

Tuomas Risteli

Lohkoketjuteknologian toimitusketjun hallinnassa

hyödyntäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalous

Insinöörityö

12.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuomas Risteli Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen toimitusketjunhallinnassa 39 sivua + 2 liitettä 12.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tuotantotalous
Suuntautumisvaihtoehto	Tilaus-toimitusketjun hallinta
Ohjaaja	Lehtori Jarmo Toivanen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tutkia lohkoketjuteknologiaa ja sen hyödyntämistä toimitusketjunhallinnassa. Tarkoituksena oli perehtyä kyseiseen aiheeseen ja löytää yhteys lohkoketjuteknologian ominaisuuksien ja toimitusketjunhallinnan ongelmien välillä. Perehtymisen jälkeen selvisi, että lohkoketjun hyödyntäminen parantaa läpinäkyvyyttä toimitusketjuissa ja siten lisää myös luottamusta osapuolten välille.</p> <p>Lohkoketjuteknologia on uudenlainen tapa tallentaa ja siirtää dataa, joka eliminoi tarpeen kolmannen osapuolen tarjoamalle luottamukselle. Lohkoketju käyttää hajautetun kirjanpidon periaatetta, jossa kirjanpito on tallennettuna jokaisella verkon jäsenellä. Transaktiot tallennetaan yhteiseen lohkoketjuun, josta jokainen verkon jäsen voi nähdä ne.</p> <p>Tulevaisuuden toimitusketjut tulevat hyödyntämään esineiden internetiä, jonka avulla saadaan kerättyä aiempaa enemmän dataa toimitusketjujen eri vaiheista. Lohkoketjua voitaisiin mahdollisesti myös hyödyntää kyseisten verkkojen turvallisuuden parantamisessa, luomalla lohkoketjuverkko laitteiden välille.</p> <p>Toimitusketjujen läpinäkyvyys parantaa tuotteiden jäljitettävyyttä ja nopeuttaa toimitusketjun ongelmien löytämistä. Lähes välittömästi päivittyvät tiedot auttavat toimijoita optimoimaan resurssejaan ja tekemään tarkempia ennusteita kysynnästä, kun tarpeet ovat nopeammin ennakoitavissa. Paperiset remburssit olisi mahdollista korvata teknologiaan pohjautuvilla älysovimuksilla. Nämä ominaisuudet olisi mahdollista saavuttaa hyödyntämällä lohkoketjua.</p> <p>Lohkoketjun soveltaminen toimitusketjussa edistää sen ekosysteemiä. Teknologia lisää luottamusta eri toimijoiden välillä ja edistää toimijoiden välisiä prosesseja, joko automatisoimalla niitä tai nopeuttamalla tiedon saatavuutta.</p>	
Avainsanat	lohkoketju, läpinäkyvyys, toimitusketju, toimitusketjunhallinta

Author Title Number of Pages Date	Tuomas Risteli Exploitation of the Blockchain technology in supply chain management 39 pages + 2 appendices 12rd May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Engineering and Business Management
Specialisation option	Supply Chain Management
Instructor	Jarmo Toivanen, Senior Lecturer
<p>Objective of this thesis was to study the Blockchain technology and its utilization in supply chain management. The purpose was to examine with the subject and to find a connection between the Blockchain's features and the problems in supply chain management. After familiarization with the topic, it became clear that the use of a Blockchain is to improve transparency in supply chains and it also increases trust between the parties.</p> <p>The Blockchain technology is a new way to store and transfer data, eliminating the need for trust offered by a third party. Blockchain uses the principle of decentralized accounting, where the shared ledger is stored in every member database of the network. Transactions are recorded in Blockchain, where each member of the network can see them.</p> <p>The supply chains of the future will take advantage of the Internet of Things, which allows to collect more data from different stages of the supply chain. Blockchain could potentially also be used to improve the security of those networks, by creating a Blockchain network between the devices.</p> <p>Transparency of the supply chains will improve product traceability and accelerate discovery of supply chain's problems. Almost immediately updating database will help operators optimize their resources and to make more accurate forecasts of demand, because needs are anticipated faster. It would also be possible to replace letters of credit with Blockchain-based smart contracts.</p> <p>The application of Blockchain in the supply chain will promote its ecosystem. This technology will increase trust between different actors and promote the processes between actors, either by automating them or by accelerating the availability of information.</p>	
Keywords	blockchain, transparency, supply chain management

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Bitcoin	6
2.1	Virtuaalivaluutan tausta	6
2.2	Transaktiot	7
2.3	Valuutan syntyminen	9
2.4	Proof of work	9
2.5	Bitcoinin lohkoketju	10
3	Lohkoketju	12
3.1	Toimintaperiaate	12
3.2	Julkinen ja yksityinen lohkoketju	13
3.3	Lohkoketju 2.0	15
3.4	Ethereum	16
4	Esineiden internet	17
5	Lohkoketju ja esineiden internet	19
6	Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen toimitusketjunhallinnassa	22
6.1	Transaktiot	23
6.2	Esimerkkejä lohkoketjun hyödyntämisestä	24
7	Toimitusketjujen ekosysteemit	26
8	Johtopäätökset	30
9	Yhteenveto	34
	Lähteet	36
	Liitteet	

Lyhenteet

51%-hyökkäys

Verkkohyökkäys, jossa ryhmä solmuja hallitsee yli 50% koko verkon päätäntävällästä.

Forrester-ilmiö

Ilmiö, jossa varastomäärien, varastotäydennysten ja tilausten vaihtelu kasvaa siirryttäessä myyjäportaasta tuotantoon.

Kryptografia Tietojenkäsittelyssä käsitteellä tarkoitetaan datan salaamisen oppia.

Laitehuijaaminen

Tietoturvahyökkäys, jossa hyökkääjä tekeytyy toiseksi osapuolen laitteeksi väärennetyllä datalla.

MITM

Man-in-the-middle. Tietoturvahyökkäys, jossa hyökkääjä asettuu kahden osapuolen tietoliikenteen välittäjäksi ja muuttaa halutessaan siinä kulkevaa dataa.

QR-koodi

Quick Responce-koodi. Osoitelinkin välittäjä mobiileille päätelaitteille.

Tiiviste

Alkuperäisen tiedon muuntaminen pienempään tilaan tiivisteeksi.

1 Johdanto

Lohkoketju on alun perin virtuaalivaluutta Bitcoinin taustalla toimiva teknologia. Uudella teknologialla on paljon soveltamismahdollisuuksia tulevaisuudessa, joita on alettu tutkimaan tarkemmin vasta muutamia vuosia sitten. World Economic Forumin [2015] julkaisemassa raportissa todetaan lohkoketjuteknologia yhdeksi kuudesta megatrendistä tulevaisuudessa. Lohkoketjumenetelmää on sovellettu aiemmin finanssi-alan prosesseissa, kuten pankkitoiminnassa.

Internetin aikakausi mahdollistaa tiedon nopean välittymisen ja esineiden internetin (IoT) soveltaminen mahdollistaa toimitusketjujen kehittymisen seuraavalle tasolle. Lohkoketjuteknologia tarjoaa mahdollisuuden uudenlaiselle toimitusketjulle, joka aiemmin ei ole ollut mahdollista. Osittain kuluttajat ja markkinat vaativat tuotteilta asioita, joita vain toimitusketjun päivittäminen mahdollistaisi. Kyseisellä teknologialla pystytään lisäämään mm. toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja tuotteiden jäljitettävyyttä. Esimerkiksi vuosittain arviolta 10 %—30 % kaikista länsimaissa myydyistä lääkkeistä (n. 200 miljardia dollaria) on väärennöksiä ja toisaalta osa kuluttajista on kiinnostunut tuotteen toimitusketjun yksityiskohtaisesta reitistä kaupan hyllylle [20 Shocking Counterfeit Drugs Statistics 2014].

Toimialasta riippuen, kuluttajat ja viranomaiset ovat alkaneet vaatia toimitusketjujen läpinäkyvyyttä. Elintarvikealan tiukentuvat vaatimukset vaativat aiempaa tarkempaa tietoa raaka-aineiden alkuperästä ja kuluttajat haluavat tehdä aiempaa tarkempia eettisiä valintoja ostaessaan tuotteita. Toimitusketjun läpinäkyvyys lisää luottamusta osapuolten välillä, parantaa jäljitettävyyttä ja vahvistaa brändiä. Läpinäkyvä toimitusketju nopeuttaa tiedon saatavuutta, jonka seurauksena osapuolet pystyvät tarkempiin ennusteisiin. Tarkemmat ennusteet mahdollistavat tehokkaamman resurssien optimoinnin. Tämän lisäksi ongelmien ratkaisu helpottuu, kun toimitusketju on läpinäkyvä ja jäljitettävyyden parempi. [Moore 2016.]

Työn tavoite

Työ aloitettiin perehtymällä toimitusketjujen ongelmiin ja lohkoketjuteknologian toimintaan. Tarkoituksena oli löytää yhteys toimitusketjun ongelmien ja lohkoketjun ominaisuuksien hyödyntämisen välillä. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa uudenlaisen tavan tallentaa ja siirtää dataa, jota voitaisiin hyödyntää lisäämään läpinäkyvyyttä toimitusketjunhallinnassa, jota insinööri työ tutkii tarkemmin. Toimitusketjujen läpinäkymättömyys heijastuu tiedon saatavuuteen ja kulkuun, osapuolten väliseen epäluottamukseen ja viestintään. Edellä mainitut ongelmat aiheuttavat mm. epätarkkoja ennusteita, varastohallinnan ongelmia ja toimitusten myöhästymisiä. [Handfield & Nichols 2004: 29—35; Kettering University Online 2015.]

Insinööri työ vastaa seuraaviin kysymyksiin:

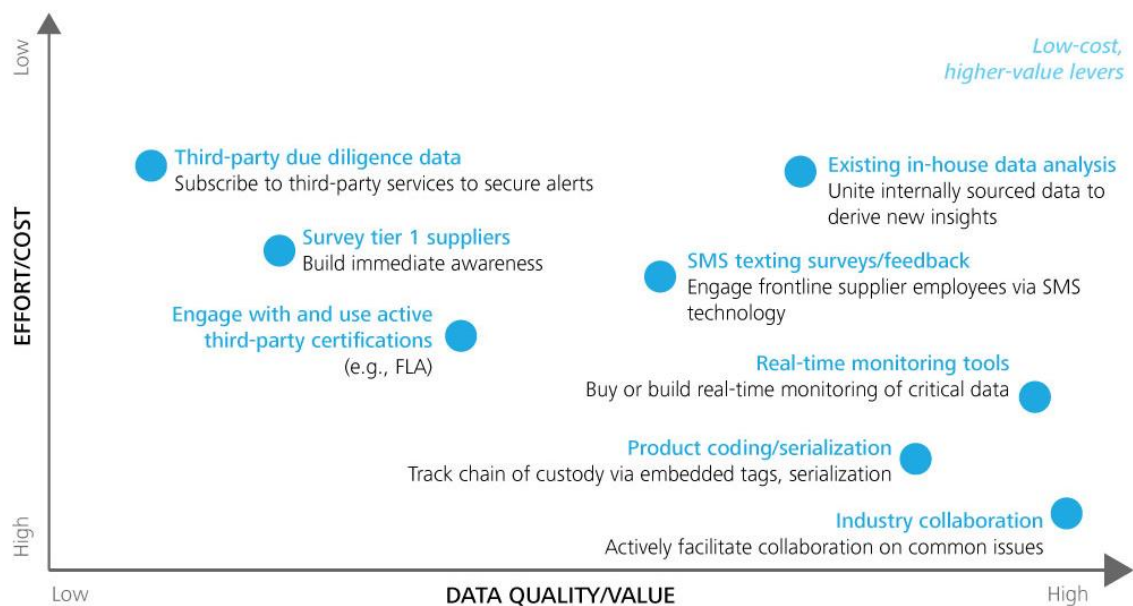
1. Miten lohkoketjuteknologia toimii?
2. Miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää toimitusketjunhallinnassa?

