

Matilda Mäkitalo

**LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN SOVELLUSMAHDOL-
LISUUDET TOIMITUSKETJUN JÄLJITTÄMISESSÄ**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2020

TIIVISTELMÄ

Mäkitalo, Matilda

Lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuudet toimitusketjun jäljittämisessä

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 30 s.

Tietojärjestelmätiede, Kandidaatintutkielma

Ohjaaja(t): Seppänen, Ville

Tutkielmassa syvennytään lohkoketjuteknologiaan ja tarkastellaan sen sovellusmahdollisuuksia toimitusketjun jäljittämisessä. Lohkoketjuteknologia on kohtalaisen tuore teknologinen innovaatio, joka on tullut tunnetuksi finanssialalla kryptovaluutta Bitcoinin kautta. Lohkoketjuteknologia uutena innovaationa on kerännyt kiinnostusta laajasti eri aloilla ja tässä tutkielmassa käsitellään lohkoketjuteknologian sovelluksia logistiikan alalla, toimitusketjujen jäljittämisessä. Toimitusketjut ja niiden hallinta ovat kohdanneet useita haasteita tuotannon globalisaation myötä, erityisesti puutteellisen päästä päähän jäljitettävyyden sekä informaation asymmetrian kohdalla. Näihin haasteisiin toimivana ratkaisuna voidaan nähdä lohkoketjuteknologia sen avainten: tiedon muuttumattomuuden, läpinäkyvyyden sekä hajautettavuuden ansiosta. Tämän tutkielman tarkoituksena on kartoittaa toimitusketjun jäljittämisen mahdollistavien lohkoketjuteknologian sovelluksien nykytilaa, mahdollisia haasteita sekä tulevaisuuden näkymiä kolmella valitulla teollisuuden alalla. Tutkielma on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena, jossa tieteellisen tutkimuksen kriteerit täyttävää aineistoa on lähdetty etsimään määritellyin hakusanoin valituista tietokannoista.

Asiasanat: lohkoketjut, toimitusketju, sovellus, Bitcoin, jäljitettävyyden

ABSTRACT

Mäkitalo, Matilda

Blockchain technology applications in supply chain traceability

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 30 pp.

Information Systems, Bachelors thesis

Supervisor(s): Seppänen, Ville

This bachelor's thesis delves into blockchain technology and examines its application possibilities in supply chain traceability. Blockchain technology is moderately recent technological innovation that has become known in the financial industry through cryptocurrency Bitcoin. Blockchain technology as a new innovation has gained a lot of interest in various fields and this thesis discusses the applications of blockchain technology in the fieldworker of logistics, more specifically supply chain traceability. Supply chains and supply chain management have faced a number of challenges due to the globalization of production, and in particular the lack of end-to-end traceability and information asymmetry. Blockchain technology is seen as a workable solution to these challenges due to its key advantages: immutability, transparency and decentralization of information. The purpose of this thesis is to map the current state, potential challenges and future prospects of supply chain traceability through blockchain applications in three selected industries. This thesis is implemented as a systematic literature review, in which the material that meets the criteria of scientific research has been searched for in the selected databases with defined keywords.

Keywords: blockchain, supply chain, application, Bitcoin, traceability

KUVIOT

KUVIO 1 Lähdeaineiston valintaprosessin vaiheet.....	7
KUVIO 2 Pelkistetty esimerkki lohkoketjun rakenteesta	10
KUVIO 3 Keskitetyn (vasen) ja hajautetun (oikea) verkoston erot.....	11
KUVIO 4 Erityyppisiä toimitusketjuja.....	17
KUVIO 5 Toimitusketjun jäljitettävyyden toiminnallinen viitekehys.....	21

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Erilaisten lohkoketjujen vertailua mukaillen Zeng ym. (2018)..	13
---	----

SISÄLLYS

ABSTRACT	3
KUVIOT	4
TAULUKOT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 LOHKOKETJU.....	9
2.1 Lohkoketjun määritelmä.....	9
2.2 Lohkoketjun ominaisuudet	10
2.3 Julkiset, yksityiset ja luvanvaraiset lohkoketjut.....	12
2.4 Lohkoketjun haasteet	14
3 TOIMITUSKETJUN HALLINTA.....	16
3.1 Toimitusketjun hallinta käsitteenä	16
3.2 Toimitusketju ja sen ominaisuudet	16
3.3 Toimitusketjun hallinnan haasteita.....	18
4 LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN SOVELLUSMAHDOLLISUUDET TOIMITUSKETJUN JÄJITTÄMISESSÄ.....	19
4.1 Lohkoketju ratkaisuna toimitusketjun haasteisiin.....	19
4.2 Elintarviketeollisuus.....	22
4.3 Lääketeollisuus.....	23
4.4 Tekstiiliteollisuus	24
5 YHTEENVETO	25
LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

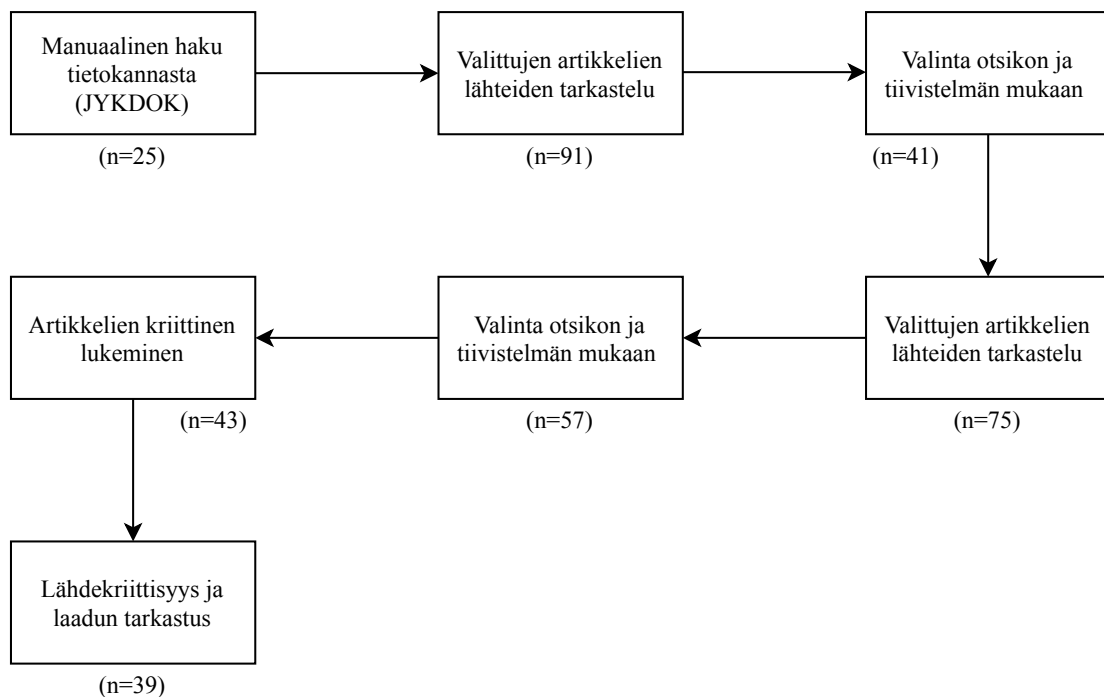
Lohkoketjuteknologia (engl. blockchain technology) on viime vuosina yhä enemmän suosiota saavuttanut teknologinen innovaatio, joka perustuu hajautettuun tilikirjaan. Vertaisverkossa toimiville lohkoketjuille ominaista on datan läpinäkyvyys, anonyymiys, jatkuvuus sekä tarkastettavuus. Suurimman muutoksen lohkoketjuteknologia on saanut aikaan finanssialalla, josta tunnetuimpana esimerkkinä on lohkoketjuun perustuva kryptovaluutta eli kryptografiaan perustuva digitaalinen valuutta nimeltään Bitcoin. Bitcoin esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 2008 ja julkaistiin toimivana kryptovaluuttana vuonna 2009 (Nakamoto 2008). Bitcoin käynnisti kryptovaluuttojen kukoistuskauden ja viimeisen 10 vuoden aikana on kehitetty tuhansia uusia kryptovaluuttoja joiden määrä on jatkuvassa kasvussa. Lohkoketjuteknologian sovellukset ovat laajentuneet useille eri aloille ja tässä kandidaatintutkielmassa käsittelen lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuuksia logistiikan osa-alueella, toimitusketjun jäljittämässä.

Lohkoketjuteknologian sovelluskohteet laajenevat jatkuvasti ja kysyntä lohkoketjuja hyödyntäville innovaatioille on kasvanut huomattavasti viime vuosina (Honkanen, 2017). Läpinäkyvyys, eettisyys, vastuullisuus sekä luotettavuus ovat tänä päivänä tärkeässä roolissa ja loppukäyttäjät ovat aidosti kiinnostuneita toimitusketjun eri vaiheista. Toimitusketjun jäljitettävyyden mahdollistaa yritykselle todistettavasti vastuullisen toimitusketjun tuotteen matkasta raaka-aineiden tuotannosta kivijalkaliikkeeseen. Toimitusketjut sisältävät useita organisaatioita sekä yksittäisiä toimijoita ja informaation kulkeminen läpi toimitusketjun on todella tärkeässä asemassa.

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastelen lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuuksia toimitusketjun jäljittämiseen tekstiili-, lääke- sekä elintarviketeollisuudessa. Käsittelen toimitusketjun jäljitettävyyttä yritykseltä asiakkaalle näkökulmasta. Tutkimuskysymykseeni liittyviä tärkeitä teemoja ovat läpinäkyvyys, luotettavuus, eettisyys sekä teknologian sovellettavuus. Tutkielmassani pyritään vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen:

- Miten lohkoketjuteknologiaa voidaan soveltaa toimitusketjun jäljittämisessä?

