli, joka perusominaisuuksiltaan olisi väriltään tylsän harmaa, huono sähkönjohtimena, ei olisi erityisen vahva, mutta ei kuitenkaan helposti muokattavissa, ei olisi hyödyllinen mihinkään käytännölliseen tai koristeelliseen tarkoitukseen, mutta ennen kaikkea se olisi siirrettävissä viestintäkanavia hyödyntäen. Jos tällainen hyödyke saa jostain arvoa, jokainen, joka haluaa siirtää omaisuutta pitkien matkojen päähän, voisi ostaa sitä, välittää sen ja lopulta vastaanottaja voisi myydä sen.” (Nakamoto, 2010)

4.2.4 Rahan kvantiteettiteoria

Seuraava tarkasteltava lähestymistapa kryptovaluuttojen ja tokenien valuuaation tarkasteluun on rahan kvantiteettiteoria ja sen mallintaminen. Rahan kvantiteettiteoria on yksi vanhimmista talousopeista, joka yksinkertaisimmillaan toteaa hyödykkeiden hintatason määräytyvän liikkeessä olevan rahan määrän muutoksesta (Humphrey, 1974). Teorian mukaan, jos rahaa lasketaan liikkeelle runsaasti, sen arvo ja ostovoima laskee suhteessa laskettuun määrään. Tämän seurauksena hyödykkeiden hinnat tulevat nousemaan. Sama pätee myös toiseen suuntaan; jos kierrossa oleva rahamäärä laskee, sen ostovoima kasvaa. (Humphrey, 1974) Rahan kvantiteettiteoriaa kuvaa Irving Fisherin popularisoima rahan kvantiteetti-yhtälö (Pazos, 2018).

$$M * V = P * T$$

Yhtälön vasemman puolen muuttuja M kuvaa kierrossa olevaa rahan määrää ja muuttuja V kuvaa rahan kiertonopeutta vuodessa (*engl. velocity*). Yhtälön oikean puolen muuttuja P taas kuvaa tarjotun hyödykkeen hintatasoa ja muuttuja T kuvaa yhden vuoden aikana tarjottujen hyödykkeiden määrää. Yksinkertaisuudessaan yhtälö kuvaa siis talousjärjestelmää, jonka transaktioiden koon kattamiseksi tarvitaan rahajärjestelmä, jonka koko on M kerrottuna V :llä. (Pazos, 2018)

Rahan kvantiteetti-yhtälöä on hyödynnetty kuvaamaan hyödyketokenien valuuaatiota. Pazos (2018) tutkimuksessaan huomasi, että hyödyketokenien valuuaatio on suoraan verrannollinen tarjottavienn resurssien hintaan ja kyseisten resurssien mahdollisten käyttökelpoisten markkinoihin kokoon. Samalla tutkimuksessa huomattiin, että valuuaatio on kääntäen verrannollinen hyödyketokenin kiertonopeuteen.

Rahan kvantiteettiteorian ja kvantiteetti-yhtälön hyödyntämisessä lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuuaatiossa on kuitenkin omat rajoitteet ja heikkouksensa. Kyseinen teoria on täysin monetaarinen teoria, joten tarkasteltavia kryptovaluuttoja ja tokeneita on arvioitava täysin valuuttana ja vaihdon välineenä, ilman muita ominaisuuksia. Samalla kuitenkin sovellettaessa ja tapauskohtaisesti kyseinen menetelmä voi antaa uuden näkökulman kryptovaluuttojen valuuaatioon.

5 EMPIIRINEN ANALYYSI

Tässä tutkielman osiossa testataan määrällisiä menetelmiä hyödyntäen tutkielmassa esitetyn Metcalfen lain yhteyttä lohkoketjupohjaisten omaisuuserien markkina-arvoon. Metcalfen laki valikoitui tarkasteltavaksi malliksi aikaisempien, merkittävien tutkimustulosten vuoksi, joiden takia mallia on syytä tarkastella uudestaan nykyisellä aineistolla ja uudennlaisilla tarkastelujoukoilla, kuten esimerkiksi erilaisilla ensimmäisen tason lohkoketjuverkoilla. Samalla osion on tarkoitus pyrkiä vastaamaan tutkielman pääkysymykseen: ”kuinka hyvin Metcalfen laki selittää lohkoketjupohjaisten omaisuuserien markkina-arvojen muutosta?”. Seuraavaksi tulen tarkastelemaan empiirisen osion tutkimusmenetelmää ja dataa, jonka jälkeen käyn läpi tilastollisten testien tuloksia.

5.1 Tutkimusmenetelmä ja aineisto

Tutkielman empiirisessä osiossa on tarkoitus tarkastella Metcalfen lain ja markkina-arvon välistä suhdetta ensimmäisen tason lohkoketjuverkoissa. Aiemmin tutkielmassa esitetyn Metcalfen lain mukaan verkoston arvo on suoraan verrannollinen verkon käyttäjien neliöön. Tämä voidaan esittää formaalisti muodossa:

$$\text{Verkon arvo} \propto N^2,$$

jossa

N = verkon käyttäjät

Jotta voimme tarkastella verkoston käyttäjiä, tulee käyttäjät ja itse verkkoon osallistujat määritellä yksityiskohtaisesti. Jos tarkastelemme lohkoketjuverkkoja ja erilaisia kryptovaluuttoja, todellista käyttäjien aktiivista määrää on vaikea arvioida, sillä lohkoketjuosoitteita ei ole yleisesti yksilöity eri henkilöihin. Tämän takia joudumme mallissamme hyödyntämään vaihtoehtoista muuttujaa edustamaan aktiivisia käyttäjiä. Peterson (2018) hyödynsi omassa tutkimuksessaan esimerkiksi Bitcoin-lompakoita edustamaan verkon käyttäjäkuntaa. Mielestäni

kyseinen muuttuja ei kuitenkaan kerro verkon todellista käyttäjämäärää, sillä se ei sulje pois esimerkiksi epäaktiivisia lompakoita, joita ei enää käytetä. Tämän takia mallissa tullaan käyttämään muuttujana päivittäisten aktiivisten lohkoketjuosoitteiden määrää edustamaan verkon aktiivista käyttäjäkuntaa. Kuitenkaan tämäkään muuttuja ei edusta tosiasiaa täydellisesti koko käyttäjäkuntaa, sillä yhdellä käyttäjällä on mahdollista olla monta päivittäistä aktiivista lohkoketjuosoitetta, sekä erilaiset institutionaaliset aktorit voivat hallinnoida monen eri yksilön omaisuuseriä. Mielestäni muuttuja kuitenkin estimoii käyttäjäkuntaa riittävän hyvin, ja tätä määritelmää hyödynsi myöskin Alabi (2017) artikkelissaan. Jotta voimme arvioida Metcalfen lakia, joudumme myös määrittelemään, kuinka arvioimme verkoston arvoa. Koska itse arvoa on vaikea määritellä yleisesti arvon subjektiivisuuden vuoksi, verkoston arvoa tässä tutkielmassa tullaan määrittämään globaalisti tunnetun arvon mittarin, Yhdysvaltain dollarien mukaisesti markkina-arvona. Kohteen kokonaismarkkina-arvo voidaan määrittää kertomalla kierrossa olevien tarkasteltavien yksikköjen määrä niiden yksikköhinnalla.

Testattavissa malleissa tullaan hyödyntämään käsiteltävien arvojen kuukauden keskiarvoja. Tämä siksi, jotta voisimme vähentää datasta lyhyen aikavälin kohinaa, kuten esimerkiksi spekulatiosta johtuvia äkillisiä hintavaihteluja. Tarkasteltava malli voidaan siis esittää yksinkertaisesti olevan ”tarkasteltavan kohteen markkina-arvo on suoraan verrannollinen tarkasteltavan kohteen Metcalfen lain mukaiseen arvoon”.

Aineisto, jota hyödynnetään, on haettu sivustolta coinmetrics.io, josta hyödynnettävä aineisto on vapaasti haettavissa. Sivusto valikoitui datan yleisen saatavuuden ja yhtenäisyyden perusteella. Data-aineistoa on järkevää tarkastella yhtenäisesti yhdestä lähteestä esimerkiksi erilaisten inhimillisten virheiden välttämiseksi. Tarkasteltava aineisto sisältää kohteiden päivittäiset markkina-arvot sekä päivittäiset aktiiviset lohkoketjuosoitteet. Kohteet, joita tarkastelemme ovat kaikki ensimmäisen tason lohkoketjuverkkoja. Nämä ovat: Bitcoin, Ethereum, Cardano ja NEO. Tarkasteltava aineisto käsiteltiin Excel-ohjelmistossa ja määrälliset menetelmät toteutettiin Excel-ohjelmiston data-analyysityökaluja hyödyntäen. Aineiston käsittelyssä ensimmäisenä päivittäisten lohkoketjuosoitteiden määrät muutettiin Metcalfen lain esittämään muotoon ottamalla niistä neliöarvot. Neliöarvon mukaista arvoa kutsutaan tästä edespäin tutkielmassa Metcalfen arvona. Tämän jälkeen kummastakin aikasarja-aineistosta laskettiin tarkasteluvälille kuukauden keskiarvot, joita voidaan lopulta hyödyntää mallien välisten suhteiden tarkastelussa. Taulukossa 1 on esiteltyä hyödynnettävät tarkastelujoukot, tarkasteluvälit, havaintojen määrät sekä aineiston luonne.

TAULUKKO 1 Hyödynnettävä aineisto taulukoituna

Tarkastelujoukko	Tarkasteluväli	Havaintojen määrä	Aineiston luonne
Bitcoin	1.9.2010-31.3.2022	139	Kuukauden keskiarvo

Ethereum	1.12.2016- 31.3.2022	64	Kuukauden keskiarvo
Cardano	1.12.2017- 31.3.2022	52	Kuukauden keskiarvo
NEO	1.8.2017- 31.3.2022	56	Kuukauden keskiarvo

Tarkasteltavasta aineistosta saamme kaksi erillistä aikasarja-aineistoa; kuukauden keskiarvot Metcalfen arvosta ja markkina-arvosta. Jotta voimme tarkastella muuttujien välisiä yhteyksiä, joudumme hyödyntämään tilastollisia menetelmiä, kuten korrelaatio- ja regressioanalyysia. Tähän hyödynnämme Pearsonin korrelaatiokerrointa ja lineaarista regressioanalyysia. Kahden eri muuttujan välistä lineaarista riippuvuutta on mahdollista tarkistella korrelaatiokerroimen avulla. Korrelaation ollessa voimakasta, toisen muuttujan arvoista on mahdollista päätellä toisen muuttujan arvot lähes täydellisesti ja täten näiden välillä esiintyy verrannollisuutta. Korrelaatiokerroimen arvoksi on mahdollista saada arvoja -1 ja 1 välillä, joista negatiiviset arvot viittaavat negatiiviseen lineaariseen korrelaatioon ja positiiviset positiiviseen korrelaatioon. Kuitenkin, jos korrelaatiokerroin on 0, muuttujien välillä ei ole lineaarista riippuvuutta. Pearsonin korrelaatiokerroin on usein hyödynnetty tunnusluku kuvaamaan korrelaatiota, jota tässäkin empiriassa osiossa hyödynnämme. (Karjaluoto, 2007)