Nykytilanne ja ongelman määrittely

Toimitusketju edustaa tuotteen syntymisen matkaa raaka-aineista kuluttajalle saakka. Monimutkaisimmat ja pisimmät toimitusketjut sisältävät jopa satoja eri välivaiheita ja tasoja useissa eri maissa. Yritykset eivät halua paljastaa ulkopuolisille tuotteidensa toimitusketjuja, sillä pahimmassa tapauksessa se saattaisi saattaa heidän toimintonsa kyseenalaisiksi. Esimerkiksi Foxconn, Applen merkittävä kiinalainen toimittaja, jäi kiinni epäinhimillisistä työolosuhteista, kun työntekijät suorittivat itsemurhia ja sitä kautta keräsivät ulkopuolisten huomion. [Hefernan 2013.]

Toimitusketjujen sisällä läpinäkyvyyteen vaikuttaa erilaisten toiminnanohjausalojen sopimattomuus, työntekijöiden osaamattomuus ja läpinäkyvyyden merkittävyyden puute. Kuluttajalla ei ole luotettavaa tapaa varmistaa ostetun tuotteen tai palvelun todellista arvoa, sillä toimitusketjusta ei ole saatavilla riittävästi tietoa. Toimitusketjun osapuolet eivät pysty jäljittämään toimitustensa tarkkaa sijaintia toimitusketjussa, mikä mahdollistaisi tarkemmat ennusteet ja prosessien optimoinnin. Lohkoketjuteknologialla on potentiaalia toimia läpinäkyvyyden lisäämisen pohjaratkaisuna.

Deloitte listaa viisi vaihetta kohti läpinäkyvämpää toimitusketjua, jotka ovat riskien tunnistaminen, riskien visualisointi, läpinäkyvyyttä lisäävien keinojen käyttö, sekä hallinnointi ja seuranta. Kuvassa 1 on esitettyä erilaisia läpinäkyvyyttä lisääviä keinoja. Deloitte painottaa artikkelissaan teknologian hyödyntämistä läpinäkyvyyden lisäämiseen. [Linich 2014.] Toimitusketjun analytiikalla voitaisiin minimoida Forrester-ilmiotä, kun osapuolet saisivat välittömästi tiedon kysynnän muutoksista [Rorencrance 2016]. Lohkoketjun soveltaminen toimitusketjunhallinnassa tukee Deloitteen mainitsemia viittä vaihetta kohti läpinäkyvämpää toimitusketjua.



Kuva 1. Läpinäkyvyyttä lisäävät keinot (Linich 2014).

Insinöörityön rajuus ja rakenne

Lohkoketjun tutkiminen alkaa perehtymällä sen ensimmäiseen käyttökohteeseen, Bitcoin-virtuaalivaluuttaan. Virtuaalivaluutta toimii johdantona lohkoketjuteknologialle, sillä se antaa käsityksen hajautetun kirjanpidon periaatteesta ja lohkoketjun toiminnasta.

Bitcoinin jälkeen tutkitaan esineiden internetiä ja mahdollisuutta hyödyntää siinä lohkoketjuteknologiaa, sillä molempia tullaan käyttämään yhdessä lohkoketjupohjaisessa toimitusketjunhallinnassa. Tulevaisuudessa internet-verkon laajentuminen sensoreihin ja laitteisiin mahdollistaa aiempaa suuremman

informaatiovirran toimitusketjuissa. Lohkoketjulla voitaisiin mahdollisesti hallita suurta määrää tietoa turvallisesti ja hajautetusti.

Tämän jälkeen perehdytään toimitusketjujen muodostamiin ekosysteemeihin. Lohkoketjun hyödyntäminen toimitusketjunhallinnassa edellyttää toimijoiden keskeistä ekosysteemiä, jossa osapuolet tekevät yhteistyötä yhteisen hyödyn saavuttamiseksi. Lohkoketjun hyödyntämisellä on myös ekosysteemiä edistävä vaikutus, kuten luottamuksen lisääminen ja tiedon nopeampi saatavuus.

Toimitusketjun ekosysteemien jälkeen selvitetään lohkoketjuteknologian hyödyntämistä toimitusketjunhallinnassa, erityisesti läpinäkyvyyden kannalta. Hajautettu kirjanpito tarkoittaa tiedon tallentamista useissa eri paikoissa. Välittömästi päivittyvät transaktiot koko toimitusketjussa lisää läpinäkyvyyttä toimitusketjun tapahtumista.

Seuraavaksi insinööriyössä käsitellään työn johtopäätöksiä, sekä pohdintaa lohkoketjun potentiaalisuudesta ja tulevaisuudesta. Teknologia tulee mahdollistamaan uudenlaisten innovaatioiden syntymisen, joka aiemmin ei ole ollut mahdollista, esimerkiksi automaattisesti toimivat organisaatiot (decentralized autonomous organization). Teknologian todellisen potentiaalin löytämiseen ja ymmärtämiseen menee kuitenkin vielä useita vuosia.

Lopuksi insinööriyössä käsitellään yhteenvetoa tutkimuksesta. Yhteenvedossa on kerrattuna työn olennaiset tulokset ja päätelmät.

Tietoperusta ja menetelmät

Aineistoa kerättiin tieteellisistä julkaisuista ja nettiartikkeleista. Kaikki materiaali oli saatavilla internetistä, josta valtaosa oli korkeintaan muutamia vuosia vanhaa. Lohkoketjuteknologiasta materiaalia löytyi paljon, mutta lohkoketjun soveltamisesta toimitusketjun hallinnassa löytyi niukasti. Useat toimijat vasta tutkivat lohkoketjun soveltamista toimitusketjunhallintaan, joten konkreettista materiaalia on julkaistu vähän. Materiaalista pyrittiin löytämään yhtäläisyyksiä lohkoketjun tarjoamien hyötyjen ja toimitusketjunhallinnan ongelmien välillä. Hyötyjen ja ongelmien analysoinnin sekä olemassa olevan materiaalin tutkimisen jälkeen yhtäläisyydeksi paljastui läpinäkyvyys ja

siihen liittyvät asiat, kuten seurattavuus ja luottamus. Tämän lisäksi saatavilla olevaa materiaalia hyödynnettiin tukemaan omia päätelmiä, kuinka teknologiaa voisi hyödyntää.

2 Bitcoin

Lohkoketjuteknologian tutkiminen aloitetaan perehtymällä Bitcoin-virtuaalivaluutan toimintaan. Virtuaalivaluutta oli lohkoketjuteknologian ensimmäinen käyttökohde. Luku antaa perehdytyksen hajautetun kirjanpidon periaatteesta, lohkoketjuteknologian ominaisuuksista ja sen toiminnasta. Perehdytyksen tarkoituksena on antaa yleiskuva lohkoketjusta ennen aiheen varsinaista tarkastelua. Lohkoketjua voidaan kuitenkin ohjelmoida eri vaatimuksia vastaavaksi, ja virtuaalivaluutat ovat vain yksi lohkoketjun useista käyttökohteista.

2.1 Virtuaalivaluutan tausta

Bitcoin on ensimmäinen avoimeen lähdekoodiin perustuva virtuaalivaluutta, jota ei säätele mikään keskushallinto. Valuutta on noussut potentiaaliseksi kilpailijaksi perinteisille maksumenetelmille ja monet suuret yritykset ympäri maailman sallivat Bitcoinit maksutavaksi [CoinDesk 2015]. Samaan aikaan valtiot ja keskushallinnot ovat olleet skeptisiä virtuaalivaluutan suhteen. Suomen Pankki uutisoi Bitcoinista seuraavanlaisesti:

Bitcoin ei nyky muodossaan täytä virallisen rahan tai maksupalvelulain mukaisen maksuvälineen kriteerejä. Sen käyttö maksamisessa nojaa maksajan ja maksunsaajan keskinäiseen sopimukseen, eivätkä viranomaiset laske sitä liikkeeseen. Virtuaalivaluutan arvo perustuu sen kysyntään ja tarjontaan. Bitcoinin ostovoimasta tai sen vakaudesta eivät vastaa viranomaiset tai mikään julkinen taho, ja se voi menettää arvonsa. Bitcoinin käyttöä ei tällä hetkellä valvota ja säännellä. [Heikkinen 2014.]

Salanimeä "Satoshi Nakamoto" käyttävä henkilö tai taho julkaisi vuonna 2008 virtuaalivaluutan kuvauksen nimeltä: "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". Artikkelissa hän esitti uuden virtuaalivaluutan toimintaa, ja tammikuussa 2009 valuutta sai alkunsa. Uutta valuutta ei säädellyt mikään hallinto toisin kuin perinteisiä valuttoja. Kuvauksessa kerrottiin hajautetun kirjanpidon sekä kryptografisten varmenteiden toimivan luottamuksen pohjana ja eliminoivan tarpeen kolmannelle osapuolelle maksutransaktioissa. Bitcoineja pystyy lähettämään henkilöltä henkilölle suoraan, ilman kolmannen osapuolen välitystä. [Nakamoto 2008: 1.]