Tämän kandidaatintutkielman tutkimusmenetelmä on systemaattinen kirjallisuuskatsaus, jossa tutkimusaineiston aineisto-otantaa voidaan kuvailla lumi-pallo-otannaksi. Aineisto-otannan prosessin eteneminen on havainnollistettu kuviossa 1. Tutkimusaineistoa on kerätty systemaattisesti määritellyillä hakusanoilla valituista tietokannoista, jonka jälkeen lisääaineistoa on kerätty valittujen tutkimusartikkelien lähteistä. Ensisijainen tietokanta tutkielman lähteille oli JYKDOK, jossa hakuehtona on ollut vertaisarvioidut tutkimusartikkelit. Lähdeaineistoa on etsitty seuraavilla hakusanoilla ja hakusanayhdistelmillä: "supply chain blockchain", "blockchain traceability", "blockchain", "supply chain management", "blockchain food", "blockchain textile", "blockchain pharmaceutical". Hakusanat ja hakusanayhdistelmät muodostettiin tavalla, joka mahdollistaa lähdeaineiston soveltamisen tämän tutkielman sovelluskohteisiin. Hakusanat esitettiin englanniksi, sillä aiheen tutkimusaineistot ovat pääosin englanninkielisiä. Lopulliset lähteet on valittu tutkimusartikkelien kriittisen tarkastelun, analysoinnin sekä tutkimusongelmaan sopivuuden perusteella.



KUVIO 1 Lähdeaineiston valintaprosessin vaiheet

Aiheen kokoava tutkimus on tärkeää, sillä sen avulla voidaan kartoittaa lohkoketjupohjaisten sovellusten nykytilannetta käsiteltävien alojen toimitusketjuissa. Erityisesti määrällinen tutkimus lohkoketjuteknologian tuomista eduista sekä käyttöönoton haasteista toimitusketjun hallinnan näkökulmasta tulisi toteuttaa (Blossey, Eisenhardt & Hahn, 2019). Myös Köhler ja Pizzol (2020) esittävät, että lohkoketjun sovellusta toimitusketjun hallinnassa tulisi tutkia erilaisissa toimitusketjuissa sekä eri teollisuuden aloilla laadullisin menetelmin.

Tutkielman tarkoituksena on myös kartoittaa lohkoketjuteknologiaan pohjautuvien sovellusten nykytila toimitusketjun hallinnan työkaluna, sekä selvittää ja koota nykyisiä haasteita näiden sovellusten toiminnassa. Tutkielman tavoitteena on myös tunnistaa yhtäläisyyksiä sekä erilaisuuksia lohkoketjusovelluksissa eri teollisuuden alojen välillä.

Tutkielman ensimmäisessä luvussa käsitellään lohkoketjua, sen ominaisuuksia sekä lohkoketjuteknologian hyötyjä ja haasteita tieteellisiin lähteisiin pohjautuen. Toisessa luvussa käsitellään toimitusketjua käsitteenä, sen ominaisuuksia sekä toimitusketjuun liittyviä haasteita ja puutteita tänä päivänä. Kolmas kappale käsittelee tutkimuskysymystä, eli lohkoketjuteknologian sovellusta toimitusketjun jäljittämiseen kolmella valitsemallani teollisuuden alalla, jotka ovat ruoka-, lääke-, ja tekstiiliteollisuus. Kirjallisuuskatsaus päättyy yhteenvetoon, jossa esille nousseet havainnot ja tulokset tuodaan esiin.

2 LOHKOKETJU

Tämän luvun tarkoituksena on tarkastella lohkoketjua käsitteenä ja esitellä lohkoketjuille olennaisimpia ominaisuuksia. Lisäksi tässä luvussa esitellään ja vertaillaan julkisia, yksityisiä ja luvanvaraisia lohkoketjuja sekä esitellään yleisimpiä lohkoketjujen haasteita.

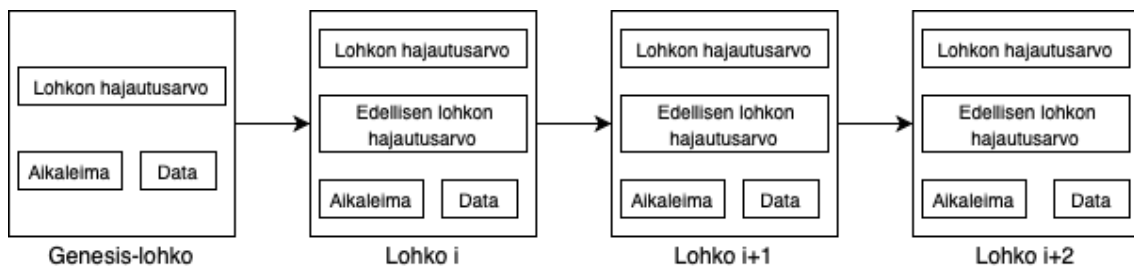
2.1 Lohkoketjun määritelmä

Lohkoketjuteknologialla (eng. blockchain, blockchain technology) tarkoitetaan tekniikkaa, joka on vertaisverkon (P2P, engl. peer to peer) avulla toimiva hajautettu, avoin ja useiden tietokoneiden verkkoon kryptografisesti verkotettu tietokanta. Nimensä mukaisesti lohkoketju koostuu yhteenliitetyistä lohkoista. Lohkoketju on siis teknologiaan perustuva digitaalinen tilikirja. Tilikirja koostuu siihen tallennetuista transaktioista. Transaktioita voivat olla arvon siirtäminen esimerkiksi tuotteena, palveluna tai valuuttana. Tilikirjan voi tallentaa paperille, taulukkoihin tai tietokantaan, kuten lohkoketjuun. Lohkoketju on siis digitaalinen tilikirja, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat hajautettavuus sekä muuttumattomuus. Kun transaktio on tallennettu lohkoketjuun, on lohkokantaan tallennettua dataa lähes mahdotonta muuttaa. (Benton & Radziwill, 2017.) Käytännössä lohkoketju toimii seuraavalla tavalla: lohkoketjun jäsen luo kyselyn transaktiosta, transaktio esitetään lohkoketjun yksittäisenä lohkona ja tämä lohko lähetetään jokaiselle vertaisverkon jäsenelle. Vertaisverkko joko hyväksyy tai hylkää lohkon konsensusmekanismien avulla. Jos transaktio on hyväksytty, lisätään tätä kuvaava lohko lohkoketjuun ja tämän jälkeen transaktio voidaan hyväksytysti toteuttaa. Lohkoketjujen teknologia on lähtöisin pseudonyymi Nakamoto Sakamoto kehittämästä digitaalisesta valuutasta Bitcoinista. Lohkoketjuteknologia ja Bitcoin eivät kuitenkaan ole synonyymejä, vaan lohkoketjusovellusten juuret ovat siinä teknologiassa, jota Bitcoin hyödyntää (Honkanen, 2017). Nakamoto (2008) erittelee lohkoketjun vertaisverkon toiminnan kuuteen vaiheeseen, jotka ovat:

- Uusi transaktio lähetetään vertaisverkon jokaiselle jäsenelle eli solmulle.
- Jokainen vertaisverkon jäsen kokoaa uusista transaktioista lohkon.
- Jokainen jäsen pyrkii löytämään ratkaisun työntodisteen avulla lohkolle.
- Kun solmu löytää ratkaisun, tämä jakaa lohkon kaikille vertaisverkon jäsenille.
- Vertaisverkon jäsenet hyväksyvät lohkon, jos sen sisältämät transaktiot ovat oikeellisia ja kyseisiä Bitcoineja ei ole jo käytetty.
- Jäsenet esittävät hyväksyntänsä luomalla tämän lohkon perään uuden lohkon, johon edellisen jo hyväksytyyn lohkon tiiviste eli hajautusarvo lisätään.

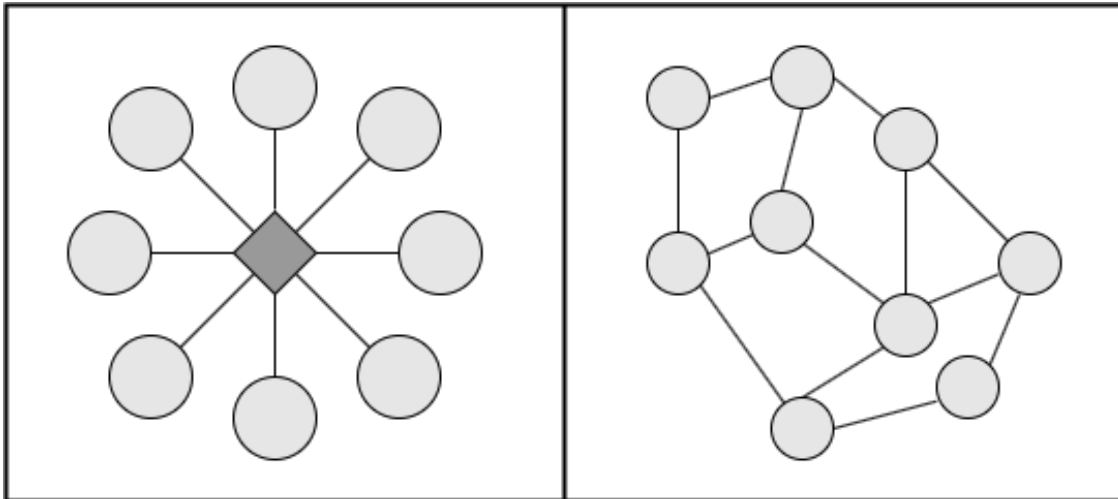
2.2 Lohkoketjun ominaisuudet

Lohkoketjuille ominaista on tallennetun datan läpinäkyvyys ja pysyvyys, vertaisverkon kaikkiin tietokoneisiin hajautettu pääkirja eli logi ja tallennetun datan aikaleimaus (Honkanen, 2017). Lohkoketju on hajautettu, läpinäkyvä, avoimeen lähdekoodiin perustuva, autonominen, muuttumaton ja anonyymi. Nämä edellä mainitut ominaisuudet ovat lohkaketjun kuusi keskeisintä ominaispiirrettä. Kuviossa 2 on havainnollistettuna lohkaketjun rakenne ja sisältö. Jokainen lohkaketjun lohko sisältää tallennetun datan, lohkon hajautusarvon (eng. hash value), edellisen lohkon hajautusarvon ja aikaleiman. (Lin & Liao, 2017.) Tästä poikkeuksena on lohkaketjun ensimmäinen lohko eli Genesis-lohko.