Lineaarisen regressioanalyysin avulla pyritään selvittämään, kuinka hyvin tiettyä muuttujaa pystytään selittämään yhdellä tai useammalla eri muuttujalla. Linearisessa regressioanalyysissä nimensä mukaisesti analysoitavan aineiston tulee olla lineaarisesti riippuvaisia toisistaan. Muita regressioanalyysin vaatimuksia ovat aineiston multikollineaarisuuden, heteroskedastisuuden, outlier-tapausten ja datapisteiden aikariippuvuuksien tarkastaminen. Esimerkiksi ennen aikasarjojen analysointia regressioanalyysia hyödyntäen, tulee olla varma siitä, että aikasarjat ovat ajallisesti riippumattomia. (Karjaluoto, 2007) Lineaarisen regressioanalyysin avulla voidaan myös rakentaa lineaarisia ennustemalleja, tarkastelemalla aineiston muuttujien lineaarista suoraa, joka voidaan esittää muodossa:

$$Y = a + bX$$

jossa

Y = selitettävän muuttujan arvo

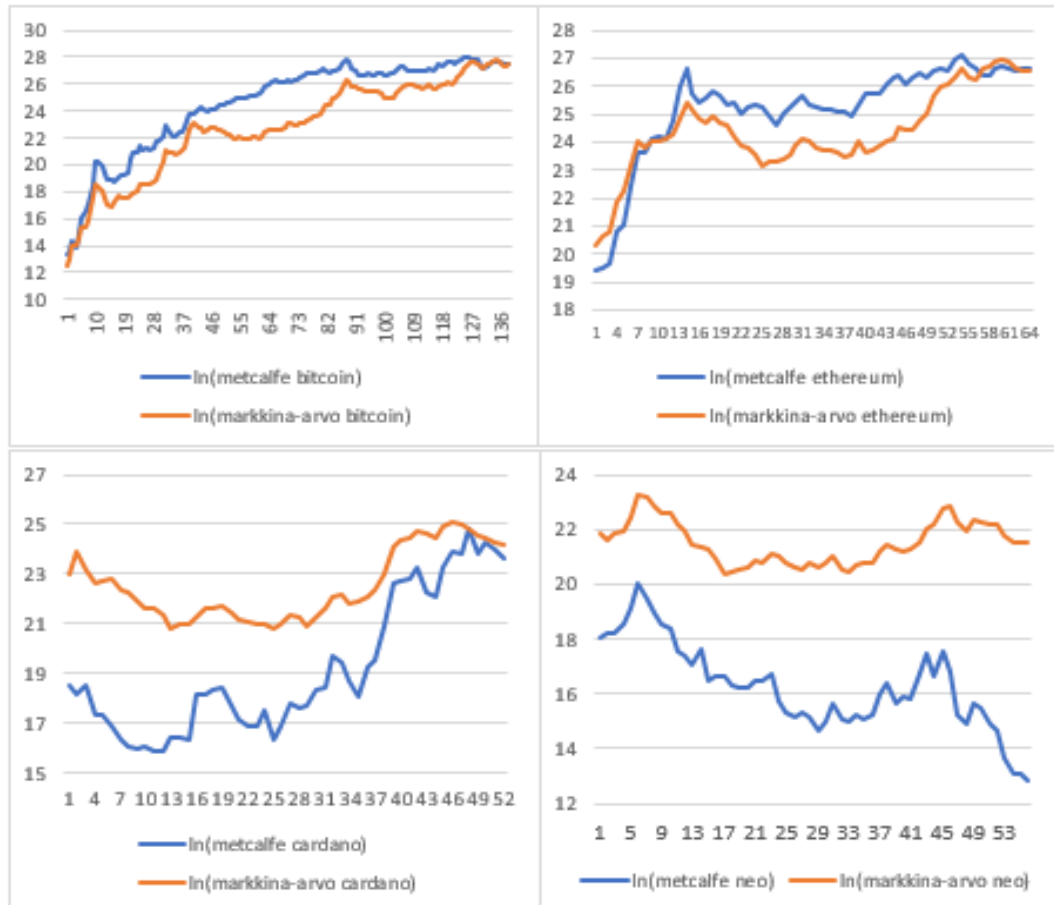
a = vakiotermin

b = regressiokerroin

X = selittävän muuttujan arvo

Koska osiossa tarkasteltava aineisto on aikasarjoista koostuva, sitä on käsiteltävä ennen korrelaatio- ja regressioanalyysia. Ensimmäisenä tarkasteltava aineisto on muutettava luonnollisen logaritmiin. Syynä tälle transformaatiolle on Petersoninkin (2018) esittämä tarkoitus vähentää aikasarjojen heteroskedastisuutta, joka mahdollisesti voisi vaikuttaa regressioanalyysin tuloksiin. Logaritmis-

transformaation lisäksi pelkästään markkina-arvojen ja Metcalfen arvojen aikasarjojen tarkastelu ei ole järkevää, sillä kyseisillä aikasarjoilla näyttää kuvion 6 mukaan olevan ajasta riippuvia, nousevia sekä laskevia trendejä. Tämän vuoksi on syytä olettaa aineiston olevan epästationaarinen. Aikasarjoaineiston epästationaarisuus voi mahdollisesti vaikuttaa esimerkiksi tulosten luotettavuuteen.



KUVIO 6 Aikasarjojen alkuperäiset arvot luonnollisena logaritmina

Tämän vuoksi pelkkien aikasarjojen logaritmistien arvojen tarkastelun sijaan tulisi tarkastella arvojen 1. differenssejä, eli muuttujien arvojen välistä muutosta. Yksikertaisesti 1. differenssillä tarkoitetaan aikasarjassa muuttujan välistä muutosta ajassa $t-1$. Toisin sanoen tämän avulla tarkastelemme tässä tutkielmassa aikasarjojen X -muuttujan muutoksen suhdetta Y -muuttujan muutokseen. 1. tason differenssi voidaan esittää muodossa:

$$X: n \text{ muutos} = x_t - x_{t-1},$$

jossa

x_t = muuttujan X arvo hetkessä t

x_{t-1} = muuttujan X arvo hetkessä t-1

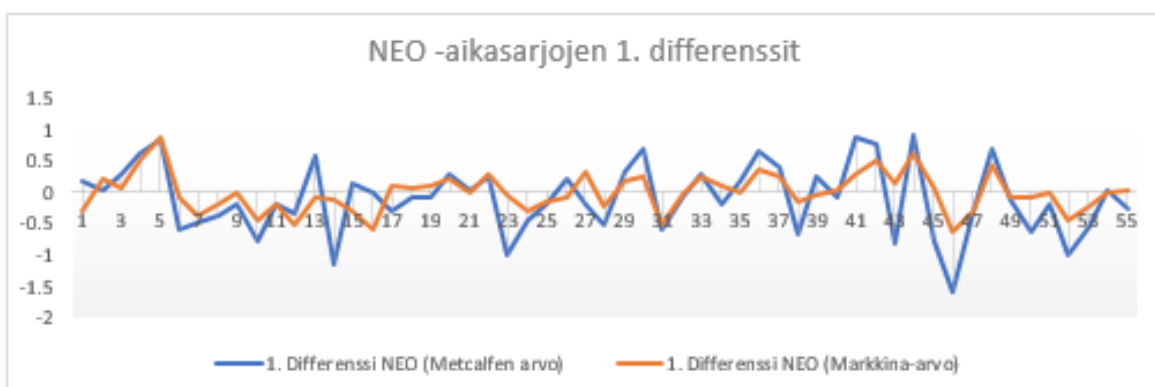
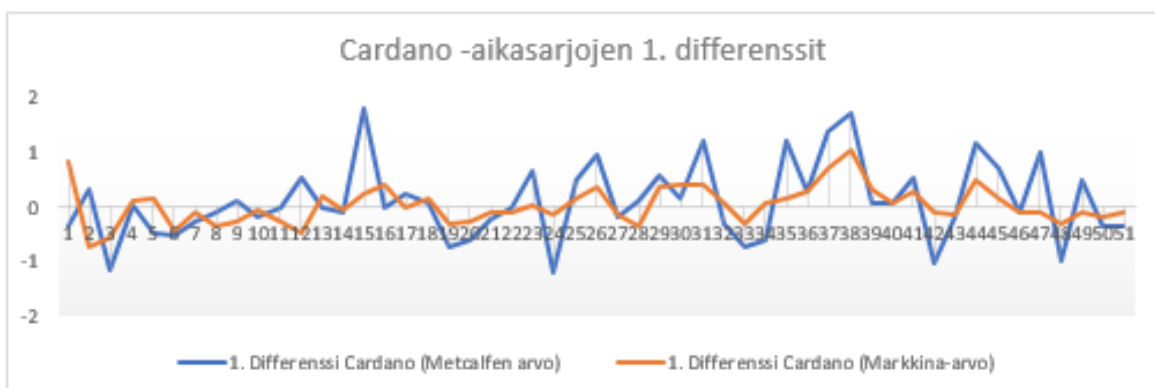
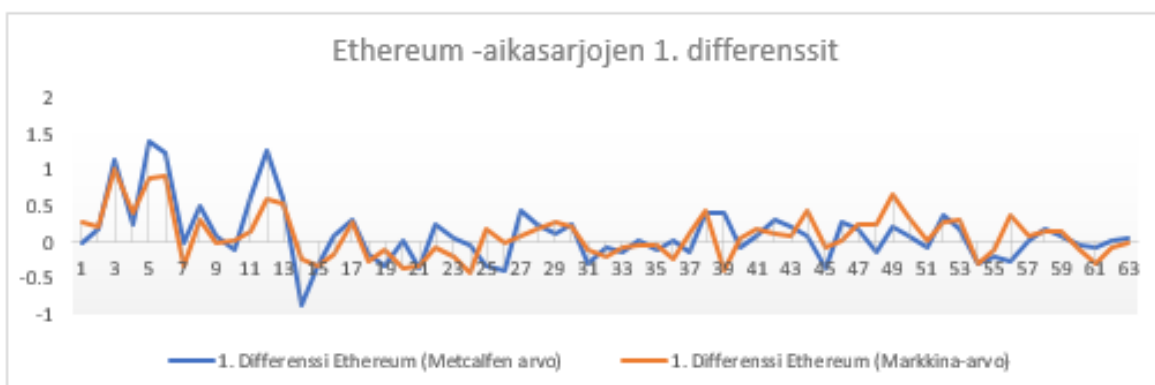
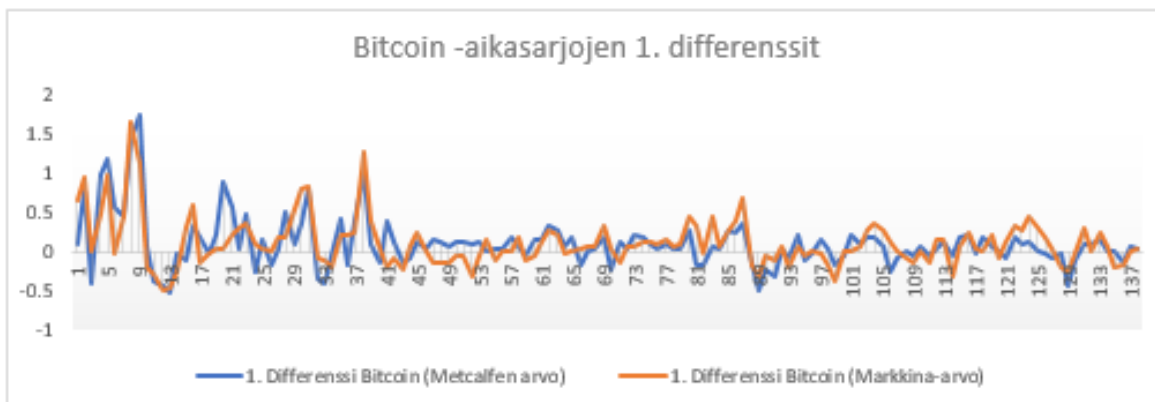
Lopullinen, tilastollisesti tarkasteltava aikasarja-aineisto koostuu siis edellä mainittujen Metcalfen (päivittäisten aktiivisten lohkoketjuosoitteiden neliö) ja markkina-arvojen kuukauden keskiarvojen muutoksista luonnollisessa logaritmissa. Tutkielman liitteissä 1 ja 2 on esitetty yksityiskohtaisesti tarkasteltavien muuttujien transformaatiot ja laskutavat. Kuviossa 7 on esitetty tarkasteltavat aikasarja-aineistot lopullisessa muodossa, eli aikasarjoina, joista on otettu 1. differenssit. Jos haluamme lopulta selvittää analyysien tulosten tulkintaa, voimme myös tarkastella luonnollisen logaritmin 1. differenssejä myös prosentuaalisina muutoksina alkuperäisessä aineistossa. Voimme transformoida luonnollisen logaritmin 1. differenssit alkuperäisten arvojen prosentuaalisiksi muutoksiksi ottamalla näistä differensseistä luonnolliset eksponenttifunktiot. Tällaisen eksponenttifunktion kantalukuna hyödynnetään Neperin lukua. Transformaatio prosentuaaliseen muotoon voidaan esittää formaalisti myös näin:

$$100 * (e^x - 1)$$

jossa

x = aikasarjapiste 1. differenssi

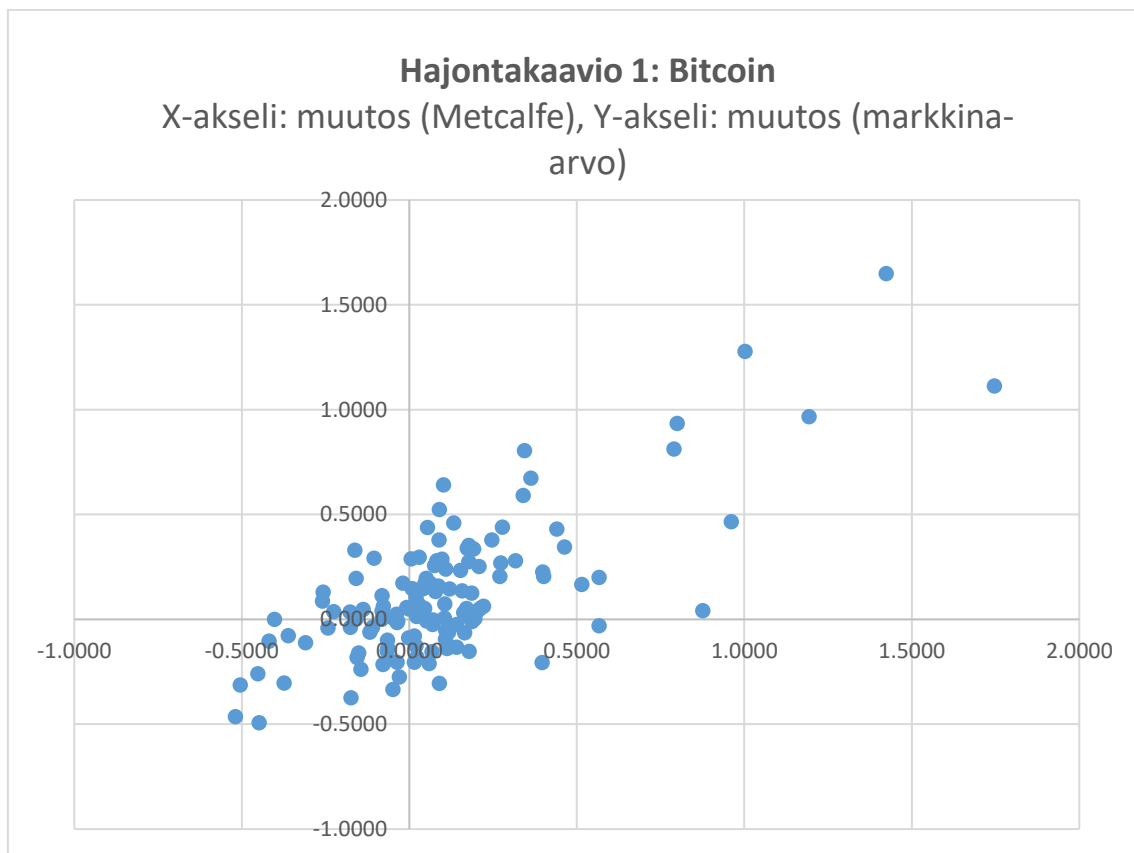
Prosentuaalisten muutosten tarkastelu ei kuitenkaan ole tulosten analysoinnin kannalta välttämätöntä, eikä tämän takia alkuperäisten arvojen prosentuaalisia muutoksia tulla käymään läpi tulosten analysoinnissa. Seuraavassa alaluvussa käydään läpi tarkemmin läpi korrelaatio- ja regressioanalyysin tuloksia.



KUVIO 7 Tarkasteltavien aikasarjojen 1. differenssit

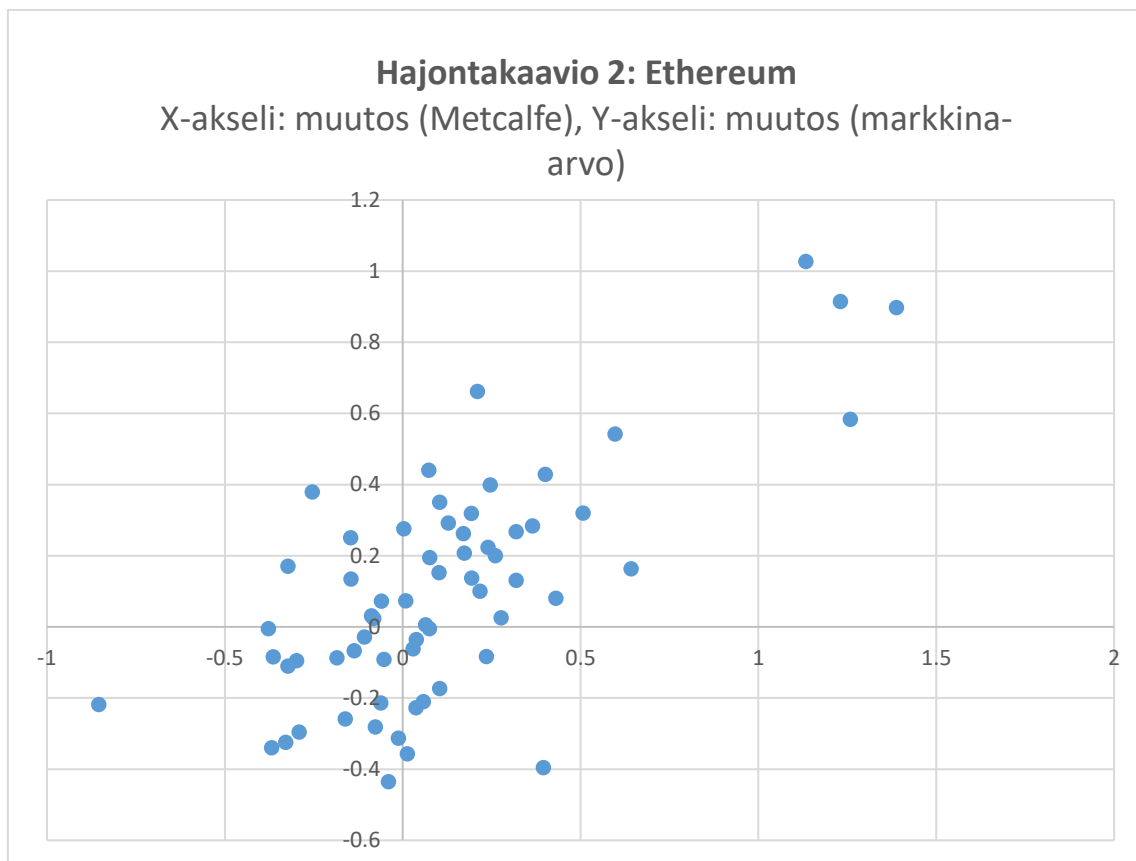
5.2 Tulokset

Ensimmäisenä tarkastelemme aikasarjojen 1. differenssien välistä lineaarista korrelaatiota tarkastelemalla visuaalisesti hajontakaavioita, jonka jälkeen testaamme tilastollisin menetelmin aikasarjoille Pearsonin korrelaatiokertoimet, sekä tilastolliset merkitsevyysasteet. Yksinkertaisesti aikasarjojen välinen korrelaatio mittaa Metcalfen arvon muutoksen lineaarista yhteyttä markkina-arvon muutokseen. Lineaarista korrelaatiota voimme aluksi havainnoida visuaalisesti hajontakaavioista 8–11.