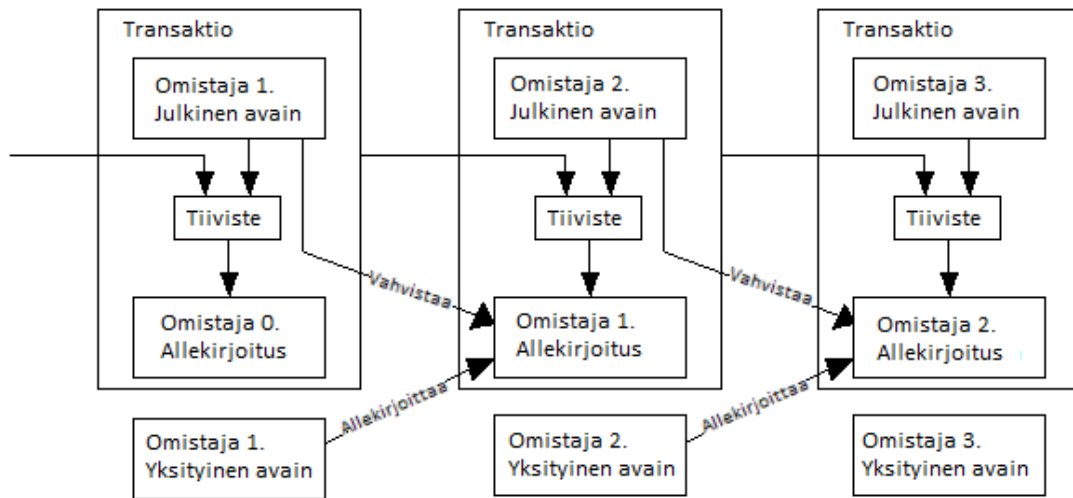
2.2 Transaktiot

Jokaisella valuutan haltijalla on "Bitcoin-lompakko", johon kuuluu kaikille näkyvä julkinen avain (vastaanottoa varten) ja lompakkokohtainen yksityinen avain (lähettämistä varten). Kuvassa 2 on esitetty Bitcoin-transaktioiden prosessi. Valuutan siirto tapahtuu lähettämällä Bitcoineja julkiseen osoitteeseen ja yksityisellä avaimella pystytään varmentamaan lähetys aidoksi. Julkinen osoite on tiivistefunktio julkisesta avaimesta. Tiivistefunktion käyttö valuutan vastaanottamisessa parantaa turvallisuutta, sillä tiivisteet ovat "yksisuuntaisia", eli tiivistefunktiosta ei voida päätellä alkuperäistä avainta.

Transaktiot rekisteröidään lohkoketjuna, jossa jokainen lohko sisältää useita transaktiota, jotka pitävät sisällään seuraavat tiedot: lähettäjän sekä vastaanottajan julkiset osoitteet, transaktion suuruus ja kellonajan transaktion tekohetkestä. Transaktiot linkittyvät toisiinsa kryptografisten tiivisteiden avulla, jotka muodostuvat aina edellisen transaktion datan perusteella. Näin ollen muutokset edellisessä transaktiossa muuttaisivat tiivistettä, jolla transaktiot ovat linkittyneinä toisiinsa ja rikkoisi ketjun.

Bitcoineja siirtäessään täytyy lähettäjän ensin allekirjoittaa omalla avaimella edellisen transaktion tiiviste ja vastaanottajan julkinen osoite, jonka jälkeen muut tietokoneet vertaisverkossa varmistavat transaktion aidoksi ja nämä tiedot liitetään lohkoketjuun heti, kun uuden lohkon algoritmin vastaus on löytynyt. Hyökkäyksen tai virheen sattuessa verkoston solmut varoittavat virheellisistä lohkoista ja hylkää ne. Uuden lohkon

liittyminen lohkoketjuun sinetöi sillä hetkellä odottavat transaktiot ja päättää transaktioprosessin. [You need to know 2016; Nakamoto 2008: 2.]



Kuva 2. Bitcoin transaktioiden prosessi (Nakamoto 2008: 2).

Virtuaalivaluuttaa ylläpitää vertaisverkosto, joka perustuu hajautetun kirjanpidon periaatteeseen. Jokaisella verkoston jäsenellä on tallennettu koko lohkoketju transaktioineen tietokoneella. Verkosto toimii seuravanlaisesti:

1. Uudet transaktiot esitetään kaikille soluille.
2. Jokainen solu kerää transaktiot lohkoksi.
3. Jokainen solu yrittää ratkaista haastavaa kryptografista algoritmiä.
4. Vastauksen löytänyt tietokone esittää vastauksensa verkolle ja verkko vahvistaa vastauksen oikeaksi.
5. Verkosto hyväksyy lohkon, jos kaikki transaktiot ovat käyttämättömiä ja voimassa olevia.
6. Solut jatkavat ratkaisemalla seuraavan lohkon algoritmiä käyttämällä edellisen lohkon tiivistettä. [Nakamoto 2008: 3.]

Kaikki transaktiot ovat julkisia ja ne ovat saatavilla osoitteessa <https://blockchain.info/>. Transaktiot tapahtuvat julkisten osoitteiden välillä, joten osoitteiden omistajien henkilöllisyys pysyy tuntemattomana.

2.3 Valuutan syntyminen

Yksittäiset tietokoneet ympäri maailman, jotka ovat liittyneitä Bitcoin-verkoston, muodostavat vertaisveroston. Valuuttaa syntyy "louhimalla" Bitcoineja, mikä tarkoittaa tietokoneen laskentatehon käyttämistä algoritmin vastauksen löytämiseksi. Tarkoituksena on arvata vastaus algoritmiin, joka on pienempi kuin tavoitearvo. Jokainen verkon jäsen voi halutessaan osallistua louhimisprosessiin, mutta Bitcoinin käyttö on mahdollista ilman osallistumistakin. Louhinnan tarkoituksena on estää valuutan kaksinkertainen käyttäminen, liittää transaktiot lohkoketjuun sekä luoda lisää Bitcoineja. Bitcoinien määrä on ohjelmoitu kasvavan 21 milj. kappaleeseen, jonka jälkeen louhintaa rahoitetaan transaktiomaksuilla.

Hyväksyntää odottavat transaktiot ovat pakattuna uudessa lohkoissa, jonka vastausta tietokoneet yrittävät arvata. Oikean vastauksen löytyessä löytäjä jäsenen lohko liitetään lohkoketjun jatkeeksi ja jäsen palkitaan uusilla Bitcoineilla. Mitä suurempi laskentateho käyttäjällä on käytettävissä, sitä todennäköisemmin hän arvaa algoritmin vastauksen. Lohkopalkkio puolittuu jokaisen 210 000:n lohkon jälkeen (noin neljän vuoden välein), kunnes kaikki 21 miljoonaa Bitcoinia on louhittuna. Lohkoketjun vaikeustasoa päivitetään 2016:a lohkon (noin 2 viikon) välein. Ennalta ohjelmoitu tavoite on luoda uusi lohko noin 10 minuutin välein eli laskentatehon kasvaessa vaikeustasoa nostetaan, jotta pysyttäisiin tavoiteajassa. [Bitcoin Block Reward Halving Countdown; How does bitcoin work 2016.]

2.4 Proof of work

Työntodistus (proof of work) on osa dataa, joka on haastavaa luoda, mutta helppo tarkistaa. PoW voidaan verrata numerolukkoon, jota avatessa täytyy arvata oikea numerosarja, mutta sen jälkeen se on helppo todentaa. Bitcoinissa työntodentamisprosessia kutsutaan "louhimiseksi", johon kuka tahansa verkon jäsen voi osallistua.

Bitcoinien louhinta perustuu SHA-256-algoritmin vastauksen löytämiseen, joka vaatii nykyään paljon laskentatehoa. Algoritmin luonteen vuoksi sitä on mahdotonta ratkaista päättelemällä, vaan ratkaisu tapahtuu arvaamalla oikea vastaus. Oikean vastauksen löytänyt tietokone palkitaan lohkopalkkion lisäksi transaktiomaksuilla ja kyseinen lohko liitetään lohkoketjuun. Transaktiot ovat sitä varmempia, mitä enemmän uusia lohkoja on syntynyt kyseisen lohkon jälkeen. Hyökkäyksen sattuessa hyökkääjän tulisi laskea kaikki algoritmit uudestaan kyseisen lohkon jälkeen muuttaakseen transaktioita kyseisessä lohkoissa. [Nakamoto 2008: 3.]

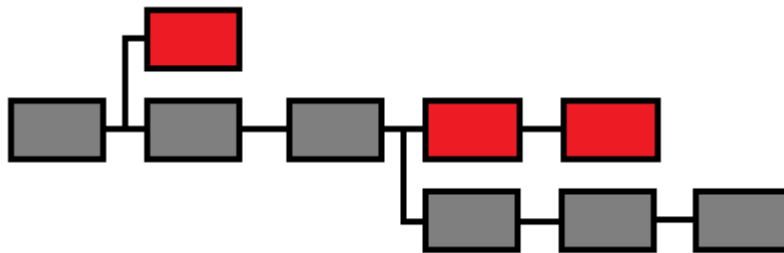
Prosessi vaatii paljon energiaa ja on siksi todella kallis. Kyseinen konsensusprosessi on myös hidas, koska tietokoneiden tulee löytää ratkaisu matemaattiseen algoritmiin. Yksinkertainen algoritmi vaatisi vähemmän laskentatehoa ja olisi nopeampi, mutta samalla heikentäisi turvallisuutta.

2.5 Bitcoinin lohkoketju

Bitcoin-maksutapahtumat kirjataan lohkoketjuun, josta ne pystytään myöhemmin jäljittämään aina ensimmäiseen transaktioon asti. Uusi lohko syntyy keskimäärin 10 minuutin välein, joka vahvistaa sillä hetkellä varmistusta vailla olevat transaktiot osaksi lohkoketjua. Uuden lohkon syntyminen edellyttää kryptografisen algoritmin ratkaisemista, joka vaatii paljon laskentatehoa. Lohkot linkittyvät toisiinsa tiivisteiden avulla, koska uuden lohkon ratkaisun löytämiseksi tarvitaan edellisen lohkon tiivisteiden lukuarvoa. Muuttaakseen aiempaa lohkoa hyökkääjän tulisi laskea kaikki lohkot uudelleen kyseisen lohkon jälkeen. Systemi toimii, kun suurin osa solmuista on rehellisiä, eikä hyökkääjän omistamia. [Nakamoto 2008: 2.]

Hyökkäys on kuitenkin mahdollinen. Bitcoinin yleistymisen myötä yhä useampi louhija on nykyään Kiinassa. Halvan energian vuoksi Kiinaan on perustettu Bitcoinin louhintayrityksiä, jotka voivat olla riski tulevaisuudessa, mikäli suuri määrä laskentatehosta on yhden toimijan omistamana. Vuonna 2014 maailman suurin Bitcoin-louhintayhteisö GHash hallitsi yli 50 % koko Bitcoinin louhintaan tarkoitettusta tietokoneiden laskentatehosta noin 12 tunnin ajan [Goodin 2014]. GHash:lla oli mahdollisuus manipuloida lohkoketjua, kuten estämällä muiden transaktioiden vahvistamista, sekä Bitcoinien kaksinkertaisella käyttämisellä. Virtuaalivaluutan yksi periaatteista on hajautettavuus, joka voi olla tulevaisuudessa uhattuna.

Lohkoketjun on mahdollista haarautua hetkellisesti, kun kaksi tietokonetta löytää vastauksen algoritmiin saman aikaisesti. Kuvassa 3 on esitettyä lohkoketjun hetkellinen haarautuminen, jossa punaiset lohkot edustavat orpolohkoja ja harmaat varsinaista lohkoketjua. Haarautumisen tapahtuessa verkoston tietokoneet yrittävät ratkaista molempia lohkoja ja lopulta toisen lohkon algoritmiin löydetään vastaus, jolloin haarautuminen katkeaa. Kyseessä voisi olla myös hyökkääjän yritys muuttaa kyseistä lohkoa, josta haarautuminen alkaa, jonka seurauksena sen tulee laskea kaikki lohkot uudelleen sen jälkeen. Varmin lohkoketju on se, johon sisältyy eniten laskentatehoa, eikä eniten lohkoja. Esimerkiksi hyökkääjä voisi luoda useita pienellä laskentateholla varustettuja lohkoja, tehdäkseen siitä pisimmän lohkoketjun. [Hruska 2014.]