KUVIO 2 Pelkistetty esimerkki lohkaketjun rakenteesta

Julkiset lohkaketjut toimivat hajautetussa verkostossa, jonka eri jäsenet eli solmut (engl. node) ovat vuorovaikutuksessa keskenään ilman niin sanottua luotettavaa välikäyttäjä tai kolmatta osapuolta. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa siis transaktiot kahden toimijan välillä ilman luotettavaa kolmannen osapuolen toimijaa vertaisverkon konsensusmekanismien avulla. Kuviossa 3 on havainnollistettu keskitetyn ja hajautetun verkoston eroja. Vertaisverkon jäsenet muodostavat luottamuksen keskenään konsensusmekanismien avulla, joita käsitellään tarkemmin myöhemmin. Vertaisverkon avulla lohkaketju toimii autonomisesti eikä riipu yksittäisen tahon ylläpidosta, joka on kallis ylläpitää sekä voi keskuspalvelimen ruuhkautuessa aiheuttaa pullonkaulaefektin. (Zheng, Xie, Dai, Chen & Wang, 2018.)



KUVIO 3 Keskitetyn (vasen) ja hajautetun (oikea) verkoston erot

Lohkoketjuihin tallennettua dataa on lähes mahdotonta muuttaa. Muuttumattomuus on yksi lohkoketjujen tärkeimmistä ominaisuuksista. Vertaisverkkoon perustuva lohkoketju on hajautettu jokaisen vertaisverkon jäsenen tietokoneelle ja jokaisella on identtinen kopio lohkoketjusta. Bentonin ja Radziwillin (2017) mukaan olisi käytännössä mahdotonta muuttaa jokaista lohkoketjun kopiota, jotta väärennetty transaktio tai jo tallennetun lohkoketjun muuntelu olisi mahdollista. Lohkoketjun lohkot ovat linkittyneitä toisiinsa ensimmäisestä eli Genesis-lohkosta alkaen. Jos yhtä lohkoketjun lohkoa muuttaa, mitätoi se kaikki tätä lohkoa seuraavat lohkot. Lohkon muuttuessa muuttuu myös lohkon hajautusarvo. Hajautusarvo (engl. hash value) on vakioittainen merkkijono, jonka luomiseen käytetään algoritmia, joka laskee jokaiselle lohkolle uniikin hajautusarvon lohkon sisältämästä datasta (Wang, Shen, Li, Shao & Yang, 2019). Lohkoketjun muodostavat lohkot ovat linkitetty yhteen siten, että jokainen lohkoketjun lohko sisältää oman hajautusarvonsa, sekä edellisen lohkon hajautusarvon.

Anonyyminen on yksi lohkoketjun tärkeimmistä ominaisuuksista, sillä lohkoketjun jäsenten henkilötietoja ei kirjata sellaisenaan lohkoketjuun. Lohkoketju toimii hajautetussa vertaisverkossa, joten vertaisverkon jäsenten tietoja ei ole säilyssä yksittäisellä hallitsevalla taholla, kuten pankilla tai valtiolla. Tämän vuoksi lohkoketjun jäsenillä on yksi tai useampi luotu osoite käytössään, jonka kautta jäsen voi olla vuorovaikutuksessa lohkoketjun kanssa. Luotujen osoitteiden kautta jäsenien henkilöllisyys säilyy turvassa, mutta tämä ei kuitenkaan takaa täyttä anonyymiyttä. (Zheng ym., 2018.) Lohkojen sisältämä data on salattu kryptografisesti julkisen avaimen (engl. public key) avulla. Jokaisella lohkoketjun jäsenellä on yksilöidyt julkinen ja yksityinen avain. Julkinen avain jaetaan muille vertaisverkon jäsenille ja tämän avulla on mahdollista salata transaktioita, jotka kohdennettu vastaanottaja voi purkaa käyttämällä yksilöityä julkista ja yksityistä avainta. Käyttäjän avaimilla voidaan myös allekirjoittaa digitaalisesti tehtyjä transaktioita tai sopimuksia. Lohkon digitaaliseen allekirjoitukseen vaikuttaa käyttäjän avainparin lisäksi myös edellisen kirjatun lohkon digitaalinen allekirjoitus. (Benton & Radziwill, 2017.)

Lohkoketjuun lisättävät lohkot varmistetaan oikeellisiksi vertaisverkon konsensusmekanismin avulla. Lohkoketjuteknologian käytössä oleva konsensusmekanismi perustuu bysanttilaisten kenraalien ongelmaan (engl. Byzantine Generals Problem), joka tunnetaan myös nimellä bysanttilaisen kenraalin ongelma (Lamport, Shostak & Pease, 1982). Ongelmassa bysanttilaisen armeijan muutama osasto on leirytnyt eri puolille viholliskaupunkia ympäröivää aluetta, jokaisesta joukkueesta on vastuussa yksi kenraali. Kenraalit voivat kommunikoida ainoastaan viestinviejän välityksellä, ja heidän tulisi päättää yhdessä hyökkäävätkö vai perääntyvätkö he. On mahdollista, että kenraalien joukossa on pettureita, jotka lähettävät virheellistä tietoa muille kenraaleille. Hajautetussa vertaisverkossa on sama ongelma, sillä verkko toimii ilman luotettavaa kolmatta osapuolta. Lohkoketjun oikeellisuudesta täytyy tulla varmuus ja tämän vuoksi lohkoketjujen autonomisuuden takaa konsensusmekanismit, jonka avulla vertaisverkon solmujen välille luodaan luottamus. Lohkoketjusovellusten käytössä olevista konsensusmekanismeista tunnetuimmat ovat työntodiste (engl. proof of work) ja varantodiste (engl. proof of stake). Nakamoton (2008) luoma kryptovaluutta Bitcoin käyttää vertaisverkon luottamuksen luomiseen konsensusmekanismina työntodistetta. Työntodisteessa hyödynnetään louhimista, eli monimutkaisten laskutoimitusten ratkaisua riittävällä CPU eli tietokoneproessorin tehoilla (Nakamoto, 2008). Varantodiste taas pohjautuu riittäviin panoksiin, antamalla arvotulle sidosryhmälle (engl. stake-holder) valta päivittää lohkoketju (Saleh, 2018).

2.3 Julkiset, yksityiset ja luvanvaraiset lohkoketjut

Lohkoketjut voidaan luokitella kolmeen luokkaan: julkisiin, yksityisiin ja luvanvaraisiin lohkoketjuihin (Honkanen, 2017). Näitä kolmea erityyppistä lohkoketjua käytetään riippuen käyttötarkoituksesta, sovellusalasta, käyttäjämäärästä sekä mahdollisesta hallitsevasta organisaatiosta. Yksityiset ja luvanvaraiset lohkoketjut ovat useimmissa tapauksissa organisaation sisäisiin toimintoihin sovellettuja tai finanssialan perinteisten yritysten sovelluksia, joissa he pyrkivät ylläpitämään asemaansa luotettavana välikätenä transaktioiden välillä. (Butler, 2015.) Näiden kolmen lohkoketjutyypin eroja on kuvattu Taulukossa 1.

Julkinen lohkoketju on täysin avoin ja vertaisverkon kautta hajautettu tili-kirja. Julkisen lohkoketjun konsensuksen määrittämiseen voi osallistua jokainen vertaisverkon jäsen (Zheng ym., 2018). Kuka tahansa voi lähettää julkisen lohkoketjun kautta transaktioita, olla mukana konsensusprosessissa ja olla osa vertaisverkkoa. Julkisessa lohkoketjussa voi olla miljoonia jäseniä ja kopio lohkoketjusta lähetetään jokaisen hajautetun vertaisverkon jäsenen tietokoneelle. Tämä tekee lohkoketjun väärentämisestä ja muuttamisesta käytännössä mahdotonta. Konsensusmekanismina julkinen lohkoketju hyödyntää yleisesti työntodistetta tai varantodistetta, joka tekee konsensusprosessista pidemmän ja tehottomamman prosessin verrattuna yksityisen ja luvanvaraisen lohkoketjun

konsensusprosessiin. (Butler, 2015.) Julkisen lohkoketjun kaikki transaktiot ovat mahdollista tarkistaa sen logista eli tilikirjasta. Transaktioiden sisältö ei ole lähtökohtaisesti julkista, vaan sen tietosisällön julkisuutta hallinnoi lohkon julkisuuden määrittävän avaimen eli tiivisteen haltija (Honkanen, 2017).

Yksityinen lohkoketju on ensisijaisesti tarkoitettu organisaation sisäisiin toimintoihin, jolloin luottamus on alkuoletuksen mukaan sisäänrakennettu (Honkanen, 2018). Yksityinen lohkoketju ja sen kirjoitusluvut on rajoitettu tietyn organisaation sisälle. Lohkoketjun haltija voi kuitenkin määrittää sen avoimuuden, joka voi olla avoin kuten julkinen lohkoketju tai rajoitettu vain määritellylle yleisölle. (Butler, 2015.) Yksityisen lohkoketjun konsensuksen määrittää yksinomaan verkonhaltija, joka tekee päätösprosessista huomattavasti tehokkaamman verrattuna kokonaisen vertaisverkon konsensusprosessiin. Keskitetty valta lohkoketjun konsensuksesta aiheuttaa sen, että lohkoketjua on mahdollista muuttaa ja vääristää. (Zheng ym., 2018.)

Luvanvaraiset lohkoketjut sisältävät piirteitä sekä julkisista, että yksityisistä lohkoketjuista. Luvanvaraiset lohkoketjut eroavat julkisista lohkoketjuista kahdella tavalla. Lohkoketjuun osallistuminen on luvanvaraista, joka voi olla lupa osallistua konsensuksen luomiseen tai lupa luoda transaktioita tai älysoitmuksia lohkoketjun sisällä. (Honkanen, 2017.) Luvanvaraisen lohkoketjun konsensusprosessiin osallistuu ennalta määritellyt osittain hajautetun verkoston jäsenet. Luvanvaraisten lohkoketjujen näkyvyys voidaan määritellä joko rajatuksi valitulle joukolle tai julkiseksi. (Butler, 2015.) Luvanvaraisen lohkoketjun päätösprosessi on julkista lohkoketjua tehokkaampi, mutta yksityisen lohkoketjun tapaan luvanvaraisen lohkoketjun sisältöä on helpompi muuttaa ja väärentää verrattuna julkiseen lohkoketjuun (Zheng ym., 2018).