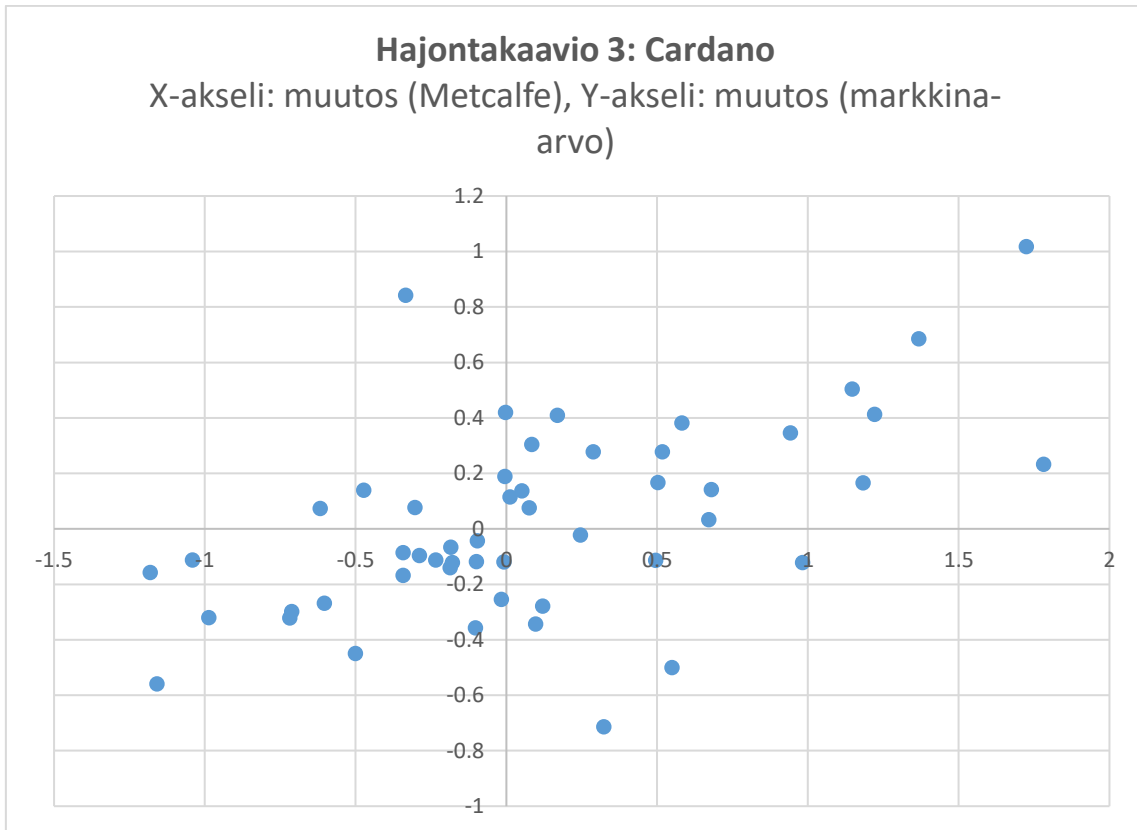
KUVIO 8 Hajontakaavio: Bitcoin

Kuvion 8 hajontakaaviosta voimme huomata pelkästään jo visuaalisesti Bitcoinin Metcalfen arvon muutoksien ja markkina-arvon muutoksien välillä olevan vahva positiivinen lineaarinen yhteys. Tilastollisesti tarkasteltuna, aikasarjojen välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on noin $r = 0.7399$, sekä itse riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkitsevää (p -arvo < 0.001). Seuraavana kuviossa 9 on esitetty Ethereumin hajontakaavio.



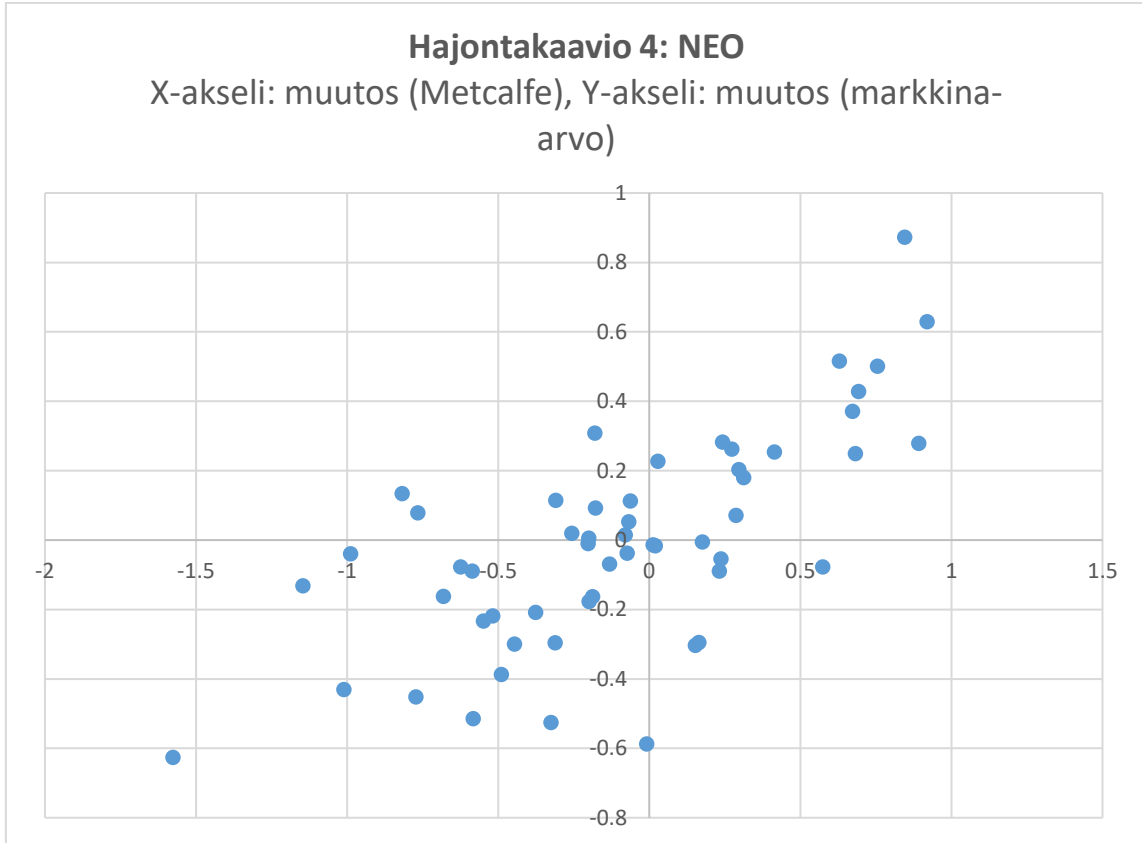
KUVIO 9 Hajontakaavio: Ethereum

Kuten Bitcoinin hajontakaaviosta, voimme huomata myös Ethereumin hajontakaaviosta visuaalisesti positiivisen lineaarisen yhteyden. Tilastollisesti aikasarjojen välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on $r = 0.709$, sekä havaittu riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkitsevää ($p\text{-arvo} < 0.001$). Ethereumin kohdalla lineaarinen korrelaatio ei ole niin vahva kuin Bitcoinin, mutta lineaarinen yhteys on silti huomattava. Seuraavana kuviossa 10 on esitetty Cardanon hajontakaavio.



KUVIO 10 Hajontakaavio: Cardano

Kuten aiemmat huomiot, myös Cardanon hajontakaaviosta voimme todeta positiivisen lineaarisen yhteyden. Kuitenkaan positiivinen lineaarinen yhteys ei vaikuta olevan yhtä suuri kuin Bitcoinin ja Ethereumin kohdalla. Tämän lisäksi kuvioista voidaan huomata datapisteiden hajonnan olevan suurempi verrattuna edellisiin aikasarjoihin. Tilastollisesti tarkasteltuna Pearsonin korrelaatiokerroin Cardanolle jää tasolle 0.548. Tilastollinen merkitsevyys korrelaatiolle on kuitenkin erittäin merkitsevää (p -arvo < 0.001). Viimeisenä on esitetty NEO:n hajontakaavio, joka näkyy kuviossa 11.



KUVIO 11 Hajontakaavio: NEO

NEO:n hajontakaaviosta huomaamme myös positiivisen lineaarisen korrelaation. Tilastollisesti Pearsonin korrelaatiokertoimeksi saadaan 0.695, sekä kyseinen riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkitsevä (p -arvo < 0.001). Mielenkiintoista tuloksista tekee sen, että NEO:n lineaarinen riippuvuus lähenee Bitcoinin ja Ethereumin korrelaatioarvoja.

Yleisesti tulosten mukaan jokaisen tarkastelujoukon X :n (Metcalfen arvo) kuukausittaiset muutokset korreloivat suhteellisen merkittävästi tarkastelujoukon Y :n (markkina-arvot) kuukausittaisiin muutoksiin. Kaiken kaikkiaan tuloksista saamme Pearsonin korrelaatiokertoimiksi positiivisia arvoja väliltä 0.549–0.74. Tulokset esittävät siis, että tarkasteltavien ensimmäisen tason lohkoketjuverkkojen Metcalfen arvojen muutosten lineaarinen yhteys markkina-arvojen muutoksiin on melko vahva. Itse korrelaatio ei kuitenkaan yksinään kerro mitään, eikä korrelaatio merkitse kausaalisuutta. Tämän vuoksi seuraavaksi esitettävät regressioanalyysin tulokset pyrkivät esittämään muuttujien välisten selitettävyyssasteen, josta voimme tehdä myöhemmin seuraavia johtopäätöksiä. Taulukossa 2 on vielä kuvattu koosteeksi eri aikasarjojen väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet sekä tilastollista merkitsevyyttä kuvaavat p -arvot yhdessä.

TAULUKKO 2 Pearsonin korrelaatiokertoimet ja p-arvot

Tarkastelujoukko	Pearsonin korrelaatiokerroin (R)	P-arvo
Bitcoin: Metcalfen arvon muutos ja markkina-arvon muutos	0.7399	p < 0.001, tilastollisesti erittäin merkitävä
Ethereum: Metcalfen arvon muutos ja markkina-arvon muutos	0.709	p < 0.001, tilastollisesti erittäin merkitävä
Cardano: Metcalfen arvon muutos ja markkina-arvon muutos	0.548	p < 0.001, tilastollisesti erittäin merkitävä
NEO: Metcalfen arvon muutos ja markkina-arvon muutos	0.695	p < 0.001, tilastollisesti erittäin merkitävä

Seuraavaksi esitetään lineaarisen regressioanalyysin tulokset eri aineistoille. Tutkielman liitteessä 3 on esitetty kaikkien tarkastelujoukkojen regressioanalyysin tulosteet. Ensimmäisenä taulukossa 3 on Bitcoinin aikasarjojen regressioanalyysin tulokset.

TAULUKKO 3 Regressioanalyysin tulokset: Bitcoin

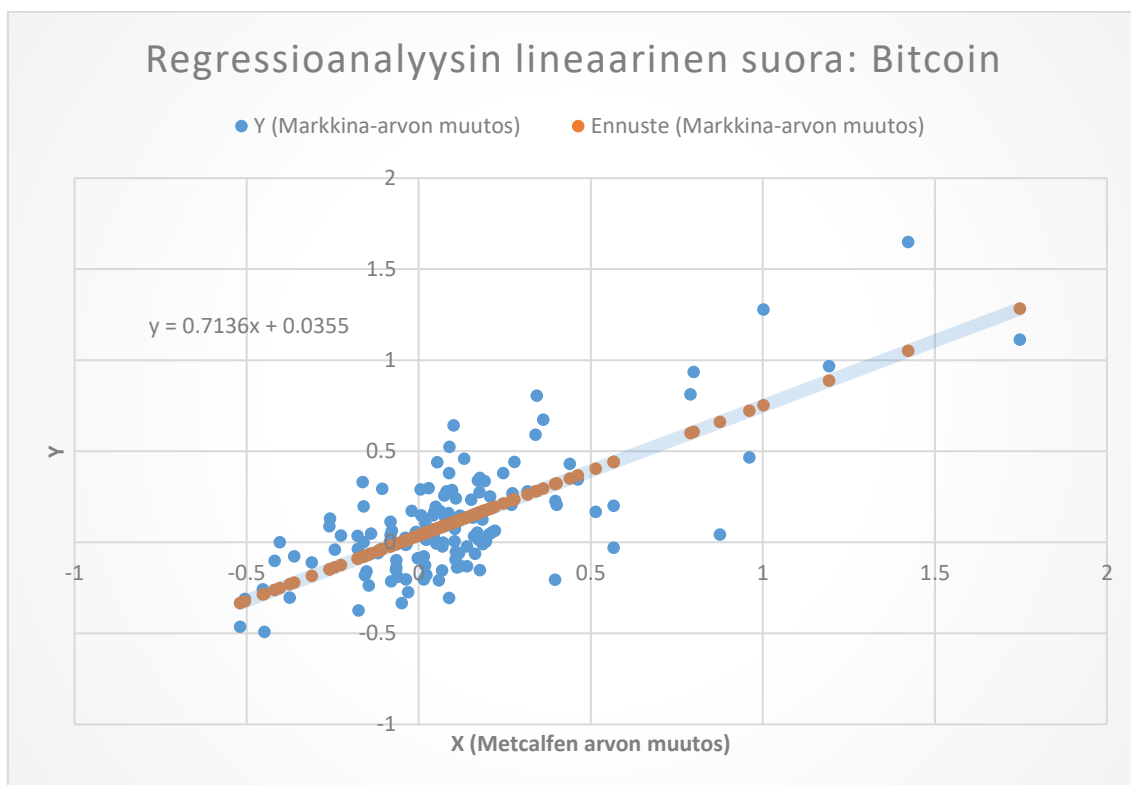
Vakio-termi (p-arvo 0.064)	Regressiokerroin (p-arvo < 0.001)	Selitysaste (R ²)	Korjattu selitysaste	Keski- virhe	Havainnot	F-testi	F-merkitsevyys
0.0355	0.7136	0.5475	0.5442	0.2135	138	164.582	<0.001