Kuva 3. Lohkoketjun haarautuminen.

3 Lohkoketju

Tässä luvussa käsitellään lohkoketjuteknologian ominaisuuksia sekä toimintaa ilman ennalta määriteltyä sovelluskohdetta. Teknologiaa hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida käyttökohde, joka määrittelee räätälöidymmät ominaisuudet. Luvun tarkoituksena on antaa käsitys ominaisuuksien mahdollisuuksista, kuten hajautettu tiedon tallentaminen, luottamuksen tarjoaminen systeemissä ja automatisoidut sopimukset.

Teknologia esiteltiin ensimmäisen kerran yhdessä Bitcoin-virtuaalivaluutan kanssa artikkelissa ”Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” vuonna 2008, vaikka teknisesti siinä ei ollutkaan mitään uutta. Nykyään nämä kaksi nähdään erillisinä toisistaan ja lohkoketjua on alettu hyödyntämään useilla eri aloilla.

Lohkoketjuteknologia tarjoaa tavan pitää yhteyttä, jossa itse teknologia sisältää luottamuksen. Jokaisella osapuolella on käytössään kopio yhteisestä kirjanpidosta, joten transaktiot päivittyvät välittömästi kaikkien näkyville. Transaktiot tallennetaan lohkoihin, jotka liittyvät toisiinsa kryptografisilla tiivisteillä, muodostaen lohkoketjun. Lohkoketjua voidaan soveltaa aina omaisuuden rekisteröimisestä, pörssin kaupankäyntiin asti. [The great chain of being sure about things 2015.]

Mika Lammi [2016], Head of IoT Business Development, Kouvola Innovation Oy:stä tiivistää lohkoketjun idean haastattelussaan:

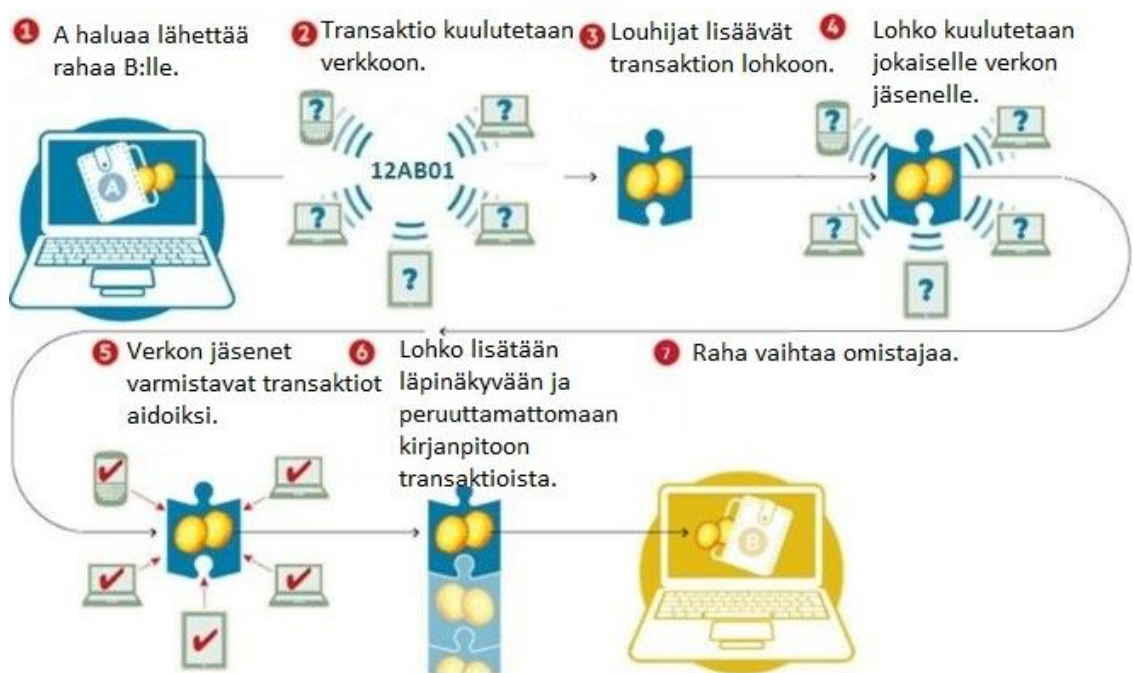
”Lohkoketjuteknologia on vallankumouksellinen lähestymistapa tiedon siirtoon, tallentamiseen ja käsittelyyn. Se tulee olemaan yksi teollisen internetin pohjaratkaisuista ja mullistamaan useita teollisuuden ja liiketoiminnan aloja. Uusi teknologia mahdollistaa tavaravirtojen reitittämistä koskevien tietovirtojen optimoinnin ja jakamisen toimijoiden kesken ennen näkemättömällä tavalla.”

3.1 Toimintaperiaate

Hajautetun kirjanpidon tarkoituksena on poistaa kolmannen osapuolen tarjoama luottamus, sillä luottamus on sisällytetty systeemiin. Data ei ole tallennettuna vain yhdessä paikassa, vaan jokaisessa kyseisen verkon jäsenten tietokannassa. Jokainen verkon jäsen näkee kaikki muutokset tietokannassa, mikä tekee väärentämisen lähes mahdottomaksi. Uudet transaktiot kirjataan lohkoketjuun, joka liitetään edellisten lohkojen

perään, jolloin saadaan kirjanpidon ketju. Esimerkiksi domain-markkinat toimivat keskitettyjen kauppapaikkojen kautta, jotka veloittavat jopa 6 % kaupan hinnasta. Luomalla kauppapaikka lohkoketjun päälle, jossa maksuna käytetään samaa lohkoketjua hyödyntävää virtuaalivaluuttaa (Namecoin), voidaan saavuttaa lähes kuluton kaupankäynti. [Buterin 2015.]

Lohkoketjuverkon jäsenet ovat yhteydessä toisiinsa kuuluttamalla viestejä verkkoon. Lohkoketjussa transaktiot ovat peruuttamattomia. Transaktioista jää aina jälki kirjanpitoon, jolloin transaktiota peruuttaessa, joudutaankin tekemään transaktio vastakkaiseen suuntaan. Transaktioihin merkitään aikaleima, mikä vaikeuttaa niiden väärentämistä. Aikaleima estää transaktioiden kahdenkertaisen käyttämisen, sillä vilpin sattuessa ainoastaan aikaisempi transaktio hyväksytään. [Nakamoto 2008: 2.] Kuvassa 4 on esitettynä rahansiirtymisprosessi lohkoketjussa.



Kuva 4. Lohkoketjupohjainen rahansiirtymisprosessi (Wild ym. 2015).

3.2 Julkinen ja yksityinen lohkoketju

Määriteltäessä uutta lohkoketjua tulee sen olla joko julkinen tai yksityinen. Yleensä se on sekoitus molempia (hybridilohkoketju). Julkisessa versiossa kuka tahansa voi lukea

kyseistä lohkoketjua, lähettää transaktioita ja osallistua *konsensusprosessiin* - prosessiin, jossa verkosto päättää uuden lohkon liittämistä lohkoketjuun. Tällaisten lohkoketjujen ajatellaan olevan täysin hajautettuja. Esimerkiksi Bitcoinin lohkoketju on julkinen. Julkisen lohkoketjun käynnistyttyä jopa itse kehittäjä ei voi tehdä siihen muokkauksia ilman muiden hyväksyntää. Näin ollen se on immuuni kaikelle sensuurille ja manipuloinnille.

Täysin yksityisessä lohkoketjussa konsensusprosessi on keskitettynä yhteen toimijaan. Lukuoikeus saattaa olla julkinen tai rajattu tietyille ryhmälle, kuten datakeskuksen hallinnointi ja auditoinnit. Esimerkiksi isot korporaatit saattavat tehdä yrityksen sisäisiä yksityisiä lohkoketjuja tehostukseensa sisäisiä prosessejaan. Tällaisia lohkoketjuja pidetään keskitettyinä, jolloin tarvitaan luottamusta kyseiseen toimijaan.

Hybridilohkoketjussa konsensusprosessia hallitsevat ennalta määritetyt verkon jäsenet. Esimerkiksi talousinstituutit voivat muodostaa keskenään muiden toimijoiden kanssa lohkoketjun, joka voi olla julkisesti nähtävillä, mutta vain talousinstituutioilla on oikeus kirjoittaa siihen. Tällaisia lohkoketjuja pidetään "osittain hajautettuina". [Buterin 2015.]

Yksityisen ja hybridilohkoketjun täysivaltainen omistaja voi helposti muuttaa koodattuja ehtoja, muuttaa saldoja ja peruuttaa transaktioita. Esimerkiksi ei olisi mahdollista, että Dread Pirate Roberts yrittäisi rekisteröidä tonttia nimiinsä viranomaisen hallitsemassa lohkoketjussa. Tällaisissa verkoissa jäseniä on yleensä vähän ja he ovat keskenään tunnettuja, eikä 51%-hyökkäys ole realistinen. Verkon pienen koon vuoksi transaktiot ovat halpoja ja nopeita todentaa, sillä konsensusprosessi vaatii suhteessa vähemmän aikaa. Esimerkiksi Bitcoin tarjoaa lähes 100 %:n todentamisen varmuuden noin kahden tunnin kuluttua transaktiosta. Riippuen lukuoikeuksista tällaiset lohkoketjut tarjoavat korkeamman yksityisyyden tason sen käyttäjille. [Buterin 2015.]

Lohkoketjuverkko voidaan ohjelmoida yksilölliseen tarkoitukseen, mikä mahdollistaa teknologian hyödyntämisen hyvinkin erilaisissa käyttökohteissa. Esimerkiksi terveydenhoitoala ja poliisi voivat muodostaa keskenään lohkoketjuverkon, johon terveydenhoidolla on mahdollisuus kirjata ja muokata ihmisten terveystietoja ja poliisilla ainoastaan mahdollisuus tietojen lukuun. Järjestelmä tehostaisi terveydenhoitoon liittyviä lupa-asioiden käsittelyä, kuten poistaisi tarpeen erilliselle tiedon tallentamiselle ja nopeuttaisi tiedon välittymistä toimijoiden välillä. Liitteessä 1 on esitettyä lohkoketjun soveltamisen hyötyjä.