TAULUKKO 1 Erilaisten lohkoketjujen vertailua mukaillen Zheng ym. (2018).

Ominaisuus	Julkinen lohkoketju	Yksityinen lohkoketju	Luvanvarainen lohkoketju
Verkoston tyyppi	Hajautettu	Keskitetty	Osittain keskitetty
Konsensuksen määrittää	Vertaisverkon kaikki jäsenet	Verkon haltija	Valitut jäsenet
Avoimuus	Julkinen	Valinnan mukaan julkinen tai rajoitettu	Valinnan mukaan julkinen tai rajoitettu
Datan muuttomattomuus	Lähes mahdotonta muuttaa	Mahdollista muuttaa.	Mahdollista muuttaa.
Tehokkuus	Matala	Korkea	Korkea
Konsensusprosessi	Avoin kaikille	Luvanvarainen	Luvanvarainen

Tämän perusteella voidaan todeta, että julkiset, yksityiset ja luvanvaraiset lohkoketjut ovat luotu erilaisia käyttötarkoituksia varten. Julkisten lohkoketjujen vertaisverkot laajenevat jatkuvasti. Useat julkiset lohkoketjut kätkevät taakseen aktiivisen yhteisön, kuten kryptovaluutta Bitcoinin taustalla toimiva hajautettu vertaisverkko. Luvanvaraiset lohkoketjut mahdollistavat organisaatioille esimerkiksi useamman organisaation yhteisen tietokannan, kun taas yksityiset lohkoketjut tarjoavat organisaation sisäisen tietokantaratkaisun.

2.4 Lohkoketjun haasteet

Lohkoketjuteknologiaan liitetyt tärkeimmät ominaisuudet ovat anonymiys, hajauttavuus, muuttumattomuus, vertaisverkko sekä avoimuus. Nämä edellä mainitut ominaisuudet ovatkin suurimpia hyötyjä lohkoketjuteknologian soveltamisessa käytäntöön. Lohkoketjuteknologian laajempaan käyttöön liittyy myös suuri määrä haasteita. Kolme suurinta haastetta, jotka esittelen tässä kappaleessa ovat lohkoketjuteknologian haasteet skaalautuvuudessa, 51%-hyökkäys sekä työntodiste konsensusprosessin korkea energiankulutus.

Lohkoketjun koko kasvaa jokaisen transaktion mukana, joka tarkoittaa, että julkisen lohkoketjun vertaisverkon jäseniltä vaaditaan yhä suurempaa tallennustilaa lohkoketjun kopion tallentamiseen (Zheng ym., 2018). Bitcoin-lohkoketjun koko on tällä hetkellä noin 140GB (Bitcoin.com, 2020). Bitcoin-lohkoketjun suorituskyky transaktioiden validoimiseen on noin seitsemän transaktiota sekunnissa, joka tarkoittaa, että miljoonia transaktioita on mahdotonta käsitellä reaaliajassa. Transaktioiden validoimisen nopeuteen vaikuttaa myös transaktion arvo, sillä Bitcoin-louhijat haluavat käsitellä ensimmäisenä transaktiot, jossa on suurempi välityspalkkio. Tällä hetkellä Bitcoin-lohkoketjun lohkojen koko sekä aikaraja uuden lohko luomiseen on rajattu, joka hidastavat lohkoketjun muodostumista. (Zheng ym., 2018.) Honkasen (2017) mukaan suurimmat haasteet lohkoketjuteknologian skaalautuvuudelle luo hajauttaminen, muuttumattomuus, väärentämättömyys, lohkoketjun koko ja lohkoketjun tai tilikirjan jatkuva tallentaminen. Näistä voidaan päätellä, että laajempien lohkoketjuun pohjautuvien sovellusten tulisi tutkia mahdollisia ratkaisuja skaalautuvuuden ongelmaan, jotta sovellusten laajempi tehokas käyttö olisi mahdollista.

Toinen käsiteltävä haaste on enemmistön hyökkäys eli 51%-hyökkäys, joka tarkoittaa hyökkäystä, jossa hyökkäävä taho saa puolelleen yli puolet lohkoketjun verkostosta. Tällöin lohkoketjun väärentäminen ja jo olemassa olevien lohkojen muuttaminen on mahdollista. Kun yli puolet verkostosta on hyökkäävän tahon puolella, on mahdollista saavuttaa konsensus virheellisten transaktioiden ja muutosten pohjalta. Linin ja Liaon (2017) mukaan työntodistetta käyttävän lohkoketjun kuten Bitcoin-lohkoketjun tapauksessa hyökkäävällä taholla tulisi olla käytössään yli puolet verkoston laskentatehosta (engl. computing power), jotta heidän on mahdollista hallita lohkoketjun muutoksia. 51%-hyökkäyksessä hyökkääjä voi kirjata lohkoketjun jokaisen lohkon uudelleen ja näin kumota lohkoketjun muuttumattomuuden, joka on yksi lohkoketjun merkittävimmistä ominaisuuksista (Shrestha, 2019).

Kolmas ja viimeinen tässä tutkielmassa käsiteltävä lohkoketjuteknologian haaste on etenkin työntodiste konsensusprosessin energiankulutus. Kryptovaluutta Bitcoinin konsensusprosessissa käytetty työntodiste menetelmä perustuu tietokoneen prosessoreiden suorittamiin monimutkaisiin laskutoimituksiin. Bitcoinin hiilijalanjälki on moninkertainen verrattuna muihin globaaleihin ei-käteispohjaisiin transaktioihin (Mora ym., 2018). Moran ym. (2018) mukaan Bitcoinin käyttölaajuuden kasvaessa nykyisten ennusteiden mukaisesti, voi sen luoma sähkön kysynnän kasvu aiheuttaa 2° C globaalien lämmön nousun. Pariisin ilmasopimuksessa 176 valtion johtajat ovat sitoutuneet noudattamaan tiettyjä

rajoitteita, jotta ilmaston lämpötila ei yltäisi 2° C nousua, jolla olisi merkittäviä muutoksia ympäristöön (United Nations, 2015). O'Dwyerin ja Malonen (2014) mukaan Bitcoinin energiankulutus kokonaisuudessaan on ollut verrattavissa Irlannin energiankulutukseen jo vuonna 2014. Tästä voimme päätellä, että työntödiste konsensusprosessi ei ole laajemmassa käytössä kuluiltaan tehokas tai vastuullinen tapa saavuttaa konsensusta lohkoketjun sisällä.

Lin ja Liao (2017) esittelevät tutkimusartikkelissaan edellä mainittujen haasteiden lisäksi haarauma ongelman (engl. fork problem), lohkoketjun datan aikavahvistuksen, nykyisiin säännöksiin liittyvät haasteet sekä lohkoketjun integroinnin kustannushaasteet. Zheng ym. (2018) nostavat tutkimuksessaan esille edellä mainittujen haasteiden lisäksi myös yksityisyyteen liittyvät ongelmat sekä itsekkään louhimisen (engl. selfish mining). Näistä tutkimuksista voimme todeta, että lohkoketjuteknologia on edelleen kohtalaisen tuore innovaatio, jonka esiin nousseet ongelmat on mahdollista ratkaista tulevaisuuden tutkimuksilla.

3 TOIMITUSKETJUN HALLINTA

Toimitusketju ja sen hallinta on tänä päivänä yksi tärkeimmistä organisaation toiminnoista. Toimitusketjun tehokas ja perusteellinen hallinta voi parantaa organisaation kustannustehokkuutta ja yleistä tuottavuutta. Organisaatiot pyrkivätkin saavuttamaan kilpailuetua tehostamalla organisaation ydinprosesseja, kuten logistiikan toimintoja. Tässä luvussa käsitellään lyhyesti toimitusketjun hallintaa, esitellään toimitusketju käsitteenä sekä eritellään toimitusketjun hallintaan liittyviä haasteita tänä päivänä.