Lineaarisen regressioanalyysin tulosten mukaan saamme selitysasteeksi 0.5475. Tämä tarkoittaa sitä, että X-muuttujan eli Bitcoinin Metcalfen arvon muutos (t-1) selittää n. 54,75 % Y-muuttujan, eli Bitcoinin markkina-arvon muutoksen (t-1) vaihtelusta. Regressioanalyysin avulla saamme muodostettua lineaarisen yhtälön perustuvan ennustemallin, joka pyrkii ennustamaan Y-muuttujaa X-muuttujan muuttuessa. Tämä lineaarinen yhtälö on $y = 0.7136x + 0.0355$, jossa

y = Bitcoinin markkina-arvon muutos (t-1)

x = Metcalfen arvon muutos (t-1)

Lineaarinen yhtälö on myös esitetty visuaalisesti kuviossa 12. Kuvion jälkeen on esitettynä seuraavan tarkastelujoukon (Ethereum) lineaarisen regressioanalyysin tulokset taulukossa 4 sekä lineaarinen suora kuviossa 13.



KUVIO 12 Regressioanalyysin lineaarinen suora: Bitcoin

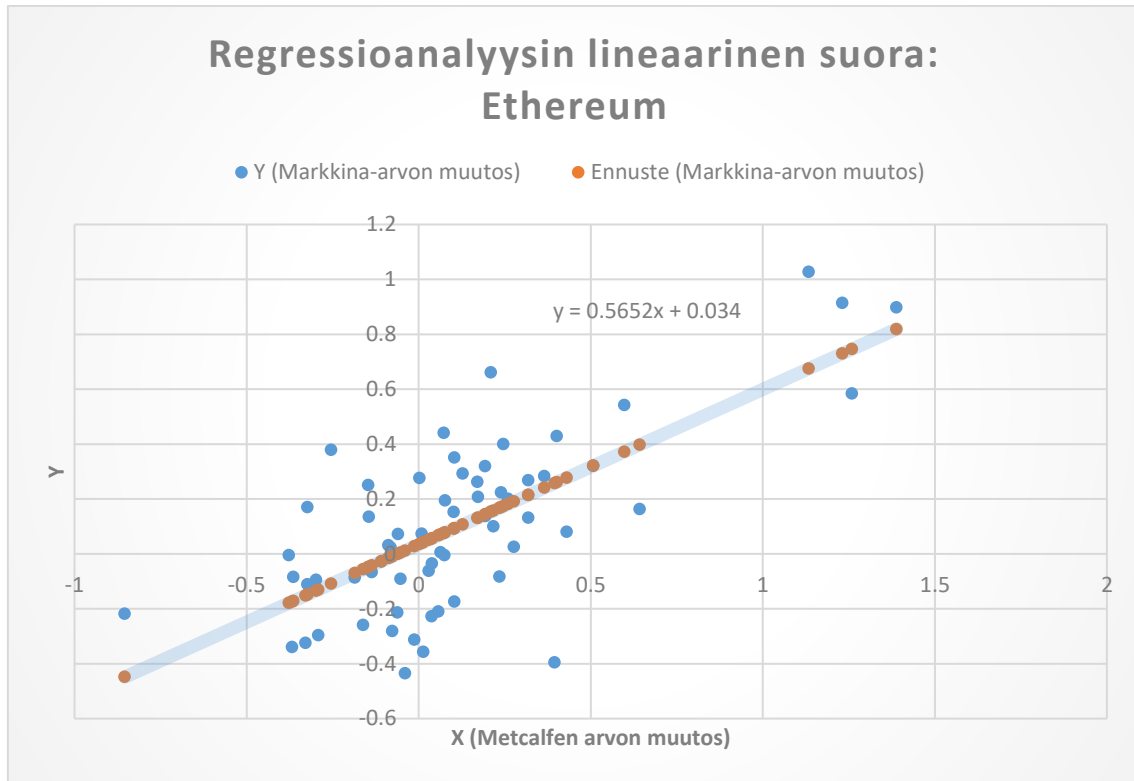
TAULUKKO 4 Regressioanalyysin tulokset: Ethereum

Vakio- termi (p- arvo 0.2551)	Regres- sioker- roin (p- arvo < 0.001)	Seli- tysaste (R ²)	Korjattu seli- tysaste	Keski- virhe	Havain- not	F-testi	F-mer- kit- sevyys
0.034	0.5652	0.5032	0.4951	0.2255	63	61.804	<0.001

Ethereumin kohdalla lineaarisen regressioanalyysin tuloksista voimme huomata Metcalfen arvon muutoksen (t-1) selityksasteen markkina-arvon muutokseen olevan 0.5032. Tämä tarkoittaa sitä, että Ethereumin Metcalfen arvon muutoksen vaihtelu selittää n. 50,32 % markkina-arvon muutoksen vaihtelusta. Aineistolle saamme lineaarisen regressioanalyysin kertoimien avulla ennustemalliksi lineaarisen suoran $y = 0.5652x + 0.034$, jossa

y = Ethereumin markkina-arvon muutos (t-1)

x = Ethereumin Metcalfen arvon muutos (t-1)



KUVIO 13 Regressioanalyysin lineaarinen suora: Ethereum

Cardanon lineaarisen regressioanalyysin tulokset ovat esitettyinä taulukossa 4. Tulosten mukaan Metcalfen arvon muutoksen (t-1) selityssaste markkina-arvon muutokseen olevan pienempi suhteessa aiempiin tarkastelujoukkoihin. Selityssasteeksi regressioanalyysistä saamme 0.3011. Tämä tarkoittaa sitä, että ainoastaan n. kolmasosa markkina-arvon muutoksen vaihtelusta selittää Metcalfen arvon muutoksen vaihtelu.

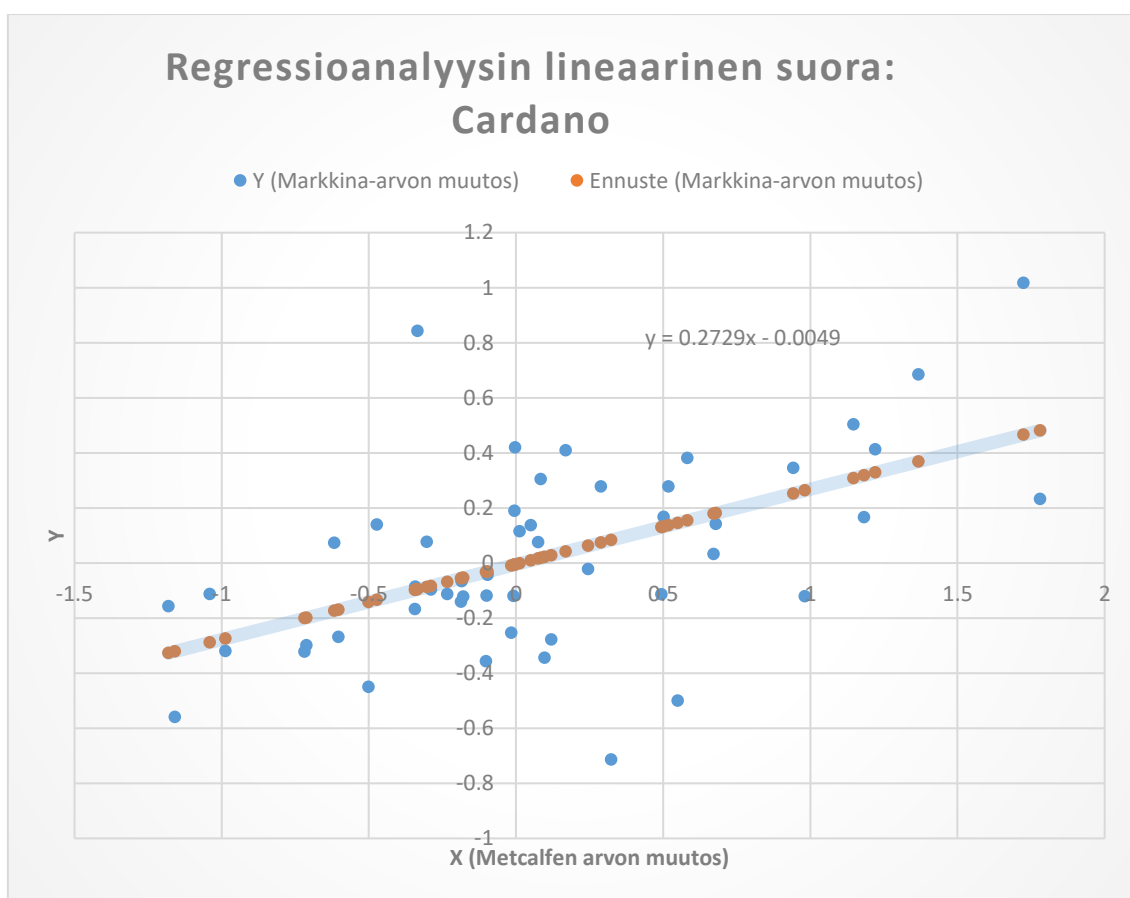
TAULUKKO 5 Regressioanalyysin tulokset: Cardano

Vakio- termi (p- arvo 0.906)	Regressiokerroin (p- arvo < 0.001)	Selityssaste (R ²)	Korjattu selityssaste	Keski- virhe	Havainnot	F-testi	F-merkitsevyys
-0.00486	0.272918	0.3011	0.2868	0.2906	51	21.11	<0.001

Kuten aiemmista regressioanalyysin tuloksista, saamme Cardanon markkina-arvon muutokselle ennustemallin, joka esitetään lineaarisena regressiosuorana kuviossa 14. Suora voidaan esittää muodossa: $y = 0.2729x - 0.0049$, jossa

y = Cardanon markkina-arvon muutos (t-1)

x = Cardanon Metcalfen arvon muutos (t-1)