3.3 Lohkoketju 2.0

Toisen sukupolven lohkoketjulla viitataan lohkoketjun hyödyntämisellä älysopimuksissa. Älysopimuksella tarkoitetaan kahden tai useamman osapuolen välistä sopimusta, jonka ehdot on määritelty lohkoketjuun perustuvaan koodiin. Koodi toimii automaattisesti ja suorittaa ennalta määritellyt toimenpiteet sopimuksen ehtojen täytyessä. Älysopimuksen tarkoituksena on mahdollistaa kahden tuntemattoman osapuolen välinen sopiminen ilman kolmatta osapuolta. [Szabo 1996.] Esimerkiksi kahden henkilön välinen vedonlyönti voi perustua heidän väliseen luottamukseen, sopimukseen tai kolmannen osapuolen tarjoamiin palveluihin. Mikään vaihtoehtoista ei takaa, että häviöjä maksaisi ja kolmannen osapuolen palvelut ovat yleensä kalliita verrattuna lohkoketjun tarjoamaan ratkaisuun. Lohkoketjua hyödyntämällä voidaan luoda älysopimus, jonka ehdot on etukäteen määritelty. Lohkoketjuun koodattu ohjelma pidättää maksun molemmilta osapuolilta ja vedonlyönnin ehtojen täytyessä siirtää maksun automaattisesti voittajalle.

Älysopimuksen ehdot määritellään koodiksi ennen toimeenpanemista. Molemmat osapuolet hyväksyvät älysopimuksen säännöt ja seuraamukset, joita ei voi muuttaa toimeenpanemisen jälkeen. Ominaisuus tekee sopimuksista muuttamattomia eli jos koodiin on jäänyt virhe toimeenpanon jälkeen, niin sitä ei voida poistaa. Sopimus toimeenpannaan kuuluttamalla sopimus vertaisverkkoon, kuten Bitcoin-transaktiot kyseisen valuutan vertaisverkossa. Toimeenpanon jälkeen vertaisverkko päättää sopimuksesta, mikä poistaa riippuvuuden ainoastaan yhteen toimijaan (asianajotoimisto) ja tekee sopimuksesta korruptoimattoman. Älysopimukset koodataan muotoon, jossa jokaisen koodin suorittajan tulee saada sama lopputulos koodista.

Sopimukseen liitetään ulkoisen maailman datan lähteet "oraakkelin" kautta, joista saadaan tietoa sopimuksen suorittamista varten. Oraakkelin tehtävänä on lähettää älysopimukseen sopimuksen kannalta kriittistä dataa, jota se ei voi itse kerätä. Oraakkeli toimii keskitettynä toimijana, johon ei pidä automaattisesti luottaa. Esimerkiksi pyydettyäessä Bitcoinin arvoa oraakkeli voi kerätä kurssihinnan useammalta eri pörssiltä ja siten syöttää sopimukseen kurssien keskiarvon. Tässä tapauksessa luottamus tulisi olla kyseisiä pörssiä vastaan oraakkelin sijasta. [How does an oracle work 2017; Kehrl 2016.]

3.4 Ethereum

Ethereum on lohkoketjuun pohjautuvien älysopimusten alusta. Hajautettu alusta mahdollistaa käyttäjien luovan älysopimusten lisäksi, esimerkiksi virtuaalivaluttoja ja omistusrekistereitä, jotka eivät ole riippuvaisia kolmannelta osapuolelta. Verkkoa ylläpitää Bitcoinin kaltainen vertaisverkosto. Verkon "louhijat" palkitaan lohkoketjun omalla virtuaalivaluutalla, *Etherillä*. Etherillä maksetaan transaktiomaksut, joilla vältetään roskapostin lähettämistä (ilmaiset transaktiot mahdollistavat kuluttoman verkon kuormittamisen). Ethereumissa ihmiset, botit ja sopimukset voivat vastaanottaa ja lähettää transaktioita. Sopimus "elää" Ethereumin lohkoketjussa, joka aktivoituu aina transaktion tapahtuessa. Sopimuksen koodi reagoi transaktioon ja suorittaa tarvittavat toimenpiteet. [Buterin ym. 2014]. Esimerkiksi tavaran lähettäjä ja vastaanottaja luovat älysopimuksen, jossa tavaran vastaanottaja kuittaa maksun automaattisesti noutaessaan tavaran. Toimenpide on halvempi ja nopeampi kuin esimerkiksi postiennakolla maksaminen.

4 Esineiden internet

Tässä luvussa esitellään lyhyesti internet-verkon laajentuminen laitteisiin ja sensoreihin. Luvun lopussa pohditaan aiheen mahdollisia haasteita tulevaisuudessa. Esineiden internet tulee olemaan tärkeässä roolissa lohkoketjun soveltamisessa toimitusketjun hallinnassa. Esineiden internetin hyödyntäminen toimitusketjuissa mahdollistaa laajemman tietojen keräämisen, kuten yksityiskohtaisemmat tiedot materiaalin tilasta tai sen käsittelystä. Luku antaa perehdytyksen seuraavalle aiheelle, jossa käsitellään lohkoketjun soveltamista esineiden internetissä.

Esineiden internetillä (Internet of Things) tarkoitetaan internet-verkon laajentumista koneisiin ja laitteisiin, mikä mahdollistaa niiden hallitsemisen internet-yhteyden avulla. IoT mahdollistaa koneiden kehittymisen seuraavalle tasolle, jossa koneet ovat kykeneviä aistimaan ympäristöään erilaisten sensorien avulla ja viestimään älykkäästi internet-yhteyden kautta [Yritysjohdon opas IoT ja teollisen internetin hyödyntämiseen 2016]. Nimitystä ”Esineiden internet” käytetään, kun kohteena on kuluttaja (älylaitteet, autot ja kodinkoneet), kun taas nimitystä ”teollinen internet” (Industrial Internet of Things) käytetään teollisuuden näkökulmassa. Asiat tarkoittavat lähtökohtaisesti samaa, mutta niiden käyttötarkoitus määrittää nimen [IoT vs IIoT 2016]. IIoT on keskeinen osa lohkoketjuteknologian implementoimista toimitusketjuihin, koska edellytyksenä on saumaton verkkoyhteys eri laitteiden välillä.

Teollista internetiä pidetään seuraavana ”teollisena vallankumouksena”, sillä se tulee muuttamaan ihmisten tapaa tehdä työtä, viettää vapaa-aikaa ja matkustaa. Laajentunut internet-verkko tarjoaa mahdollisuuden hallita isompia kokonaisuuksia ja muodostaa ekosysteemejä yritysten välille, mikä edellyttää asiakassuhteiden kehittymistä toimijoiden välillä. John Greenoughin [2016] tiivistelmässä mainitaan, että vuoteen 2020 mennessä maailmassa on arviolta 34 miljardia laitetta yhdistettynä internetiin ja vuoteen 2021 mennessä käytetään yhteensä 6 biljoonaa dollaria IoT-ratkaisuihin.

Esineiden internetiin liittyy useita teknisiä haasteita, jotka rajoittavat sen käyttösovelluksia. Puolijohdeiden valmistajien tulee investoida sirujen suunnitteluun ja valmistukseen vastatakseen esineiden internetin vaatimuksiin. Monet prosessit vaativat sensoreiden ja laitteiden kestävyyttä, jotka ovat riippuvaisia energiansaannista. Komponenttien tulee olla energiatehokkaita ja kooltaan pieniä vastatakseen erilaisiin tarpeisiin, kuten älykelloihin. Infrastruktuurin tulee tarjota nopea internet-yhteys, joka

kestää suuren määrän laitteita toisiinsa liittyneinä. Esimerkiksi keskiverto älykoti saattaa sisältää 50–100 laitetta yhdistettynä toisiinsa, kuten valot, elektroniikan ja termostaatin. [Bauer ym. 2014.]

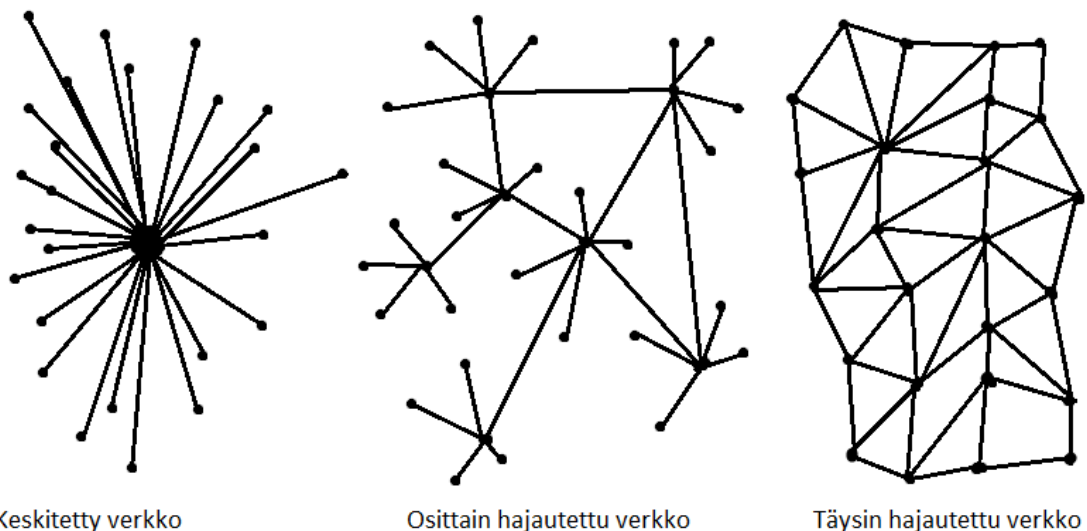
Tietoturva ja yksityisyys tulee määrittelemään IoT:n käytön luottamuksellisissa ja salausta vaativissa prosesseissa. Nykyinen malli, jossa laitteet ovat tunnistettuja ja yhteydessä toisiinsa pilvipalvelimien kautta, ei pysty vastaamaan tulevaisuuden suuriin IoT-ekosysteemien vaatimuksiin. Yhdistettyjen laitteiden määrä tulee olemaan miljoonia ja transaktioiden määrä miljardeja. Olemassa olevat turvallisuusratkaisut ovat kalliita ja teknisesti rajoittuneita, koska ei ole olemassa yhtä ainoaa alustaa, jolla kaikki laitteet toimisivat, eikä ole mitään takuuta eri valmistajien alustojen yhteensopivuudesta. Pilvipalvelimet pysyisivät pullonkauloina, vaikka tekniset ja taloudelliset ongelmat saataisiin ratkottua. Valtaosa IoT-verkoista on keskittyneitä, jolloin niiden toimivuus on riippuvainen palveluntarjoajan ja palvelimen välisestä toiminnasta. Keskitetyt palvelimet ovat uhkana joutua palvelunestohyökkäykseen, joka tapahtuessaan kaataisi kyseisen IoT-verkon. [Bauer ym. 2014; Dickson 2016a; Dickson 2016b.]

Esineiden internet on jatkuvassa kehityksessä, ja uusia standardeja määritellään tarpeen mukaan. Standardit voidaan jakaa teknologisiin (esim. tietoverkko- ja viestintäprotokollat) ja sääntelystandardeihin (esim. turvallisuus ja yksityisyys). Yhteisymmärrys standardien parhaimmuudesta puuttuu, koska käyttökohteiden vaatimukset vaihtelevat suuresti. Yksi ratkaisu olisi käyttää useita eri standardeja ja protokollia yhdessä, jolloin voitaisiin puhua ”esineiden interneteistä”. Standardeihin liittyvät haasteet koskevat erityisesti jäsentelemätöntä dataa, turvallisuus- ja yksityisyysasioita, jotka vaikuttavat datamarkkinoiden luonteeseen. [Banafa 2016; How the Internet of Things Will Overcome a Lack of Standards 2015.]