3.1 Toimitusketjun hallinta käsitteenä

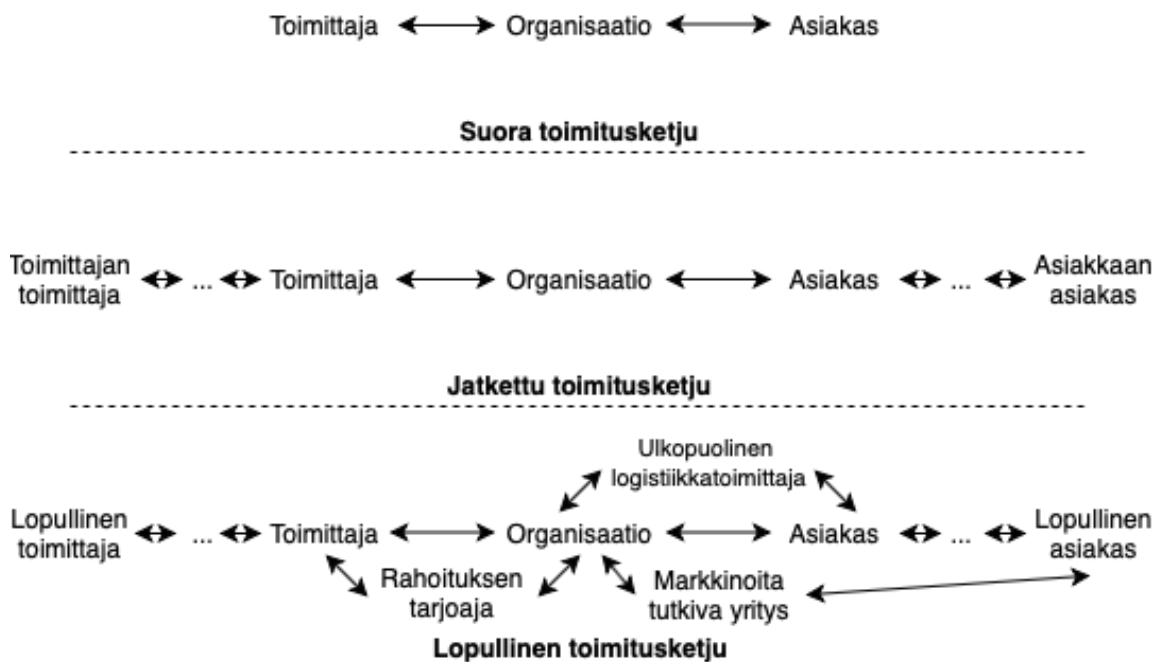
Terminä toimitusketju ja toimitusketjun hallinta on määritelty monella eri tavalla. Toimitusketjujen hallinta on ollut osa yritysmaailmaa 1980-luvulta alkaen, kun organisaatiot oppivat ymmärtämään informaatio-, ja tuotevirtojen sekä organisaation suhteiden hallinnan yhteyden tuottavuuden kasvuun (LaLonde & Bernard, 1997). Tässä tutkielmassa toimitusketjun hallinta määritellään Mentzerin ym. (2001) kokoavan tutkimuksen mukaisesti perinteisten yrityksen toimintojen strategisella ja systemaattisella hallinnalla, sekä yrityksen ja toimitusketjun sisäisten toimintojen taktiikalla, joiden tarkoituksena on parantaa yksittäisten organisaatioiden sekä koko toimitusketjun pitkän aikavälin suorituskykyä. Li, Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. ja Subba Rao (2006) esittävät tutkimuksessaan, että toimitusketjun hallinnan toiminnot voidaan määritellä aktiviteetteina, jotka organisaatio on ottanut käyttöön edistääkseen toimitusketjun tehokasta hallintaa. Näistä määritelmistä voidaan päätellä toimitusketjun hallinnan tavoiteena olevan organisaation toimitusketjujen tehostaminen. Toimitusketjun tehokkuutta voidaan mitata toimitusketjun valmiudesta toimittaa laadukkaita tuotteita ja palveluita tarkasti määriteltyinä aikoina ja määrinä (Whitten, Green & Zelbst, 2012), sekä toimitusketjun valmiudesta minimoida tuotteiden ja palveluiden kokonaiskustannukset loppuasiakkaalle (Green & Inman, 2005).

3.2 Toimitusketju ja sen ominaisuudet

Toimitusketju (engl. supply chain) on organisaatioiden verkosto, joka koostuu kolmen tai useamman osapuolen prosesseista, jotka tuote käy läpi matkalla raakamateriaalista valmiiksi tuotteeksi. Tässä tutkielmassa toimitusketju määritellään Mentzerin ym. (2001) mukaan kolmen tai useamman toimijan ketjuna, joka on yhteydessä toisiinsa ylä- ja alavirran tuote-, palvelu-, informaatio-, ja rahavirtojen kautta. Toimitusketju on jaettu kahteen osaan: toimittajan vastuualueeseen eli ylävirtaukseen, sekä valmistajan vastuualueeseen eli alavirtaukseen (Sharma

& Modgil, 2013). Toimitusketju on osa logistiikan toimintoja. Logistiikan yksi tärkeimmistä funktioista on seurata ja tallentaa toimitusketjun eri tapahtumia (Dobrovnik et al., 2018). Toimitusketjut voidaan jakaa kolmeen eri tasoon: suoraan toimitusketjuun, jatkettuun toimitusketjuun sekä lopulliseen toimitusketjuun (engl. ultimate supply chain) (Mentzer ym., 2001). Nämä kolme toimitusketjun tasoa havainnollistetaan kuviossa 4.

Suora toimitusketju koostuu yrityksestä, toimittajasta sekä asiakkaasta, jotka ovat osana toimitusketjun ylä- ja alavirran virtauksissa, joihin voi liittyä palvelut, tuotteet, sekä informaatio tai finanssit. Jatkettuun toimitusketjuun kuuluvat ensisijaisten toimittajien toimittajat sekä ensisijaisten asiakkaiden asiakkaat, jotka ovat mukana toimitusketjun ylä- ja alavirran palveluiden, tuotteiden sekä informaation tai finanssien virtauksissa. Kolmannen tason toimitusketju eli lopullinen toimitusketju kattaa alleen kaikki tuotteiden, palveluiden, informaation sekä finanssien ylä- ja alavirtaan osallistuvat organisaatiot lopullisesta toimittajasta lopulliseen asiakkaaseen. (Mentzer ym., 2001).



KUVIO 4 Erityyppisiä toimitusketjuja, suomennettu (Mentzer ym., 2001, s. 5)

”Vihreä toimitusketju” (engl. green supply chain) on käsite, joka yhdistää toimitusketjun ja vastuullisuuden. Vihreä toimitusketju tarkoittaa toimitusketjun hallintaa, jossa organisaation innovaatiot ja menettelytavat voidaan katsoa toimivan vastuullisessa ympäristössä. (Allaoui & Goncalves, 2013). Vastuullisuus on viimeisten vuosikymmenten aikana kasvattanut suosiotaan toimitusketjuissa ja vastuullinen toimitusketju voi antaa loppukäyttäjälle lisäarvoa.

3.3 Toimitusketjun hallinnan haasteita

Toimitusketjun hallinnan haasteet riippuvat toimitusketjun laajuudesta, maantieteellisestä hajautumisesta, käytetystä teknologiasta ja teollisuuden alasta. Boström, Jönsson, Lockie, Mol ja Oosterveer (2015) esittelevät tutkimuksessaan kuusi yleistä haastetta vastuullisten ja globaalien toimitusketjujen hallinnassa, jotka ovat maantieteellinen etäisyys, informaation ja tietämyksen kulku, kommunikaatio, säädösten noudattaminen, vallan asymmetria sekä uskottavuus. Toimitusketjujen globalisaatio on edesauttanut toimitusketjujen maantieteellisten etäisyyksien kasvua.

Maantieteellinen etäisyys aiheuttaa haasteita erityisesti toimitusketjun valvomisessa ja vastuullisuuden ylläpitämisessä. (Boström ym., 2015.) Tuotteen kuluttajan ja tekijän kasvanut välimatka on johtanut tuotannon ulkoistamiseen ulkomaille sekä raaka-aineiden toimittamiseen tuhansien kilometrien päästä. Maantieteellinen etäisyys luo haasteita toimitusketjun eri vaiheiden tallentamiselle ja voi myös aiheuttaa tiedon asymmetriaa toimitusketjun sisällä. Usein toimitusketjun eri vaiheet ovat tallennettuna useisiin eri tietokantoihin, joka tekee tiedonkulusta haastavaa. Abeynatnen ja Monfareden (2016) mukaan usein osa toimitusketjun tiedoista käsitellään ikään kuin toimittajan kauppatavarana, jolloin tapahtumien jäljitettävyyden perustuu eri toimijoiden väliseen luottamukseen toimitusketjun puutteellisen läpinäkyvyyden vuoksi. Tiedon ja tietämyksen kulku toimitusketjun läpi kaikille sen osapuolille on toinen Boström ym. (2015) tutkimuksen määrittelemistä haasteista. Informaation asymmetria sekä toimitusketjun kasvanut maantieteellinen hajautuminen aiheuttavat haasteita myös toimitusketjun sisäisessä kommunikaatiossa (Boström ym., 2015).

Tästä voimme päätellä, että toimitusketjun hallinnan haasteet syntyvät eri osatekijöiden yhteisvaikutuksesta. Wang, J., Wu, Wang, X. ja Shou (2017) esittävät tutkimuksessaan, että toimitusketjun hallinnan haasteena on toimitusketjun eri vaiheiden läpinäkymättömyys loppukäyttäjälle, joka aiheuttaa haasteita luottamuksen muodostumisessa. Myös Abeynatnen ja Monfareden (2016) mukaan toimitusketjun läpinäkyvyyden puutteellisuus on yksi suurimmista yritysten haasteista. Toimitusketjun hallinnassa kohdataan siis edelleen useita haasteita ja näiden ongelmien ratkaisijana monet näkevät lohkoketjuteknologian soveltamisen toimitusketjun tallentamisessa, joka mahdollistaa toimitusketjun läpinäkyvyyden lisäämisen, tallennetun tiedon muuttumattomuuden sekä toimitusketjun eri tapahtumien tekijän, ajan ja paikan tallentamisen.

4 LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN SOVELLUS- MAHDOLLISUUDET TOIMITUSKETJUN JÄJITTÄ- MISESSÄ

Lohkoketjun hyödyntäminen toimitusketjun toiminnoissa mahdollistaa tiedon tallentamisen jokaisesta tekijästä ja toiminnosta toimitusketjun eri vaiheissa. Lohkoketjun soveltaminen mahdollistaa myös eri toimintojen ajan ja sijainnin tallentamisen lohkoketjuun. (Ksethri, 2018.) Tässä luvussa tarkastellaan lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuuksia toimitusketjun jäljittämisessä. Sovelluksia tarkastellaan kolmella teollisuuden alalla, jotka ovat ruokateollisuus, lääketeollisuus ja tekstiiliteollisuus.