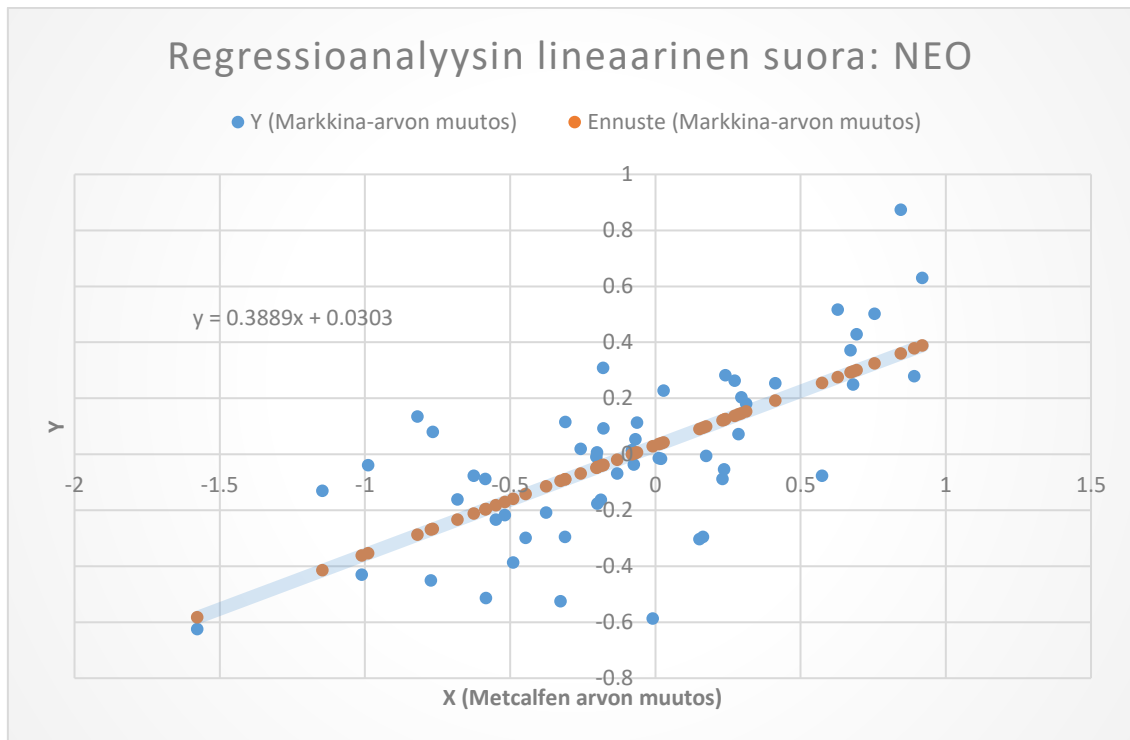


KUVIO 14 Regressioanalyysin lineaarinen suora: Cardano

Viimeisenä on esitetty NEO:n lineaarisen regressioanalyysin tulokset taulukossa 6 sekä kuviossa 15 on esitetty NEO:n regressioanalyysin tuottaman lineaarinen yhtälö.

TAULUKKO 6 Regressioanalyysin tulokset: NEO

Vakio- termi (p-arvo 0.325)	Regres- sioker- roin (p- arvo < 0.001)	Seli- tysaste (R ²)	Korjattu seli- tysaste	Keski- virhe	Havain- not	F-testi	F-mer- kit- sevyys
0.0303	0.3889	0.483567	0.473823	0.222766	55	49.62704	<0.001



KUVIO 15 Regressioanalyysin lineaarinen suora: NEO

NEO:n tuloksista voimme huomata Metcalfen arvon muutoksen (t-1) selitysas-
teen markkina-arvon muutokseen olevan 0.4835. Tämä tarkoittaa siis sitä, että
NEO:n Metcalfen arvon muutoksen vaihtelu selittää n. 48,35 % markkina-arvon
muutoksen vaihtelusta. Aineistolle saamme lineaarisen regressioanalyysin
avulla ennustemalliksi lineaarisen suoran $y = 0.3889x + 0.0303$, jossa

y = NEO:n markkina-arvon muutos (t-1)
 x = NEO:n Metcalfen arvon muutos (t-1)

5.3 Tulosten tulkinta

Kun tarkastelemme korrelaatio- ja regressioanalyysin tuloksia hieman tarkem-
min, voimme huomata seuraavia asioita: kaikkien tarkastelujoukkojen muuttujat
ovat keskenään tilastollisesti merkittävästi korreloituneita. Tarkastelujoukkojen
muuttujista Bitcoin korreloi lineaarisesti eniten (Pearsonin korrelaatiokerroin
0.74) ja Cardano vähiten (Pearsonin korrelaatiokerroin 0.548). Kuitenkin kaikkien
kertoimet ovat yli 0.5 ja ne edustavat täten keskivahvaa korrelaatiota. Tämä ker-
too siitä, että Metcalfen arvon muutosten ja tarkasteltavien ensimmäisen tason
lohkaketjuverkkojen markkina-arvon muutosten välillä on suhteellisen vahva li-
nearinen yhteys. Myös regressioanalyysin tulokset tukevat tätä; tilastollisesti
kaikkien regressioanalyysien F-testien arvot ovat tilastollisesti merkitseviä ($p <$
0.001), joka viittaa siihen, että yleisesti selittävän muuttujan muutoksilla on

mahdollista selittää selitettävän muuttujan muutoksia. Tarkasteltaessa tutkielman tuloksia, pystymme vastaamaan tutkielman päätutkimuskysymykseen: Metcalfen arvon muutos selittää tarkastelupopulaation markkina-arvon muutoksesta n. 30,11–54,75 % riippuen tarkasteltavasta ensimmäisen tason lohkoketjuverkosta. Mielenkiintoista tuloksista tekee sen, että muuttujien väliset korrelaatiot ja selitysasteet eivät eroa suuresti lohkoketjuverkkojen koon ja populaarisuuden mukaan. Kuitenkin, jos tarkastelemme regressioanalyysin tuottamien lineaaristen estimointiyhtälöiden vakiokertoimia, ne eivät saa tilastollista merkittävyyttä ($p > 0.05$) missään tarkastelujoukossa. Vakiokertoimien merkittävyyden tarkastelu ei kuitenkaan ole tärkeää eikä tutkimuksen kannalta edes mielekästä, sillä muuttujien välisten yhteyksien selittäjä, regressiokerroin, on kaikissa tarkastelujoukoissa tilastollisesti erittäin merkittävä. Rajoittavana tekijänä kuitenkin kaikissa estimointimalleissa on suhteellisen korkea keskivirhe, joka voi vaikuttaa lopulliseen estimointimallin tarkkuuteen heikentävästi. Estimointimallien mahdollisen heikon tarkkuuden takia absoluuttisten arvojen määrittämiseen niitä ei tulisi hyödyntää. Tulosten avulla pystyimme kuitenkin vastaamaan hyvin tutkielman pääkysymykseen. Tämän lisäksi tutkielman apukysymyksiin vastasimme onnistuneesti tutkielman kirjallisuuskatsauksessa.

Jos refleктоimme tutkielman tuloksia aiempaan kirjallisuuteen, huomaamme tuloksissa yhteneväisyyksiä, vaikka tutkimusmenetelmät ja tarkastelujoukot olivatkin erilaisia. Tutkielman tulosten selitysasteet eroavat hieman Petersonin (2018) mallin selitysasteelle ($R^2=0.85$), jossa hän tarkastelee Metcalfen lain ja Bitcoinin yksikköhinnan välistä suhdetta. Vertailussa on otettava kuitenkin huomioon se, että kyseisen tutkimuksen aineisto on vanhempaa sekä tarkasteltavia datapisteitä on huomattavasti vähemmän. Tämän lisäksi Petersonin (2018) tutkimuksessa tarkasteltiin Bitcoinin yksikköhintaa, johon on otettu huomioon Bitcoin-lohkoketjuverkon oma inflaatio. Toisaalta, vaikka Bitcoinin kohdalla selitysaste tässä tutkielmassa jää tasolle $R^2=0.547$, osoittaa se silti samansuuntaista korrelaatiota ja selitystasetta verrattuna Petersonin (2018) esittämiin tuloksiin. Tulokset siis osittain vahvistavat aiempien tutkimuksen näkemyksiä Metcalfen lain ja lohkoketjuverkkojen arvon välisestä yhteydestä.

6 YHTEENVETO

Tutkielman alussa tarkasteltiin yksityiskohtaisesti lohkoketjuteknologiaa ja siihen liittyvää käsitteistöä. Käsitteiden määrittelyn jälkeen tutkielma eteni lohkoketjupohjaisten omaisuuserien määrittelyyn. Tutkielmassa rajattiin lohkoketjupohjaiset omaisuuserät kolmeen eri kategoriaan: lohkoketjuverkot & perinteiset kryptovaluutat, hajautetun rahoituksen applikaatiot sekä erilaiset tokenit. Kirjallisuuskatsauksen alussa määriteltiin myös tutkielmaa ohjaavat tutkimuskysymykset. Tutkielmaa ohjaavista kysymyksistä tutkielman kannalta tärkein oli verkostovaikutusta kuvaavan Metcalfen lain tarkastelu eri lohkoketjuverkkojen markkina-arvon muodostumisessa. Kun tarkastelemme kirjallisuuskatsauksen tuloksia, on helppo sanoa, että akateemisesta ja käytännön kirjallisuudesta ei löydy täydellistä konsensusta lohkoketjupohjaisten omaisuuserien valuaatioon. Tämä todennäköisesti johtuu siitä, että ala on itsessään uusi ja kokoavaa tutkimusta aiheesta ei vielä löydy paljoa. Kirjallisuuskatsauksesta löytyi kuitenkin monia mielenkiintoisia lähestymistapoja valuaatiomenetelmiin. Moni näistä lähestymistavoista onkin saanut vahvistusta aikaisempien empiiristen tutkimusten tuloksien kautta.

Ensimmäisenä valuaatiomenetelmänä tutkielman kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin on-chain-analyysia. On-chain-analyysi määriteltiin tutkielmassa lohkoketjupohjaisen datan analysoinniksi. Tällaista dataa ovat kaikki lohkoketjuverkossa esiintyvä informaatio, kuten esimerkiksi kryptovaluuttojen lompakko-kohtaiset iät ja transaktiomäärät. Menetelmä kuvastaa ominaisuuksiltaan hie-man traditionaalisten omaisuuserien, kuten yritysten tilinpäätöstietojen tarkastelua. On-chain-analyysin jälkeen, tutkielmassa tarkasteltiin valuaatiota verkostovaikutusta kuvaavien mallien avulla. Näistä tutkielman kannalta tärkeimmäksi nousi Metcalfen laki ja sen eri variaatiot, joita on aiemmin onnistuneesti hyödynnetty lohkoketjuverkkojen hintakehityksen mallintamisessa. Tutkielman pääkysymykseksi muodostuikin, ”kuinka hyvin Metcalfen laki selittää lohkoketjupohjaisten omaisuuserien markkina-arvojen muutosta?”. Seuraavana tarkasteluun otettiin niukkuuteen perustuva varanto-virtaus-malli, jota on hyödynnetty kuvaamaan esimerkiksi Bitcoin-kryptovaluutan niukkuutta ja sen markkina-arvon kehitystä. Kyseinen malli on laajasti kritisoitu, mutta yleisesti ottaen malli

antaa mielenkiintoisen näkökulman eri omaisuuserien niukkuuden arviointiin. Kirjallisuuskatsauksen lopussa päädyttiin vielä tarkastelemaan hyödyketoke-
nien valuaatiota rahan kvantiteettiteorian näkökulmasta.