5 Lohkoketju ja esineiden internet

Viidennessä luvussa käsitellään lohkoketjun soveltamista esineiden internetissä. Esineiden internet tulee moninkertaistamaan yhdistettyjen laitteiden määrän, mikä tuo omat haasteensa liittyen verkon nopeuteen ja turvallisuuteen. Lohkoketjulla on potentiaalia toimia tässä ratkaisuna. Luvussa tarkastellaan verkkojen hajautettavuuden eroavaisuuksia sekä lohkoketjun sopivuutta hajautettuihin verkkoihin.

Ratkaisu esineiden internetin nopeuteen ja yhteyteen on hajautettavuus. Kuvassa 5 on esitettyä erilaiset verkon jakamistavat, jossa pisteet edustavat verkon solmuja ja viivat niiden välisiä yhteyksiä. Hajautettu IoT-verkko poistaa tarpeen keskitetyltä toimijalta, jolloin transaktiot menevät suoraan laitteesta laitteeseen ilman palvelinta tai keskusyksikköä. Yhden laitteen kaatuminen ei kaataisi koko verkkoa, eikä verkko ole riippuvainen yhdestäkään verkon jäsenestä. Hajautetulla järjestelmällä on kuitenkin omat turvallisuuteen liittyvät haasteensa, esimerkiksi laitehuijaaminen (device spoofing) ja MITM-hyökkäys (man-in-the-middle). [Dickson 2016a.] Liitteessä 2 on vertailtu verkkojen hajautettavuuteen liittyviä eroavaisuuksia.



Kuva 5. Keskitetty- ja hajautettuverkko (Baran 1964: 2).

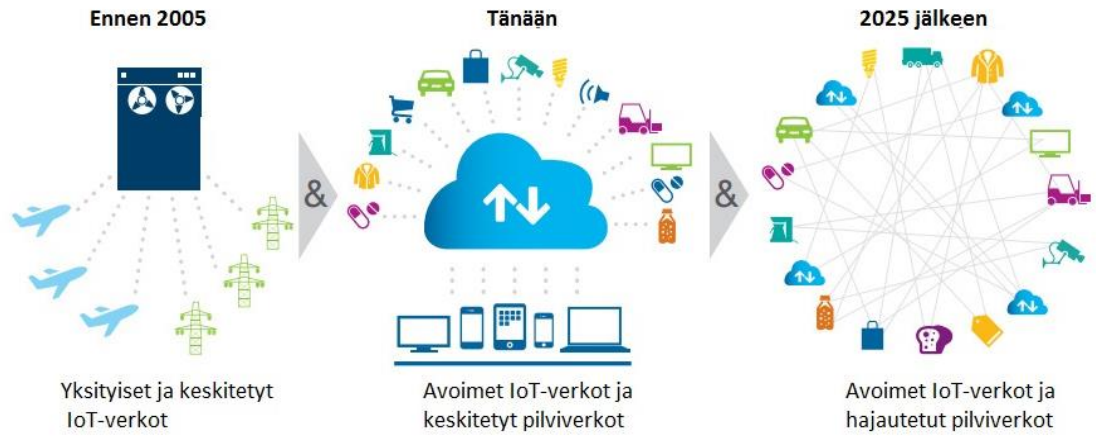
Keskitetyssä verkossa jokainen verkon solmu on yhteydessä yhteen toimijaan. Kaikki data kulkee keskitetyn toimijan kautta, joten verkko on täysin riippuvainen kyseisestä toimijasta. Osittain hajautetussa verkossa tärkeitä toimijoita on useampia. Kaataakseen verkko täytyy eliminoida jokainen keskitetty toimija tai estää niiden yhteys muihin solmuihin. Esimerkiksi internet toimii näin, kaikki data kulkee osittain hajautettujen palvelinten kautta muihin solmuihin. Täysin hajautetussa verkossa pyritään luomaan

mahdollisimman monta yhteyttä eri solmujen välille. Data voi kulkea useita eri reittejä, eikä verkon toiminta ole riippuvainen yhdestä toimijasta. Täysin hajautettu järjestelmä mahdollistaa nopeimman tavan datan siirrolle, mutta on samalla monimutkaisin verkko ylläpitää. [Baran 1964.]

Lohkoketjuteknologian ominaisuuksia voidaan hyödyntää korvaamaan IoT:n heikkouksia. Monet tekniset haasteet voidaan ratkaista lohkoketjulla tai sillä voidaan parantaa olemassa olevaa IoT-verkkoa. Lohkoketju tarjoaa ratkaisun IoT:n skaalautuvuuden, yksityisyyden ja luotettavuuden ongelmiin. Jokainen IoT-verkon jäsen rekisteröidään lohkoketjuun, josta se on nopeasti tunnistettavissa ja todennettavissa (tunnistamisen varmistaminen). Jäsenet todentavat ja vahvistavat transaktiot, jotka hyödyntävät kryptografisia varmenteita, joiden avulla ne liitetään kirjanpitoon. Tämä mahdollistaa täysin hajautetun IoT-verkon, jossa laitteiden välinen viestintä tapahtuu ilman kolmannen osapuolen tarvetta varmentaa ja vahvistaa transaktioita. [Dickson 2016a; Blockchain Applications in Internet of Things 2017.]

IoT-verkon laitteet vaihtelevat suuresti ominaisuuksiltaan, jolloin ongelmana on laitteiden kyky lukea kryptografisia varmenteita tarvittavalla nopeudella. Hajautettu kirjanpito poistaa tarpeen keskitetyltä taholta, joka tallentaa transaktiot, jolloin jokaisen verkon jäsenen tulisi tallentaa koko lohkoketju muistiinsa. Erityisesti sensorit ja pienet laitteet eivät ole kykeneviä tallentamaan suuria määriä dataa, joka lohkoketjun tapauksessa tulee kasvamaan ajan kuluessa. [Dickson 2016a.]

IBM tarjoaa tuotettaan *Watson IoT Platform*, joka mahdollistaa laitteiden turvallisen kytkemisen IoT-verkkoon, hyödyntäen yksityisen lohkoketjun infrastruktuuria (IBM Hyperledger). Verkoston laitteet lähettävät dataa pilvipalveluun, josta Watson valikoi tarvittavan datan ja muuttaa sen lohkoketjusovellusten (esim. älysopimusten) vaatimaan muotoon. [Explore Watson IoT with Blockchain 2017.] Kuvassa 6 on esitettyä IBM:n kuvaus IoT-verkkojen kehityksestä. Miljardien transaktioiden hajautettu käsittely poistaa tarpeen suurten keskitettyjen datakeskusten ylläpitämiselle. Ratkaisu olisi myös tehokkaampi ja halvempi.



Kuva 6. IBM:n visio IoT-verkkojen kehityksestä (Device democracy 2015: 9).

6 Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen toimitusketjunhallinnassa

Kuudennessa luvussa käsitellään lohkoketjun hyödyntämisen vaikutusta toimitusketjunhallinnassa. Teknologia lisää läpinäkyvyyttä prosesseihin ja luottamusta toimijoiden välille, mutta sillä on myös muitakin vaikutuksia esimerkiksi ekosysteemiä kehittävä vaikutus. Luku yhdistää aiempien lukujen johdattelevat aiheet ja vastaa insinööriyön toiseen kysymykseen.

Toimitusketjunhallinta tarkoittaa suunnittelun, toimeenpanon ja hallinnan prosesseja tyydyttää asiakkaan vaatimukset mahdollisimman tehokkaasti. Toimitusketjunhallinta kattaa kaikki materiaalin siirtymiset ja varastoimiset tuotteen elinkaaren alusta alkaen aina kuluttajalle päätymiseen asti. [Laseter & Oliver 1982.]

Toimitusketjut muodostavat ekosysteemejä yhdessä eri osapuolten kanssa, joka edellyttää toimiakseen tehokasta yhteistyötä kaikkien osapuolten välillä. Useat ongelmat liittyvät toimitusketjun läpinäkyvyyden puutteeseen, mikä on merkittävänä osasyynä useille siitä heijastuville ongelmille, kuten luottamuksen puutteeseen, myöhästymisiin ja jäljitettävyyteen. Kuluttajalla ei ole keinoa varmistaa maksamansa tuotteen tai palvelun todellista arvoa, mikä aiheuttaa epärealistisen hinnoittelun verrattuna tuotteen valmistuskustannuksiin. Tuotteen ja palvelun laajempi alkuperän jäljitettävyyden loisi uusia kuluttajasuhtautumisia tuotteisiin ja palveluihin. Kuluttajat voisivat siten tehdä entistä tarkempia eettisiä valintoja ostamiensa hyödykkeiden suhteen.

Lohkoketjun hyödyntäminen edellyttää ekosysteemin kehittämistä toimitusketjun ympärille. Ekosysteemillä tarkoitetaan yhteistyötä, jossa jokainen osapuoli jakaa yhteisen vision ja lisää toiminnoillaan asiakasarvoa. Jokaisen toimitusketjun osapuolen tulee olla yhteydessä toisiinsa internetin avulla. Internet-verkon ei tarvitse kattaa jokaista sensoria ja laitetta toimitusketjussa, vaan riittää, kun toimijat tallentavat kaiken keräämänsä datan jaettuun lohkoketjuun. Ratkaisulla vältettäisiin sensoreiden kehittäminen ja säästettäisiin käyttöönoton kustannuksissa. Teknologian hyödyntäminen alkaa toimitusketjun soveltuvuustutkimuksella. Eri aloilla teknologiaa hyödynnetään eri käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi Blockverify hyödyntää teknologiaa tuotteiden (lääkkeet, luksus-tuotteet, timantit ja elektroniikka) aitouden varmistamiseen, seuraamiseen ja vilpillisten transaktioiden jäljittämiseen [Traderman 2015].

Hajautettu kirjanpito poistaa datan tallentamisen tarpeen keskitetyltä toimijalta, jolloin kaikki lohkoketjuun tallennettu data eliminoi tarpeen fyysisten kopioiden säilyttämiselle. Esimerkiksi kaikki paperiset lähetys- ja vastaanottotiedot olisi mahdollista muuttaa sähköisiksi. Muutos säästää datan tallentamiseen liittyviä työvoima- ja materiaalikustannuksia. Datan tallentaminen ja lohkoketjun ylläpito, prosessin jokaisessa solmussa, saattaa tulla kuitenkin kalliiksi. Esimerkiksi Bitcoin-verkon työntodentamisprosessi (PoW) vaatii suuren määrän tietokoneiden laskentatehoa, joka puolestaan kuluttaa paljon sähköä. Suuri määrä laskentatehoa takaa korkean turvallisuuden siihen liittyneeseen lohkoketjuun, sillä manipuloidakseen lohkoketjua, hyökkääjän tarvitsee hallita yli 50 % kyseisen lohkoketjun laskentatehosta (eli päätäntävällästä). Tämä ongelma pätee, kun lohkoketju käyttää konsensusprosessina työntodentamisprosessia.