4.1 Lohkoketju ratkaisuna toimitusketjun haasteisiin

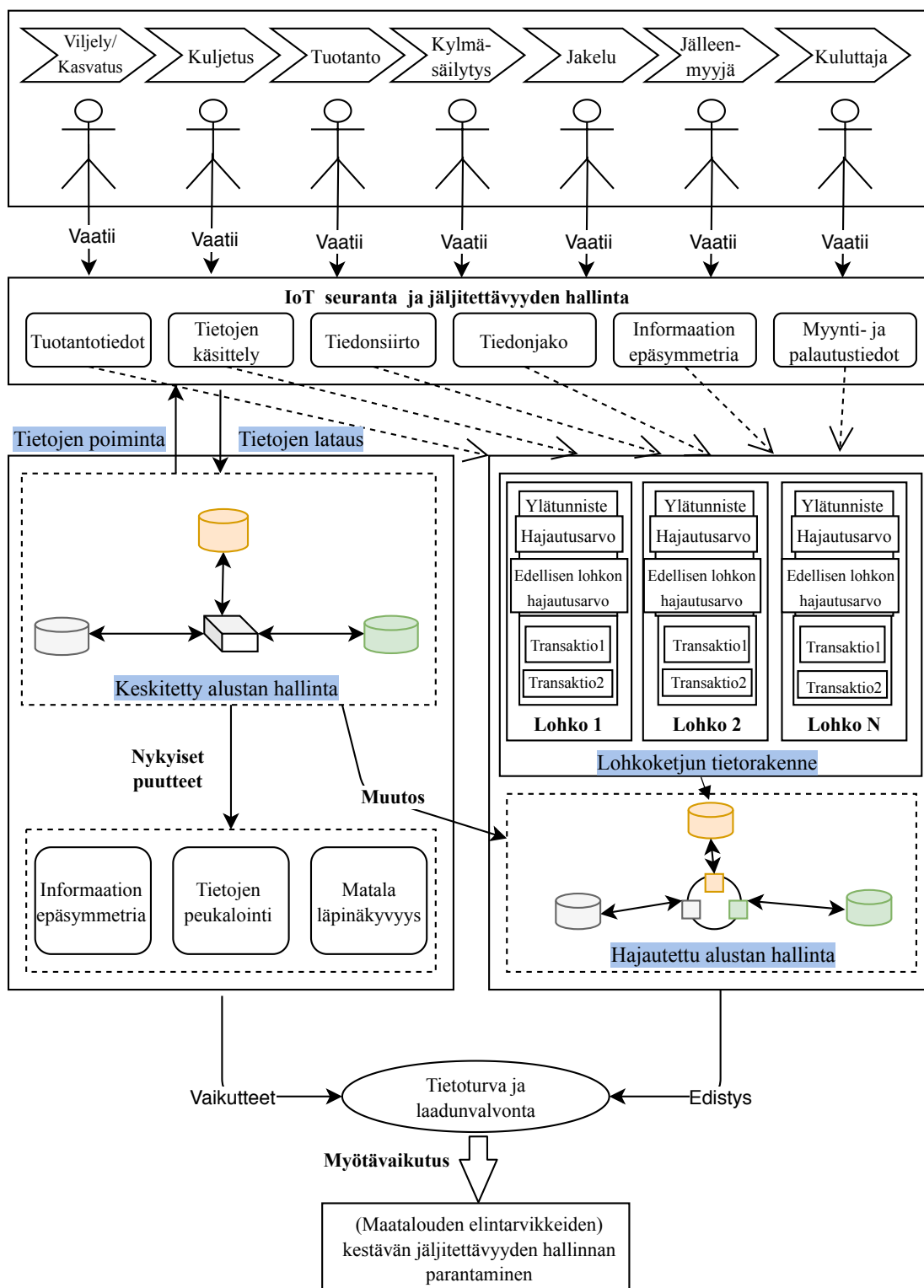
Jäljitettävyyden mahdollistavan järjestelmän tarve on suurempi kuin koskaan aikaisemmin. Kuluttajat vaativat yhä avoimempia järjestelmiä, jotka mahdollistavat kuluttajan luottamuksen ja uskollisuuden kasvun. (Rao, Chakraborty & Murthy, 2019.) Toimitusketjun hallinnan ongelmat liittyvät usein ketjun puutteelliseen päästä päähän jäljitettävyyteen ja läpinäkyvyyteen. Ksethri (2018) mukaan lohkoketju helpottaa tärkeimpien toimitusketjun hallinnan prosessien tulosten ja suorituskyvyn tehokasta mittaamista ja takaa tallennettujen tietojen muuttumattomuuden lohkoketjuteknologian ansiosta. Lohkoketjuteknologian soveltaminen toimitusketjun jäljittämisessä voi myös parantaa toimitusketjun läpinäkyvyyttä, tehokkuutta sekä eri tahojen välistä luottamusta. Jäljitettävyyden (engl. traceability) viittaa tutkielmassa tuotteen toimitusketjun eri vaiheiden tallentamiseen lohkoketjuun, joka mahdollistaa tallennettuun dataan palaamisen ja takaa datan muuttumattomuuden. Toimitusketjun jäljitettävyyden on tärkeää tuotteiden turvallisuuden takaamisen, tuotteiden takaisinvedon sekä laadunvalvonnan kannalta (Dai, Ge & Zhou, 2015).

Khannan, Nandin ja Balin (2020) mukaan toimitusketju on yleisesti yritysten ja organisaatioiden monimutkaisin ja samalla yksi tärkeimmistä ydinprosesseista yrityksen toiminnan kannalta. Yritysten siirryttyä globaaliin, ulkoistettuun tuotantoon ovat toimitusketjut muuttuneet yhä monimutkaisemmiksi ja tämän myötä toimitusketjun päästä päähän jäljittäminen on myös vaikeutunut (Khanna ym., 2020). Tuotteiden matka raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi voi sisältää tuhansia kilometrejä merellä ja ilmassa, satoja välikäsiä ja useita eri prosesseja. Jokaisen tuotantoketjun vaiheen ja välikäden tallentaminen voi mahdollistaa tuotantoketjun kehittämisen vihreämmäksi ja samalla lisää läpinäkyvyyttä tuotteen matkasta myös loppukäyttäjälle. Toimitusketjun läpinäkyvyys mahdollistaa tuotannon paremman suunnittelun raaka-aineista valmiiksi tuotteeksi ja antaa näin organisaatiolle tärkeää analytiikkaa prosesseista, mahdollisista riskeistä

sekä toimitusketjun kestävydestä ja vastuullisuudesta (Abeynatne & Monfared, 2016). Tuotantoketjun tarkempi ymmärrys antaa yritykselle arvokasta logistiikan ja tuotannon päätöksiä tukevaa analytiikkaa.

Köhler ja Pizzol (2020) esittävät tutkimuksessaan, että lohkoketjun soveltaminen toimitusketjun hallinnassa mahdollistaa varmistetun tiedon jaon kaikille toimitusketjun jäsenille kasvattaen yleistä luottamustasoa yritykseen, joka voi näin vaikuttaa yrityksen maineeseen ja samalla antaa asiakkaille lisää valtaa. Toimitusketjun tallentamiseen osoitetun lohkoketjun tai lohkoketjujen tulisi tallentaa, säilöä ja hallita informaatiota tuotteen tärkeimmistä ominaisuuksista, sen elinkaaren eri vaiheista sekä toimitusketjun toimijat, joiden kautta tuote on kulkenut. Näiden tallennettujen tietojen perusteella jokaisella tuotteella olisi tallennettuna uniikki digitaalinen polku sen elinkaaren eri vaiheista. (Abeynatne & Monfared, 2016.) Tämä uniikki digitaalinen polku antaa loppukäyttäjälle lisätietoa tuotteesta ja mahdollistaa aiempaa tietoisemmän ostokäyttäytymisen (Köhler & Pizzol, 2020).

Lohkoketjun soveltaminen toimitusketjun jäljittämisen mahdollistajana on perusteltu lohkoketjun ominaisuuksiin nojaten (Francisco & Swanson, 2018). Köhlerin ja Pizzolin (2020) mukaan lohkoketjun soveltaminen toimitusketjun tallentamisessa lisää toimitusketjun läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä, sekä luotettavuutta. Erityisesti lohkoketjun lähes taattu datan muuttumattomuus on yksi merkittävä tekijä toimitusketjun jäljittämisen mahdollistamisessa. Toimitusketjun jäljitettävyyden toiminnallinen viitekehys on esitelty kuviossa 5, jossa jäljitettävyyttä tarkastellaan maatalouden elintarvikkeiden näkökulmasta Feng, Wang, Duan, Zhang J. ja Zhang X. (2020) tutkimuksen mukaisesti. Kuviossa 5 esiteltävä viitekehys on kuitenkin helposti yleistettävissä kaikille tässä tutkielmassa käsiteltäville teollisuuden aloille.



KUVIO 5 Toimitusketjun jäljitettävyyden toiminnallinen viitekehys, suomennettu (Feng ym., 2020, s. 5)

4.2 Elintarviketeollisuus

Elintarvikkeiden jäljitettävyys ja elintarviketeollisuuden toimitusketjujen yleinen läpinäkyvyys ovat nousseet kriittisiksi laajoissa ja globaaleissa toimitusketjuissa viimeaikaisten skandaalien myötä, kuten vuoden 2013 Euroopan hevosenlihaskandaali (Rejeb, A., Keogh, Zailani, Treiblmaier & Rejeb, K., 2020). Ruokateollisuudessa toimitusketjun on kerättävä, säilöttävä ja siirrettävä informaatiota toimitusketjun jokaisesta vaiheesta, jotta elintarvikkeiden laadun ja turvallisuuden valvomista voidaan helpottaa ja mahdollistaa toimitusketjun jäljittäminen jälkikäteen (Rejeb ym., 2020). Elintarvikkeiden toimitusketjut ovat usein todella monimutkaisia ja niihin liittyy monia kriittisiä komponentteja, kuten mahdollisen kylmäketjun katkeamattomuus, tuotteiden säilyvyys sekä kuljetuksen olosuhteet. Elintarvikkeiden on myös täytettävä lukuisia kriteereitä käytettävyuden kannalta, joita ovat esimerkiksi riittävä tuoreus, laatu ja turvallisuus. Elintarvikkeiden pilaantuminen aiheuttaa oman aikapaineensa myös logistiikan prosesseille.

Fengin ym. (2020) mukaan elintarviketeollisuuden sidosryhmille suurin huolenaihe on laadun jäljitettävyysvaatimukset elintarvikkeissa. Tärkein mittari lohkoketjupohjaisen jäljitettävyysjärjestelmän suorituskyvyn arvioinnissa onkin Fengin ym. (2020) mukaan se, kuinka hyvin tämä kohtaa sidosryhmien jäljitettävyysvaatimukset elintarviketoimitusketjussa. Lohkoketjun soveltaminen elintarvikkeiden toimitusketjun jäljittämisessä mahdollistaa paremman läpinäkyvyyden, tietojen muuttumattomuuden sekä luottamuksen eri toimijoiden välillä. Epäsuoria vaikutuksia lohkoketjuihin pohjautuvan sovelluksen käyttöönotosta aiheutuu myös tiedonhallintaan liittyviin prosesseihin toimitusketjun täyden digitalisoinnin vaikutuksesta (Köhler & Pizzol, 2020).