Tutkielman empiirinen analyysi keskittyi vastaamaan tutkielman pääkysy-
mykseen. Osiossa tarkasteltiin korrelaatio- ja lineaarisen regressioanalyysin
avulla Metcalfen lain muodostaman arvon muutoksen yhteyttä eri lohkoketju-
verkkojen markkina-arvojen muutoksiin. Tutkimustulosten mukaan Metcalfen
lain tuottaman arvon muutos selittää suhteellisen hyvin markkina-arvon muu-
tosta (n. 30,11–54,75 % selitysasteilla). Tulokset itsessään eivät poikkea suuresti
aiemmista tutkimustuloksista, joissa on todettu vahva yhteys Metcalfen lain ja eri
lohkoketjuverkkojen markkinahintojen välillä. Johtopäätösten mukaan Metcal-
fen lain tuottamaa arvoa ei ole järkevää hyödyntää täysin absoluuttisten arvojen
mallintamiseen, vaan sitä tulisi hyödyntää esimerkiksi osana laajempaa mark-
kina-analyysikonaisuutta.

6.1 Kontribuutio ja rajoitteet

Tutkielman tulosten kontribuutio on ilmeinen. Tulosten osittainen yhteneväisyys
aiempien tutkimustulosten kanssa vahvistaa näkemystä Metcalfen lain ja verkos-
tovaikutuksen merkityksestä lohkoketjuverkkojen arvojen muodostumisessa.
Kuten aihepiirin aiempien tieteellisten tulosten avulla, voi myös tämän tutkiel-
man analyysimenetelmiä hyödyntää osana käytännöllistä lohkoketjumarkkina-
analyysia. Tulosten pohjalta voidaan mahdollisesti rakentaa tarkempia analyysi-
työkaluja sekä niitä voidaan hyödyntää osana suurempaa analyysia. Metcalfen
lain tarkastelua voisi esimerkiksi yhdistää eri jatkoanalyyseissä on-chain-metrii-
kan kanssa. Tätä kautta mallia voisi hyödyntää mahdollisesti lohkoketjumarkki-
noiden sijoittajasentimentin, adaptaation ja esimerkiksi ali- ja yliarvostaneisuu-
den analysoinnissa.

Kun tarkastelemme tutkielman empiirisen analyysin tuloksia, tulee ottaa
huomioon myös eri rajoitteet. Huomioonotettavana asiana testattavissa malleissa
on muuttujien oikeanmukaisuus ja selitettävyyys. Arvoa on vaikea määritellä, sillä
arvonmittarit eivät ole mitenkään standardeja. Tämän vuoksi, esim. inflaation
kannalta tarkasteltavat arvot ovat lähinnä nimellisiä, ei täysin reaaliarvoa kuva-
avia mittareita. Tämän lisäksi, tuloksista emme voi olettaa sitä, vaikuttaako itse
Metcalfen arvo markkina-arvoon vai toisinpäin, sillä korrelaatio ei implikoi kau-
saalisuutta. Esimerkiksi lohkoketjuverkon kasvava markkina-arvo voi itsessään
tuoda uusia käyttäjiä verkkoon, vice versa. Tämän lisäksi tilastollisissa malleissa
ei ole otettu huomioon toisen tason skaalautuvuusratkaisuja, näiden ratkaisujen
käyttäjävolyymeja ja markkina-arvoja.

Näiden lisäksi lohkoketjuverkkojen absoluuttisten arvojen mallintamiseen
tutkimusten tuloksia ei mahdollisesti voida hyödyntää, johtuen esimerkiksi esti-
mointimallien suhteellisen suurista keskivirheistä. On myös kohtuullista olettaa,
että lohkoketjuverkot saavuttavat jossain vaiheessa niiden elinkaartansa tietyn-
laisen saturaatiopisteen, jonka jälkeen verkon uudet solmut eivät tuo verkolle

enempää kokonaisarvoa. Mielestäni on hyvinkin todennäköistä, että verkkojen arvot eivät kasva loputtomiin seuraten verkostovaikutukseen perustuvia lainalaisuuksia.

6.2 Jatkotutkimusaiheet

Tutkielman tulokset ovat hedelmällisiä jatkotutkimusaiheita varten, sillä tilastolliset testit osoittavat verrannollista yhteyttä Metcalfen lain ja lohkoketjuverkkojen markkina-arvon välille. Tämän vuoksi jatkossa Metcalfen lakia kannattaisi tarkastella laajemmalla tarkastelujoukolla sekä sitä tulisi testata enemmän eri ekonometrisia malleja ja työkaluja hyödyntäen. Metcalfen lakia olisi järkevää myös tutkia eri variaatioin, jotta ilmiötä voitaisiin ymmärtää laajemmin ja paremmin. Näiden lisäksi malleihin voitaisiin yhdistää muita selittäviä tekijöitä, joiden avulla voitaisiin nostaa mallien selitettävyyssastetta. Tärkeintä kuitenkin olisi tulevaisuudessa tarkastella tarkemmin muuttujien välisiä kausaalisuhteita, jotta voisimme avata enemmän syy-seuraus-suhteita. Metcalfen lain ja verkostovaikutusten jatkotutkimisen lisäksi, yleisesti myös eri lohkoketjupohjaisten omaisuuserien ja eri valuaatiomenetelmien tutkiminen tulevaisuudessa on enemmän kuin tarpeellista alan kasvaessa. Alan kasvaessa on myös ehdottoman tärkeää, että aihealuetta pyrittäisiin jatkossa popularisoimaan laajalle yleisölle, jotta alaan liittyviä negatiivisia ennakkokäsityksiä pystyttäisiin purkamaan.

LÄHTEET

Alabi, K. (2017) Digital blockchain networks appear to be following Metcalfe's Law. *Electronic Commerce Research and Applications*. Vol 24, 23.

Ang, A., Goetzmann, W. N., & Schaefer, S. M. (2011). *The efficient market theory and evidence: implications for active investment management*. Now Publishers Inc.

Apopo, N., & Phiri, A. (2021). On the (in) efficiency of cryptocurrencies: have they taken daily or weekly random walks?. *Heliyon*, 7(4), e06685.

Awe & Wonder (2018). Introducing... The Bitcoin "MVRV Z" Metric That Predicts Market Tops with 90%+ Accuracy. Haettu 11.11.2021 osoitteesta https://medium.com/@Awe_andWonder/introducing-the-bitcoin-mrv-z-score-metric-that-predicts-market-tops-with-90-accuracy-89d90df043d7

Baur, D. G., Beckmann, J., & Czudaj, R. L. (2020). The relative valuation of gold. *Macroeconomic Dynamics*, 24(6), 1346-1391

Baresa, S., Bogdan, S., & Ivanovic, Z. (2013). Strategy of stock valuation by fundamental analysis. *UTMS Journal of Economics*, 4(1), 45-51.

Binance Academy. (2021) BEP-20. Haettu 29.11.2021 osoitteesta <https://academy.binance.com/en/glossary/bep-20>

Binance Academy. (2022) What Is Proof of Stake (PoS)?. Haettu 16.5.2022 osoitteesta <https://academy.binance.com/en/articles/proof-of-stake-explained>

Briscoe, B., Odlyzko, A., & Tilly, B. (2006). Metcalfe's law is wrong-communications networks increase in value as they add members-but by how much?. *IEEE Spectrum*, 43(7), 34-39.

Chuen, D. L. K., Guo, L., & Wang, Y. (2017). Cryptocurrency: A new investment opportunity?. *The journal of alternative investments*, 20(3), 16-40.

CoinMarketCap (2021). Etusivu. <https://coinmarketcap.com/> haettu 8.12.2021

CoinMarketCap Alexandria. (2021b). Total Value Locked (TVL). Haettu 17.11.2021 osoitteesta <https://coinmarketcap.com/alexandria/glossary/total-value-locked-tvl>

CoinMarketCap Alexandria (2021a). Utility Token. Haettu 29.11.2021 osoitteesta <https://coinmarketcap.com/alexandria/glossary/utility-token>

Cordeiro, N. 2020. Why the Stock-to-Flow Bitcoin Valuation Model is Wrong. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://www.coindesk.com/markets/2020/06/30/why-the-stock-to-flow-bitcoin-valuation-model-is-wrong/>

Corbet, S., Lucey, B., Urquhart, A., & Yarovaya, L. (2019). Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis. *International Review of Financial Analysis*, 62, 182-199.

Damodaran, A. 2006. Valuation approaches and metrics: A survey of the theory and evidence. *Foundations and Trends in Finance*. Vol. 1, No. 8, 693 – 784 (p. 1-2)

Defi Pulse (2021a). Etusivu. haettu 29.11.2021 osoitteesta <https://defipulse.com/>

Defi Pulse (2021b). Maker haettu 29.11.2021 osoitteesta <https://defipulse.com/maker>

Dowling, M. (2021a). Is non-fungible token pricing driven by cryptocurrencies?. *Finance Research Letters*, 102097.

Dowling, M. (2021b). Fertile LAND: Pricing non-fungible tokens. *Finance Research Letters*, 102096.

Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417.

Filecoin (2020). Understanding Filecoin Circulating Supply. Haettu 29.11.2021 osoitteesta <https://filecoin.io/blog/filecoin-circulating-supply/>

Fisch, C. (2019). Initial coin offerings (ICOs) to finance new ventures. *Journal of Business Venturing*, 34(1), 1-22.

GitHub (2021). maticnetwork/whitepaper. Haettu 9.12.2021 osoitteesta <https://github.com/maticnetwork/whitepaper>

Glassnode Academy (2021a). UTXO vs. Account-Based Chains. Haettu 5.12.2021 osoitteesta <https://academy.glassnode.com/concepts/utxo>

Glassnode Academy (2021b). MVRV-Z Score haettu 11.11.2021 osoitteesta <https://academy.glassnode.com/market/mvrv/mvrv-z-score>

Grayscale Research. (2020) Valuing Bitcoin. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://grayscale.com/wp-content/uploads/2021/01/grayscale-valuing-bitcoin-sept-2020.pdf>

Hendler, J., & Golbeck, J. (2008). Metcalfe's law, Web 2.0, and the Semantic Web. *Journal of Web Semantics*, 6(1), 14-20

Humphrey, T. M. (1974). The quantity theory of money: its historical evolution and role in policy debates. *FRB Richmond Economic Review*, 60, 2-19.

Investopedia (2021a). What Drives the Price of Gold? Haettu 22.11.2021 osoitteesta <https://www.investopedia.com/financial-edge/0311/what-drives-the-price-of-gold.aspx>

Investopedia (2021b). Off-Chain Transactions (Cryptocurrency) haettu 4.11.2021 osoitteesta <https://www.investopedia.com/terms/o/offchain-transactions-cryptocurrency.asp>

Jensen, J. R., von Wachter, V., & Ross, O. (2021). How Decentralized is the Governance of Blockchain-based Finance: Empirical Evidence from four Governance Token Distributions. *arXiv preprint arXiv:2102.10096*.