Lohkoketjun käytön hyödyt toimitusketjunhallinnassa ovat edullisuus, nopeammat ja luotettavammat transaktiot, ristiriidaton data ja itsestään kehittyvä tapahtumien ketju. Teknologiasta on eniten hyötyä, kun kohteena ovat korkean volyymin omaavat transaktiot, heikko luottamus keskitettyyn toimijaan (vrt. osakemarkkinat), transaktiot ovat helposti laskettavissa (esim. kappalemäärät) ja kun teknologialla ratkaistavat ongelmat ulottuvat koko alalle (esim. ristiriitaisten mineraalien louhintaa). [Kumar 2016.]

6.1 Transaktiot

Toimitusketjun transaktiot kirjataan yhteiseen lohkoketjuun. Aina kun tuote siirtyy eri toimijalle tai sen tilassa tapahtuu merkittävä muutos, syntyy transaktio. Jokaisen transaktion yhteyteen kirjataan aikaleima, sijaintitieto, huoltajuus ja kyseisen kohteen asema tai tila. Nämä tiedot näkyvät muille sovittujen sääntöjen mukaisesti. Kyseiset tiedot helpottavat transaktioiden jäljitettävyyttä ongelmien sattuessa. Valmiiden tuotteiden omistajuus voidaan kirjata kyseisen tuotteen lohkoketjuun, jolloin voitaisiin olla varmoja tuotteen omistajien määrästä koskien jälleenmyyntiä. Reaaliaikaisesti päivittyvät tiedot näkyvät välittömästi lohkoketjussa, mikä vähentäisi myöhästymisiä ja ihmisten tekemiä virheitä. Jokaiseen tuotteeseen liitetään tuotekohtainen QR-koodi, jonka skannaamalla transaktiotiedot linkittyvät tuotteen lohkoketjuun. Prosessi voi olla automatisoitu, jossa kone lukee liukuhihnalla liikkuvien tuotteiden QR-koodit, tai ihminen suorittaa skannauksen käsipäätteellä.

6.2 Esimerkkejä lohkoketjun hyödyntämisestä

Lohkoketjuun perustuvan toimitusketjun suunnittelu alkaa muodostamalla ekosysteemi kyseisen toimitusketjun osapuolten välille. Toimijat luovat keskenään yhteisen lohkoketjun, joka voi olla yhdistelmä yksityistä ja julkista lohkoketjua. Esimerkiksi tiedon näkyvyys voidaan rajata näkymään vain niihin toimijoihin, joita kyseinen tieto koskettaa. Näin ollen jokainen verkon jäsen näkisi transaktion tapahtuneen, mutta vain transaktioon liittyvät osapuolet näkisivät sen datan yksityiskohtaisesti. Ratkaisulla lisättäisiin turvallisuutta estämällä mahdolliset rahtivarkaukset ja muut epärehelliset toiminnot, mikäli hyökkääjä muuten pääsisi näkemään jonkin toimitusketjun osapuolen kautta rahdin sijainnin ja arvon.

Hybridilohkoketjua, jossa transaktiot olisivat yksityisiä, mutta lukuoikeus julkinen, hyödynnettäisiin tuomaan kuluttajalle lisätietoa tuotteesta ja toimitusketjusta. Esimerkiksi eettisyydellä kilpailevat yritykset voisivat lisätä luotettavuutta tuotteisiinsa läpinäkyvällätoimitusketjulla julkistamalla kaikki transaktiot. Kuluttajalla olisi mahdollista jäljittää ostamansa tuotteen alkuperä, aina raaka-aineiden sijaintiin ja työntekijöihin saakka. Kyseinen malli vaatisi osapuolten auditointia, joka varmistaisi osapuolten noudattavan vaadittuja sääntöjä tuotteen laadun ja työnsuorittamisen puolesta. Auditointia osallistuisi kyseiseen lohkoketjuun lisätäkseen luottamusta osapuolten toiminnoista. Tuotteet varustettaisiin QR-koodilla, jonka skannaamalla kuluttaja näkisi kaikki tuotteeseen liittyvät transaktiot.

Lohkoketjua hyödyntävässä toimitusketjussa voisi olla liittyneinä raaka-aineiden tuottajat, tuotteen valmistajat, auditoitsijat, standardeja valvova viranomainen ja kuluttajat tai vaihtoehtoisesti: lähettäjä, vastaanottaja, logistiikan tarjoaja(t), pankki ja viranomainen. Muutos keventäisi myös valvomisen prosesseja, kun toimitusketjut olisivat läpinäkyviä ja data olisi saatavilla kaikille osapuolille lähes välittömästi. Monipuolinen kirjo lohkoketjuun osallistuvia tahoja myös nostaa luottamusta yrityksen brändiä ja tuotteita kohtaan, mikä lisää asiakasarvoa.

Tuotteiden jäljitettävyyteen keskittynyt *Provenance* tarjoaa lohkoketjupalvelua yrityksille, jotka voivat tallentaa tuotteensa lohkoketjuun lisätäkseen läpinäkyvyyttä toimitusketjuissa ja luotettavuutta brändiä kohtaan. Tuotteisiin asennetaan QR-koodi, jonka skannatessa kuluttaja näkee tuotteeseen liittyneet tapahtumat, kuten tuotteen siirtymiset toimitusketjussa. [Provenance 2017.]

Toimitusketjun talouspuoleen keskittynyt *Skuchain* tarjoaa asiakkailleen älysovimuspalvelua, jossa maksu vapautuu tuotteen saapuessa vastaanottajalle. Yritys automatisoi maksuprosessin, joka poistaa tarpeen paperisten remburssien käytölle (letter of credit) ja siten nopeuttaa maksuprosessia. Esimerkiksi yritykset käyttävät monipuolisia maksuehtoja, joissa osa kauppahinnasta tulee maksaa etukäteen tai muutaman viikon maksuajalla. Maksuehtojen korko voi olla hyvinkin kallis verrattuna lähes kuluttomaan älysovimukseen, jossa maksu vapautuu automaattisesti välittömästi tavaran vastaanotettua tai ennalta määriteltujen maksuehtojen mukaan. [Allison 2016.]

7 Toimitusketjujen ekosysteemit

Luvussa käsitellään lohkoketjun vaikutusta toimijoiden muodostamaan ekosysteemiin. Luvun lopussa käsitellään ekosysteemin muodostumista Mooren mukaan. Konkreettisten hyötyjen lisäksi luku paneutuu yhteisöllisiin vaikutuksiin aina ekosysteemin muodostumisesta alkaen. Lohkoketjulla on potentiaalia toimia ekosysteemin muodostumisen pohjaratkaisuna J. Mooren kuvauksen mukaan. Luvun tarkoituksena on huomioida lohkoketjun aiheuttavasta muutoksesta toimitusketjujen ekosysteemeihin.

Toimitusketju muodostaa jo itsessään ekosysteemin eri toimijoiden välille, mutta toimiakseen yhteisen hyödyn saavuttamiseksi se edellyttää tiivistä yhteistyötä toimijoiden välillä. Lohkoketjulla on konkreettisten hyötyjen lisäksi myös ekosysteemiä edistävä vaikutus, kuten toimijoiden välisen luottamuksen lisääminen. Lohkoketjun implementoiminen toimitusketjuun edellyttää toimijoiden osallistumista lohkoketjuun. Yhteinen kirjanpito poistaa tiedon tallentamisen tarpeen keskitetyltä toimijalta ja mahdollistaa verkon jokaisen jäsenen pääsyn kirjanpitoon. Saavutettu läpinäkyvyys lähentää toimijoita, kun tiedot ovat aiempaa helpommin ja nopeammin saatavilla. Yhteinen kirjanpito aiheuttaa myös sosiaalista painetta, kun toimijat pystyvät seuraamaan toisiaan aiempaa tarkemmin. Esimerkiksi virheiden ja vastuun jäljittäminen tehostuu, kun jokaisesta olennaisesta transaktiosta jää jälki yhteiseen kirjanpitoon, josta ne voidaan jälkikäteen johtaa vastuussa olevaan toimijaan.

Liiketoimintaekosysteemi on yhdysvaltalaisen James F. Mooren lanseeraama käsite vuodelta 1993. Hänen mukaansa yritysten tulisi olla osa ekosysteemiä, jossa eri alojen yritykset kilpailevat ja tekevät yhteistyötä, eivätkä ole vain osana tiettyä toimialaa. Näin luotaisiin paremmat edellytykset uusien innovaatioiden syntymiselle. Ekosysteemin toimijat ovat symbioosissa keskenään täydentämällä toistensa voimavaroja ja lisäämällä asiakasarvoa. [Moore 1993: 77–77.] Esimerkiksi lukulaitteiden materiaalin myyminen edellyttää ensin lukulaitteiden myymistä asiakkaalle ja samalla lukulaitteiden valmistaja tarvitsee materiaalintuottajia laitteelleen. Tilanne kuvaa ekosysteemiä, jossa yhden yrityksen menestyminen riippuu muiden yritysten ja niiden muodostaman verkoston menestymisestä. Yritykset saattavat olla riippuvaisia toisistaan, vaikka ne eivät olisikaan liikesuhteessa keskenään. Toimijoiden tulee strategisesti huomioida, miten he voivat auttaa muiden yritysten toimintaa ja jakaa arvoa ekosysteemissä. Yritys voi jakaa

kaupallista tai teknologista tietoa muiden kanssa ja samalla hyötyä tästä, vaikka osa toimijoista olisi sen kilpailijoita. [Ekosysteemit 2017.]

Ekosysteemi syntyy yleensä yhden veturi- eli avainyrityksen, -ohjelmiston, - palvelun tai -tuotteen ympärille. Veturin menestyminen mahdollistaa muidenkin toimijoiden menestymisen. Yritykset joutuvat huomioimaan ekosysteemin myös tuotekehitystoiminnoissaan, sillä läpimurtopalvelut ja -tuotteet syntyvät yleensä vuorovaikutuksessa muiden yritysten kanssa. Ekosysteemit vaikeuttavat uusien kilpailijoiden tuleamista markkinoille, sillä tuotteen tai palvelun lisäksi, heidän tulee kilpailla myös muita ekosysteemejä vastaan. [Ekosysteemit 2017.]

Kanter [2012] painottaa haastattelussaan monipuolisuuden olevan avaintekijä ekosysteemin luomisessa. Onnistuakseen ekosysteemin jäsenet jakavat yhteisen vision ja päämäärän. Yhteistyö isojen ja pienten yritysten kanssa, innovaatioiden muuttaminen liiketoiminnaksi, koulutuksen vastaaminen työhön ja eri toimialojen yhteistyö ovat merkittävimpiä tekijöitä ekosysteemiä kehittäessä.