Rejebin ym. (2020) mukaan lohkoketjun käyttöönotto elintarviketoimitusketjun tietokantana auttaa parantamaan toimitusketjun sisäisiä prosesseja, sekä vähentämään pullonkaulaefektin muodostumista. Tästä huolimatta Rejeb ym. (2020) eivät löytäneet tutkimuksessaan tarkkoja syitä, miten lohkoketjun käyttöönotto ratkaisee näitä organisaation suorituskykyyn vaikuttavia ongelmia. Elintarvikkeiden toimitusketjun parantunut jäljitettävyys voi auttaa vähentämään ruokahävikkiä ja auttaa organisaatiota tehostamaan prosessejaan kerätyn analytiikan perusteella. Kuitenkin Köhler ja Pizzol (2020) esittävät tutkimuksessaan, että lohkoketju yksinään ei ole ratkaisu toimitusketjun jäljitettävyuden ongelmaan vaan se on ennemmin osa teknologiajärjestelmää. Tästä voimme päätellä, että elintarviketeollisuuden toimitusketjun jäljitettävyys on todella kriittinen ja ajankohtainen aihe, mutta lohkoketju yksinään ei riitä ratkaisemaan ongelmaa, vaan tämän tueksi kaivataan myös muita teknologisia ratkaisuja.

Näitä lohkoketjuteknologiaa tukevia ratkaisuja voivat olla esimerkiksi tuotteisiin liitettävät RFID-tunnisteet (engl. Radio Frequency Identification), joiden avulla käsiteltävä tuote voidaan identifioida ja tämän uniikki elämänkaari voidaan tallentaa lohkoketjuun myös loppukäyttäjän nähtäväksi (Galvez, Mejuto & Simal-Gandra, 2018). RFID-tunnisteiden lisäksi on mahdollista hyödyntää IoT

eli esineiden internet -sensoreita tunnistamaan esimerkiksi kylmäketjun jatkuvuutta sekä muita logistiikan toimintoja (Feng ym. 2020).

4.3 Lääketeollisuus

Lääkkeiden korkea laatu on tärkeää niiden käyttäjille, sillä useilla lääkkeillä on merkittäviä vaikutuksia käyttäjän terveydentilaan ja väärin käytettynä tai väärinrennetynä sen seuraukset voivat olla todella haitallisia. Toimitusketjun toiminnan läpinäkyvyyden puute on syvään juurtunut haaste, jota monet lääketieteellisen sidosryhmät kohtaavat. Lääkkeiden toimitusketju alkaa lääkevalmistajilta ja päättyy lääkkeiden käyttäjään. Arviolta yksi kymmenestä lääkkeestä on väärinrennetty tai säännösten vastainen matala- ja keskitulotason maissa (WHO, 2020).

Lääkkeiden toimitusketju voi hyödyntää lohkoketjuteknologiaa luodakseen muuttumattoman ja hajautetun tilikirjan, jonka avulla informaatiota lääkkeistä ja niiden transaktioista voidaan jakaa kaikille sidosryhmille. On tärkeää, että jokaisen yksittäisen lääkkeen transaktiot tallennetaan lohkoketjuun, jotta on mahdollista tunnistaa vahingoittuneet tai vialliset lääke-erät ennen päätymistä loppukäyttäjälle.

Vecchione (2017) erittelee tutkimuksessaan seuraavat lohkoketjuteknologian soluksien tuomat hyödyt lääketieteellisuuden toimitusketjulle:

- Toimitusketjun jäsenten tehostunut yhteistyö varmistettujen transaktioiden ja väärinkäytön estävän ympäristön ansiosta.
- Parantunut varastonhallinta ja lääkkeiden yllättävien vajausten ennakointi.
- Vähentyneet väärinrennettyjen lääkkeiden markkinamahdollisuudet.
- Säätelemättömien internet-apteekkien toiminnan raja.
- Mahdollisten lääkkeiden takaisinvetoprosessien tehostuminen.
- Kaikille toimitusketjun jäsenille avoimet aikaleimatut todisteet lääkkeen alkuperästä ja sen toimitusketjun tapahtumista.

Vaikka lohkoketjun sovellus tarjoaa hyvän ratkaisun lääketuotteiden toimitusketjun päästä päähän jäljitettävyyteen, liittyy asiaan myös muutamia haasteita. Haasteita aiheuttaa aiemmin käsitellyssä luvussa esiteltyjen lohkoketjun haavoittuvuuksien lisäksi myös luottamuksen ja tuotteen laadun käsitteet. Luottamusta on mahdollista kasvattaa luvanvaraisella lohkoketjulla, jonka avulla lohkoketjuun ei pääse käsiksi epäluotettavia tahoja. Tuotteen laadun käsite on hieman monimutkaisempi, sillä kaikki loppukäyttäjät eivät välttämättä halua korkealaatuisimpia tuotetta tai palveluita vaan ainostaan valitsemansa asteista palvelua (Soundarya, Pandley & Dhanalakshmi, 2018).

4.4 Tekstiiliteollisuus

Yleisen trendin mukaisesti myös tekstiiliteollisuuden toimitusketju on globalisoitunut ja monimuotoistunut. Tekstiilialalla on suuri tarve toimitusketjun jäljitettävyydelle ja läpinäkyvyydelle, johon lohkoketjuteknologia tarjoaa ratkaisua. Rusinekin, Zhangin ja Radziwillin (2018) mukaan lohkoketjun sovellus tekstiilialalla lisää alan toimitusketjun kaipaamaa läpinäkyvyyttä, vastuullisuutta sekä jäljitettävyyttä auttaen toimitusketjun kaikkia sidosryhmiä ymmärtämään tuotteiden koko elinkaaren vaikutukset sekä tekemään ennaltaehkäiseviä strategisia päätöksiä.

Toimitusketjun jäljitettävyys ja läpinäkyvyys tekstiilialalla voi ohjata kuluttajia tekemään tietoisempia ostopäätöksiä, ymmärtämään omien ostotekojen vaikutukset sekä kannustaa kierrätykseen ja käytettyjen tuotteiden ostamiseen. Loppukäyttäjät ovat aiempaa kiinnostuneempia tuotteiden alkuperästä ja he kaipaavat varmistusta siitä, että heidän ostamat tuotteet ovat ekologisesti ja eettisesti valmistettuja (Rusinek, Zhang & Radziwill, 2018). Tämän vuoksi tulevaisuudessa jäljitettävyyden kasvava trendi vaatii alan yrityksiltä tekoja pitääkseen kuluttajat tyytyväisinä palveluihinsa.

Lohkoketjun soveltaminen toimitusketjussa auttaa tekstiiliteollisuuden yrityksiä jäljittämään tuotteiden alkuperän, mahdollistaa reaaliaikaisten varastotasojen tarkastelun sekä mahdollistaa raakamateriaalien alkuperän paikallistamisen ja tarjoaa toiminnallisuuksien suorituskyvyn huomattavaa parantumista (Gardetti, 2020, s.10). Lohkoketjuun tallennettu reaaliaikainen tieto antaa yrityksille myös tietoa työntekijöistä, joka helpottaa yritystä tunnistamaan ja ratkaisemaan omien prosessiensa heikkouksia (Gardetti, 2020, s.10). Kuten elintarviketeollisuudessa, myös tekstiiliteollisuudessa lohkoketju tarvitsee muita teknologisia ratkaisuja tuekseen ratkaisemaan tuotantoketjun jäljitettävyyden haasteita. Ngai, Peng, Alexander ja Moon (2014) esittävät tutkimuksessaan tekstiiliteollisuuden jäljitettävyyden tueksi RFID-tunnisteet, sekä tekoälypohjaiset ratkaisut.

Tekstiilialalla suurimmat haasteet toimitusketjuissa ovat vastuullisuuden ja eettisyyden arvioiminen sekä sen esilletuonti kuluttajalle. Lohkoketjun soveltaminen toimitusketjun tallentamisessa ja päästä päähän jäljittämisen mahdollistajana mahdollistaa tuotteen elinkaaren esittämisen kaikille sidosryhmille. Haasteeksi tekstiilialan yrityksille nousee kuitenkin toimitusketjun vastuullistaminen, jotta se on mahdollista näyttää myös loppukäyttäjälle.

5 YHTEENVETO

Tässä kirjallisuuskatsauksessa syvennyttiin lohkoketjuteknologiaan ja sen sovel-
lukseen toimitusketjun jäljittämässä. Tutkielman alussa esiteltiin lohkoketjutek-
nologia käsitteenä, sen keskeisimpiä ominaisuuksia sekä lohkoketjujen luokitte-
lua ja haasteita, joita lohkoketjuteknologia kohtaa tänä päivänä. Seuraavissa lu-
vuissa käsiteltiin toimitusketjuja ja niiden hallintaa sekä haasteita, joita yleisesti
kohdataan toimitusketjun hallinnassa. Viimeisessä kappaleessa syvennyttiin
vastaamaan tutkimuskysymykseen eli lohkoketjuteknologian sovellusmahdolli-
suuksiin toimitusketjun jäljittämässä. Aihetta tarkasteltiin rajatusti kolmella te-
ollisuuden alalla, jotka olivat: elintarvike-, lääke- ja tekstiiliteollisuus.

Lohkoketju on lohkoista koostuva ketju. Lohkot sisältävät dataa transakti-
oista, hajautusarvon sekä edellisen lohkon hajautusarvon, joka sitoo lohkot yhte-
näiseksi ketjuksi. Lohkoketjun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat muuttumatto-
muus, läpinäkyvyys, hajautettavuus sekä anonyymiys. Lohkoketju toimii hajau-
tetussa vertaisverkossa, jonka jäsenet ovat mukana konsensusprosessissa. Kon-
sensusprosessi on lohkoketjun jäsenten eli solmujen tapa varmentaa lohkoket-
juun kirjattavien transaktioiden oikeellisuus. Lohkoketjun käyttöönottoon liittyy
myös haasteita, joista tutkielmaan tarkasteltavaksi rajautui skaalautuvuus,
enemmistön hyökkäys sekä konsensusprosessien energiankulutus.