Kalichkin, Dmitry (2018). Rethinking Network Value to Transactions (NVT) Ratio. Haettu 9.12.2021 osoitteesta <https://medium.com/cryptolab/https-medium-com-kalichkinrethinking-nvt-ratio-2cf810df0ab0>

Karjaluoto, H. (2007). *SPSS opas markkinatutkijoille* (No. 344). Jyväskylän yliopisto.

Kranz, J., Nagel, E. and Yoo, Y. (2019) 'Blockchain Token Sale: Economic and Technological Foundations', *Business and Information Systems Engineering*. Springer Gabler, 61(6), pp. 745-753.

Kyriazis, N. A. (2019). A survey on efficiency and profitable trading opportunities in cryptocurrency markets. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(2), 67

Lambert, T., Liebau, D., & Roosenboom, P. (2021). Security token offerings. *Small Business Economics*, 1-27.

Luu, L., Chu, D. H., Olickel, H., Saxena, P., & Hobor, A. (2016, October). Making smart contracts smarter. In *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC conference on computer and communications security* (pp. 254-269).

Mahmudov, M., & Puell, D. (2018). Bitcoin Market-Value-to-Realized-Value (MVRV) Ratio. Haettu 4.11.2021 osoitteesta <https://medium.com/adaptivecapital/bitcoin-market-value-to-realized-value-mvr-v-ratio-3ebc914dbae>

Meynkhart, A. (2019). Fair market value of bitcoin: Halving effect. *Investment Management and Financial Innovations*, 16(4), 72-85.

Merkaš, Z., & Roška, V. (2021). The Impact of Unsystematic Factors on Bitcoin Value. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(11), 546.

Mingxiao, D., Xiaofeng, M., Zhe, Z., Xiangwei, W., & Qijun, C. (2017, October). A review on consensus algorithm of blockchain. In *2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC)* (pp. 2567-2572). IEEE.

Nadler, M., & Schär, F. (2020). Decentralized finance, centralized ownership? an iterative mapping process to measure protocol token distribution. *arXiv preprint arXiv:2012.09306*.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 21260.

Nakamoto, S. (2010, 27. elokuuta). Re: Bitcoin does NOT violate Mises' Regression Theorem. *Bitcoin Forum*. Viesti lähetetty keskustelufoorumille <https://bitcointalk.org/index.php?topic=583.msg11405#msg11405>

Nasdaq (2021). Market-Value-To-Realized-Value (MVRV) Bands. Haettu 9.12.2021 osoitteesta <https://www.nasdaq.com/articles/market-value-to-realized-value-mvrv-bands-2021-10-13>

Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. (2017). Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183-187

Odlyzko, A., & Tilly, B. (2005). A refutation of Metcalfe's Law and a better estimate for the value of networks and network interconnections. *Manuscript, March, 2*, 2005.

Pazos, J. (2018). Valuation of utility tokens based on the quantity theory of money. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(2), 4318.

Peterson, T. 2018. Metcalfe's Law as a Model for Bitcoin's Value. *Alternative Investment Analyst Review* 7 (2018) 9-18

PlanB (2020) Bitcoin Stock-to-Flow Cross Asset Model. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://medium.com/@100trillionUSD/bitcoin-stock-to-flow-cross-asset-model-50d260feed12>

PlanB (2019). Modeling Bitcoin Value with Scarcity. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://medium.com/@100trillionUSD/modeling-bitcoins-value-with-scarcity-91fa0fc03e25>

- Polygon (2021a). Lightpaper Polygon. Haettu 9.12.2021 osoitteesta <https://polygon.technology/lightpaper-polygon.pdf>
- Polygon (2021b) Matic Token. Haettu 9.12.2021 osoitteesta <https://polygon.technology/matic-token/>
- Popescu, A. D. (2021). Non-Fungible Tokens (NFT)–Innovation beyond the craze.
- Ramos, D., & Zanko, G. (2020a). A review of decentralized finance as an application of increasing importance of blockchain technology. *Mobileyour Life*.
- Ramos, D., & Zanko, G. (2020b). A Review of the Current State of Decentralized Finance as a Subsector of the Cryptocurrency Market. *MobileyourLife*. Available at <https://www.mobileyourlife.com/research>.
- Schär, F. (2021). Decentralized finance: On blockchain-and smart contract-based financial markets. *FRB of St. Louis Review*.
- Szabo, N. (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. *First monday*.
- Tahiri, V. (2021) BTC, ETH on-chain analysis: NVT Ratio supports market growth. Haettu 4.11.2021 osoitteesta <https://finance.yahoo.com/news/btc-eth-chain-analysis-nvt-141000791.html>
- Vujičić, D., Jagodić, D., & Randić, S. (2018, March). Blockchain technology, bitcoin, and Ethereum: A brief overview. In *2018 17th international symposium infoteh-jahorina (infoteh)* (pp. 1-6). IEEE.
- Wang, Q., Li, R., Wang, Q., & Chen, S. (2021). Non-fungible token (NFT): Overview, evaluation, opportunities and challenges. *arXiv preprint arXiv:2105.07447*
- Wilcox, J. W., & Fabozzi, F. J. (2013). *Financial Advice and Investment Decisions: A Manifesto for Change* (Vol. 195). John Wiley & Sons. (p. 275-286)
- Woo, W. (2017). Is Bitcoin in A Bubble? Check The NVT Ratio. Haettu 4.11.2021 osoitteesta <https://www.forbes.com/sites/wwoo/2017/09/29/is-bitcoin-in-a-bubble-check-the-nvtratio/#af3a68b6a23f>
- Wood, Gavin. "Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger." 2015; <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>.
- Yoo, C. S. (2015). Moore's law, Metcalfe's law, and the theory of optimal interoperability. *Colorado Technology Law Journal*, 14, 16-7.

Zahmentferner, J. (2018). Chimeric Ledgers: Translating and Unifying UTXO-based and Account-based Cryptocurrencies. *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, 2018, 262

Zhang, X. Z., Liu, J. J., & Xu, Z. W. (2015). Tencent and Facebook data validate Metcalfe's law. *Journal of Computer Science and Technology*, 30(2), 246-251.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.

Zhou, Q., Huang, H., Zheng, Z., & Bian, J. (2020). Solutions to scalability of blockchain: A survey. *IEEE Access*, 8, 16440-16455.

LIITE 1 SELITTÄVÄN MUUTTUJAN LASKUTAPA

VAIHE 1	VAIHE 2	VAIHE 3	VAIHE 4	VAIHE 5
Alkuperäinen raakadata (kerätty coinmetrics.io)	Transformaatio Metcalfen arvoon	Kuukauden keskiarvo	Transformaatio luonnolliseen logaritmiin	1. differenssit
Päivittäisten aktiivisten lohkoketjuosoitteiden lukumäärä N	Päivittäisten aktiivisten lohkoketjuosoitteiden neliö N^2	Päivittäisten Metcalfen arvojen summa jaettuna kuukauden päivien lukumäärällä $A = \frac{a_1 + \dots + a_n}{T}$, jossa A on Metcalfen arvon kuukauden keskiarvo, a on yksittäisen päivän Metcalfen arvo, T on kuukauden päivien lukumäärä	Kuukauden keskiarvon luonnollinen logaritmi $\ln(A)$, jossa A on Metcalfen arvon kuukauden keskiarvo	Kuukauden keskiarvojen välinen muutos $t-1$ $x_t - x_{t-1}$, jossa x_t on kuukauden keskiarvo ajassa t ja x_{t-1} kuukauden keskiarvo ajassa $t-1$

LIITE 2 SELITETTÄVÄN MUUTTUJAN LASKUTAPA

VAIHE 1	VAIHE 2	VAIHE 3	VAIHE 4
Alkuperäinen raakadata (kerätty coinmetrics.io)	Kuukauden keskiarvo	Transformaatio luonnolliseen logaritmiin	1. differenssit
Päivittäiset lohkoketjuverkkojen markkina-arvot M	Päivittäisten markkina-arvojen summa jaettuna kuukauden päivien lukumäärällä $AM = \frac{m_1 + \dots + m_n}{T}$, jossa AM on markkina-arvojen kuukauden keskiarvo, m on yksittäisen päivän markkina-arvo, T on kuukauden päivien lukumäärä	Kuukauden keskiarvon luonnollinen logaritmi $Ln(AM)$, jossa AM on markkina-arvon kuukauden keskiarvo	Kuukauden keskiarvojen välinen muutos t-1 $x_t - x_{t-1}$, jossa x_t on kuukauden keskiarvo ajassa t ja x_{t-1} kuukauden keskiarvo ajassa t-1

LIITE 3 REGRESSIOANALYYSIEN TULOSTEET

SUMMARY OUTPUT: BITCOIN								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.739962032							
R Square	0.547543809							
Adjusted R Square	0.544216925							
Standard Error	0.213559003							
Observations	138							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	7.506146	7.506146	164.5816	3.4818E-25			
Residual	136	6.202613	0.045607					
Total	137	13.70876						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.035512113	0.019051	1.864097	0.064464	-0.0021615	0.073186	-0.00216	0.073186
X variable 1	0.713575886	0.055622	12.82894	3.48E-25	0.60357926	0.823573	0.603579	0.823573

SUMMARY OUTPUT: ETHEREUM								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.709418109							
R Square	0.503274054							
Adjusted R Square	0.495131006							
Standard Error	0.225501536							
Observations	63							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	3.142798522	3.142799	61.80413	7.61365E-11			
Residual	61	3.101907513	0.050851					
Total	62	6.244706035						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.033972863	0.029575196	1.148694	0.255166	-0.025166397	0.093112	-0.025166	0.093112
X Variable 1	0.56521692	0.071896275	7.861561	7.61E-11	0.421451433	0.708982	0.421451	0.708982

SUMMARY OUTPUT: CARDANO								
Regression Statistics								
Multiple R	0.548739213							
R Square	0.301114723							
Adjusted R Square	0.286851759							
Standard Error	0.290640064							
Observations	51							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	1.783336	1.783336	21.11165	3.0566E-05			
Residual	49	4.139111	0.084472					
Total	50	5.922447						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-0.00485737	0.041131	-0.118096	0.906474	-0.087512246	0.077798	-0.087512	0.077798
X Variable	0.272918108	0.059398	4.594742	3.06E-05	0.153553512	0.392283	0.153554	0.392283

SUMMARY OUTPUT: NEO								
Regression Statistics								
Multiple R	0.69539							
R Square	0.483567							
Adjusted R Square	0.473823							
Standard Error	0.222766							
Observations	55							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	2.462717	2.462717	49.62704	3.82231E-09			
Residual	53	2.630098	0.049624					
Total	54	5.092815						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.030254	0.030484	0.992462	0.325482	-0.030888722	0.091397	-0.030889	0.091397
X Variable 1	0.3889	0.055205	7.044646	3.82E-09	0.278172524	0.499627	0.278173	0.499627