Toimitusketju käsitteenä tarkoittaa useamman toimijan verkostoa, jonka
tuote tai palvelu käy läpi elinkaarensa aikana. Toimitusketju yleisesti koostuu eri
tasojen toimittajista, organisaatiosta sekä asiakkaista. Toimitusketjun hallinnan
tärkein tavoite on tehostaa toimitusketjun prosesseja. Tutkielmassa käsiteltiin
myös toimitusketjun hallinnan haasteita, jotka koostuvat useista osatekijöistä,
kuten informaation epäsymmetriasta, vallan epätasapainosta, maantieteellisistä
etäisyyksistä sekä kommunikaation ongelmista. Ratkaisuna toimitusketjun haas-
teisiin tutkielmassa perehdyttiin lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuuk-
sia. Lohkoketjuteknologia ratkaisuna mahdollistaa toimitusketjujen paremman
läpinäkyvyyden sekä päästä päähän jäljitettävyyden, joka voi osaltaan ratkaista
myös muita toimitusketjun hallinnan haasteita.

Tutkielmassa kävi ilmi eri alojen painotukset toimitusketjun jäljittämisen
tarpeelle. Elintarviketeollisuuden tarpeet toimitusketjun jäljitettävyyteen liitty-
vät pitkälti tuotteen säilyvyyteen, turvallisuuteen sekä alkuperään. Lääketeolli-
suudessa tärkeään asemaan nousi lääkkeiden turvallisuus ja väärennettyjen lää-
kkeiden tunnistaminen. Tekstiiliteollisuuden toimitusketjun jäljittämisen tarpeen
painopiste on vastuullisuudessa ja eettisyydessä. Yhdistävänä tekijänä nousi
tarve tuotteiden koko elinkaaren tallentamiselle ja päästä päähän jäljitettävyy-
delle, jonka tulisi olla avoin kaikille toimitusketjun sidosryhmille. Lohkoketjun
avainominaisuudet: muuttumattomuus, läpinäkyvyys ja hajautettavuus todeti-
tiin tieteellisiin lähteisiin pohjautuen sopivan ratkaisuna kaikille mainituille teol-
lisuuden aloille. Lähdekirjallisuudessa kävi kuitenkin ilmi, että lohkoketjutekno-
logia ei yksinään riitä ratkaisemaan toimitusketjun jäljitettävyyden ongelmaa,
vaan tarvitaan myös tätä tukevia teknologioita kuten RFID-tunnisteita sekä IoT-
sensoreita.

Aiheen parissa on tehtävä laajalti syventävää tutkimusta tulevaisuudessa. Tutkimuksia tulisi suunnata lohkoketjuteknologian käyttöönottoon laajoissa ja monimutkaisissa toimitusketjuissa ja tarkastella myös pidemmän aikavälin vaikutuksia toimitusketjun hallinnassa. Laadullinen tutkimus aiheen parissa voisi käsitellä toimitusketjun suorituskyvyn muutoksia sekä prosessien mahdollista tehostumista lohkoketjupohjaisten sovelluksien tarjoaman analytiikan avulla. Myös parantuneen jäljitettävyyden vaikutusta kuluttajakäyttäytymiseen olisi syytä tutkia.

LÄHTEET

- Abeyratne, S. A., & Monfared, R.. (2016). Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(09), pp. 1-10.
doi:10.15623/ijret.2016.0509001
- Allaoui, H. & Goncalves, G. (2013). Green Supply Chain: challenges and opportunities, *Supply Chain Forum: An International Journal*, 14:2, 2-3, DOI: 10.1080/16258312.2013.11517310
- Benton, M. & Radziwill, N. (2017). Quality and Innovation With Blockchain Technology. *Software Quality Professional*, 20(1), pp. 35-44.
- Bitcoin.com (14.11.2020). Bitcoin Size.
<https://charts.bitcoin.com/bch/chart/blockchain-size#5ma4>
- Blossey, G., Eisenhardt, J., & Hahn, G.J. (2019). Blockchain Technology in Supply Chain Management: An Application Perspective. *HICSS*.
- Bostrom, M., Jonsson, A. M., Lockie, S., Mol, A. P. & Oosterveer, P. (2015). Sustainable and responsible supply chain governance: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 107, p. 1.
- Buterin, V. (2015). On Public and Private Blockchains.
<https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>
- Dai, H., Ge, L., Zhou, W. (2015). A Design Method for Supply Chain Traceability Systems with Aligned Interests. *International Journal of Production Economics*, 170(A), 14-24
- Dobrovnik, M., Herold, D. M., Fürst, E. & Kummer, S. (2018). Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *Logistics*, 2(18)
doi:10.3390/logistics2030018
- Dwayne Whitten, G., Green, K. W. & Zelbst, P. J. (2012). Triple-A supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), pp. 28-48. doi:10.1108/01443571211195727
- Feng, H., Wang, X., Duan, Y., Zhang, J. & Zhang, X. (2020). Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. *Journal of cleaner production*, 260, . doi:10.1016/j.jclepro.2020.121031
- Francisco, K. & Swanson, D. (2018). The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency. *Logistics*, 2(1), . doi:10.3390/logistics2010002

- Galvez, J. F., Mejuto, J. & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC, Trends in analytical chemistry (Regular ed.)*, 107, pp. 222-232. doi:10.1016/j.trac.2018.08.011
- Gardetti, M. Á. & . (2020). *The UN Sustainable Development Goals for the Textile and Fashion Industry*.
- Green, K.W. Jr and Inman, R.A. (2005). "Using a just-in-time selling strategy to strengthen supply chain linkages", *International Journal of Production Research*, Vol. 43 No. 16, pp. 3437-53.
- Honkanen, P. (2017). Lohkoketjuteknologian lupaus. Tekninen raportti 1. *Arcada Working Papers*.
- Khanna, T., Nand, P. & Bali, V. (2020). Permissioned Blockchain Model for End-to-End Trackability in Supply Chain Management. *International Journal of e-Collaboration (IJeC)*, 16(1), pp. 45-58. doi:10.4018/IJeC.2020010104
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, p. 80.
- Köhler, S. & Pizzol, M. (2020). Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain. *Journal of cleaner production*, 269, . doi:10.1016/j.jclepro.2020.122193
- La Londe, B.J. (1997). "Supply Chain Management: Myth or Reality?" *Supply Chain Management Review*, Vol. 1, spring, 1997, pp. 6-7
- Lamport, L., Shostak, R. & Pease, M. (1982). The Byzantine Generals Problem. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS)*, 4(3), pp. 382-401. doi:10.1145/357172.357176
- Lin, I-C. & Liao T-C. (2017). A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges. *International Journal of Network Security*, 19(5),pp. 653-659.
- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. & Subba Rao, S. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. *Omega (Oxford)*, 34(2), pp. 107-124. doi:10.1016/j.omega.2004.08.002
- Malone, D. & O'Dwyer, K.J.. (2014). Bitcoin Mining and its Energy Footprint. 280-285. 10.1049/cp.2014.0699.
- Mentzer, J., Witt, W. D., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, D., & Zacharia, Z. (2001). Defining Supply Chain (SC) management. *Journal of Business Logistics*, 22(2). <http://dx.doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Mora, C., Rollins, R., Taladay, K., Kantar, M., Chock, M., Shimada, M. & Franklin, E. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming

above 2°C. *Nature Climate Change*, 8(11), pp. 931-933. doi:10.1038/s41558-018-0321-8

Ngai, E., Peng, S., Alexander, P. & Moon, K. K. (2014). Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: An academic review of research articles. *Expert systems with applications*, 41(1), pp. 81-91. doi:10.1016/j.eswa.2013.07.013

Rao, M., Chakraborty, G. & Murthy, K. (2019). Market Drivers and Discovering Technologies in Meat Species Identification. *Food Analytical Methods*, 12(11), pp. 2416-2429. doi:10.1007/s12161-019-01591-8

Rejeb, A., Keogh, J.G., Zailani, S., Treiblmaier, H. & Rejeb, K. (2020). Blockchain Technology in the Food Industry: A Review of Potentials, Challenges and Future Research Directions. *Logistics*, 4, 27.

Rusinek, M., Zhang, H. & Radziwill, N. (2018). Blockchain for a Traceable, Circular Textile Supply Chain: A Requirements Approach. *Software Quality Professional*, 21(1), pp. 4-24.

Saleh, F. (2018). Blockchain Without Waste: Proof-of-Stake. SSRN Electronic Journal. doi:10.2139/ssrn.3183935

Sharma, S. M. S. (2013). Supply chain efforts among downstream and upstream: A developed view. *International Journal of Engineering Management and Economics*, 4(1), p. 54. doi:10.1504/IJEME.2013.055986

Soundarya, K., Pandey, P. & Dhanalakshmi, R. (2018). A Counterfeit Solution for Pharma Supply Chain. *EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems*, 3(11), . doi:10.4108/eai.11-4-2018.154550

United Nations. (2015). Framework Convention on Climate Change. *Adoption of the Paris Agreement*. 21st Conference of the Parties, Paris: United Nations.

Vecchione, A. (2017). Blockchain Tech Could Track Pharmacy Supply Chain.(PHARMACY PRACTICE). *Drug Topics*, 161(11), p. 21.

Wang, J., Wu, P., Wang, X. & Shou, W. (2017). The outlook of blockchain technology for construction engineering management. *Frontiers of Engineering Management*, 4(1), p. 67. doi:10.15302/J-FEM-2017006

Wang, L., Shen, X., Li, J., Shao, J. & Yang, Y. (2019). Cryptographic primitives in blockchains. *Journal of network and computer applications*, 127, pp. 43-58. doi:10.1016/j.jnca.2018.11.003

WHO (8.12.2020). Substandard and falsified medical products. https://www.who.int/health-topics/substandard-and-falsified-medical-products#tab=tab_2

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. (Report)(Author abstract). *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), p. 352.
doi:10.1504/IJWGS.2018.095647