Moore kuvaa ekosysteemin vaiheita taulukossa 1. Todellisuudessa välivaiheet eivät ole tarkkoja, vaan yleensä sekoitus kahta, mutta toimialasta riippumatta haasteiden välinen vuorovaikutus on sama.

Taulukko 1. Liiketoimintaekosysteemin evolutiiviset vaiheet [Moore 1993: 77].

	Yhteistoiminnalliset haasteet	Kilpailulliset haasteet
<i>Syntyminen</i>	Määrittele asiakkaiden ja toimittajien kanssa uusi asiakasarvo ydininnovaation ympärille.	Suojele ideaasi kilpailijoilta. Luo kumppanuussuhteita kriittisten asiakkaiden, toimittajien ja jakelukanavien kanssa.
<i>Laajentuminen</i>	Tuo uusi ehdotus suurelle markkinalle ja työskentele kumppaneittesi kanssa kasvattaaksesi tuotantoa ja saavuttaaksesi suurimman markkinaosuuden.	Voita vaihtoehtoiset kilpailijat, sekä dominoi keskeisiä markkinasegmenttejä ja varmista, että menettelytapasi muodostaa markkinastandardin.
<i>Johtaminen</i>	Tarjota kiinnostava visio tulevaisuudesta, mikä houkuttelee kumppaneita ja toimittajia jatkamaan yhteistyötä.	Ylläpidä vahvaa kauppasuhdetta muihin ekosysteemin toimijoihin, kuten avain asiakkaisiin ja toimittajiin.
<i>Uusiutuminen</i>	Työskentele kehittäjien kanssa tuodaksesi uusia ideoita ekosysteemiin.	Ylläpidä ekosysteemin kopioimisen vaikeutta, sekä sitouduta asiakkaasi saadaksesi lisää aikaa kehittää uusia tuotteita ja palveluita.

Lohkoketjun käyttö toimitusketjussa vaatisi valtaosan toimitusketjun toimijoita osallistumaan siihen. Teknologian käyttö toimisi ekosysteemin pohjaratkaisuna tiedonhallinnassa, edistäen ekosysteemin toimintaa. Uusi innovatiivinen toimitusketju olisi aiempaa tehokkaampi ja vetäisi mukaan halukkaita, toimien osaratkaisuna Mooren mainitsemille yhteistoiminnallisille haasteille.

Lohkoketjun soveltaminen toimitusketjuun voi myös tehdä osan ekosysteemin toimijoista tarpeettomiksi. Teknologialla on mahdollista poistaa välikädet, kuten rahaliikennettä

hoitavat pankit tai vähentää dokumentoinnin määrää. Maksu kulkisi suoraan toimijalta toimijalle, jossa älykkäät sopimukset pidättäisivät maksun prosessin ajaksi. Myös lainat olisi mahdollista sopia hyödyntäen älykkäitä sopimuksia, joissa lainaajat olisivat samasta ekosysteemistä. Automatisoidut prosessit, joiden transaktiot tallentuisivat yhteiseen kirjanpitoon, vähentäisivät niistä vastaavien toimijoiden konkreettista työtä ja toisivat siten kustannussäästöjä.

8 Johtopäätökset

Lohkoketju tarjoaa uudenlaisen tavan tallentaa ja siirtää dataa. Data on saatavilla koko verkossa lähes välittömästi hajautetun kirjanpidon ansiosta. Lohkoketju poistaa tarpeen kolmannen osapuolen tarjoamalle luottamukselle, sillä luottamus on sisäistetty itse systeemiin. Tämä mahdollistaa toisilleen tuntemattomien osapuolien välisen tiedonsiirron luotettavasti. Teknologiaa voidaan hyödyntää lisäämään luottamusta ja läpinäkyvyyttä verkon osapuolten välille. Alun perin Bitcoinin taustalla toimivalla teknologialla, on potentiaalisia käyttökohteita useilla eri aloilla, joita rajoittaa lähinnä vain mielikuvitus. Toimitusketjuissa teknologialla on mahdollista nopeuttaa korkean volyymin omaavia prosesseja automatisoimalla niitä älysopimuksilla tai hajautetun kirjanpidon ominaisuudella: datan välittömällä päivittymisellä.

Useat esineiden internetin haasteet ovat ohitettavissa prosessien yksityiskohtaisilla suunnitteluilla. Esimerkiksi laitteiden kyvyttömyys tallentaa ja siirtää dataa IoT-verkossa on ohitettavissa, kun kyseisten laitteiden ja sensoreiden datan tallennuspaikat ovat liittyneinä IoT-verkkoon. Ratkaisu poistaa tarpeen sensoreiden kapasiteetin kehittämisestä ja painottaa tiedon salaamista. Lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää osana tiedon salaamista ja siirtymistä IoT-verkossa.

Nykyiset toimitusketjujen ekosysteemit muodostavat keskitettyjä ja osittain hajautettuja verkkoja. Lohkoketjun hyödyntäminen päivittäisi verkot täysin hajautetuiksi ja toimisi, myös toimitusketjun ekosysteemiä yhdistävänä tekijänä. Jokaisella toimijalla on oikeus päättää roolistaan lohkoketjussa. Esimerkiksi yhden toimijan ympärille muodostuneeseen toimitusketjuun lohkoketjun soveltaminen, ei välttämättä päivitä sitä täysin hajautetuksi. Keskitetty lohkoketjuverkko ei myöskään takaa vastaavaa luottamusta, kuten täysin hajautettu, jolloin käyttöönoton syynä voisi olla kyseisen toimijan prosessien tehostaminen.

Lohkoketjun hyödyntäminen toimitusketjussa tulee kuitenkin harkita tapauskohtaisesti. Teknologian käyttö ei takaa tehokkaampaa toimitusketjua tai eikä välttämättä tuo lisäarvoa kuluttajalle. Lohkoketjun soveltaminen tulisi aina aloittaa käyttökohteen soveltuvuustutkimuksella.

Suurimmat haasteet teknologian hyödyntämisessä tulevat olemaan osaamisen ja ymmärryksen puute, käyttöönoton kustannukset, lait ja kohteena olevan alan ja yritysten

kypsyys. Teknologia tullaan yhdistämään vielä pitkään Bitcoinin, eikä sekava toimintaperiaate pienennä kynnystä sen hyödyntämiselle. Useat yritykset ovat investoineet paljon toiminnanohjausjärjestelmiin ja datakeskuksiin, jolloin mullistavan teknologian käyttö voi viedä paljon aikaa. Monipuoliset lakisäätelyt omistusoikeuksista ja vastuista tulee hankaloittamaan lohkoketjun käyttöä logistiikassa, kuten ristiriita ihmisen tekemän työn korvaamisesta älykkäillä sopimuksilla (tavaran vastaanotto/lähtettäminen). Riippuen kohteena olevan alan ja yritysten iästä, kulttuurista ja toimintatavoista voi olla haastavaa päivittää vanhoja toimintatapoja, kuten sähköistää ja automatisoida prosesseja. Vastatakseen läpinäkyvää ja avointa toimitusketjua tulee käyttää julkista lohkoketjua, jossa olennaiset transaktiot ovat kaikkien näkyvillä. Aiemmin salassa olevat tiedot tulisikin nyt julkistaa kaikkien nähtäville. Yritys voi kuitenkin tämän lisäksi hyödyntää yksityistä lohkoketjua sisäisten prosessien tehostamiseksi.

Lohkoketju on nousevassa trendissä. Lohkoketjun ensimmäisiä käyttökohteita ovat olleet finanssialan prosessit, mutta potentiaali on ymmärretty myös mm. dokumentoinnissa, hallinnoinnissa ja erilaisissa rekisteröinneissä. Lohkoketju toimii osaratkaisuna näiden prosessien sähköistämiseksi ja automatisoinnille luotettavalla ja turvallisella tavalla. Useat toimijat kuitenkin vasta tutkivat potentiaalisia käyttökohteita teknologialle, joita näyttää olevan lukemattomia.

Parker [2016] mainitsee Gartnerin kasvavien teknologioiden raportissa lohkoketjulla menevän viidestä kymmeneen vuoteen, ennen kuin valtavirta omaksuu teknologian. Ristiriitainen mielikuva teknologiasta hidastaa sen käyttöönottoa ja kehittämistä. Tulevaisuudessa teknologiaan liittyvät patentin ja lait tulevat ohjaamaan sen käyttösovelluksia. Sovellusten kehittäjien tulee kehittää kuluttajaystävällisempiä lohkoketjusovelluksia, joiden käyttäjämäärät tulevat olemaan jopa miljoonissa.

Lohkoketju tulee muokkaamaan olemassa olevia sekä luomaan täysin uusia ansaintamalleja. Virtuaalivaluutat toimivat rahan vaihdannan välineinä, joita voidaan hyödyntää erilaisissa lohkoketjusovelluksissa. Virtuaalirahaa voidaan käyttää esimerkiksi ajan, huomion ja tiedon kaupallistamisessa. Nykyisessä mallissa, toimijat keräävät käyttäjistään tietoa, jota myydään eteenpäin (kohdistettu mainostaminen). Lohkoketjulla olisi mahdollista palkita ajan käyttäjä, huomion antaja ja tiedon lähde.

Esimerkiksi internetissä mainosten katsomisesta tai omien tietojen luovuttamisesta voisi ansaita kyseisen yrityksen poletteja (tokeneja), joilla olisi rahallista arvoa. Poleteilla olisi

mahdollista ostaa yrityksen tuotteita ja palveluita. Yrityksen ei tarvitsisi maksaa epärealistisia summia mainostajalle, vaan voisi maksaa siitä suoraan kuluttajalle. Kuluttaja saisi sekunnin tarkkuudella vastaavan summan poletteja katsomastaan mainoksesta ja mainostajat voisivat kerätä komissiota katsotuista mainoksista.

Lohkoketjua hyödyntävä sosiaalisen median palvelu *Steemit* palkitsee käyttäjiään niiden julkaisemistaan kirjoituksista. Muut käyttäjät voivat lukea toistensa kirjoituksia ja äänestää niitä, mikäli tykkäävät julkaisusta. Palvelu palkitsee myös kirjoitusten äänestäjiä virtuaalivaluutta *Steemillä*. Steemillä on rahallista arvoa ja sen voi vaihtaa useimpiin fiat-valuuttoihin. Lohkoketjuun pohjautuva kimppekyytipalvelu *La'Zooz* palkitsee jäseniään niiden suorittamista kuljetusmatkoista. Sovellus kerää tietoa auton ajomatkasta ja maksaa kuljettajalle virtuaalirahaa korvaukseksi. Molemmille virtuaalivaluutoilla on rahallista arvoa ja ne pystytään vaihtamaan fiat-valuutoiksi.

Yrityksen oma virtuaalivaluutta voitaisiin rinnastaa osakkeisiin, sillä myös virtuaalivaluutalla voitaisiin kerätä joukkorahoitusta (vrt. osakeanti). Yritys voi järjestää osakeannin tapaisia "virtuaalirahananteja" (initial coin offering), joiden etuna on niiden vapaampi säätely verrattuna osakeantiin. Yritys ei ole myöskään velvollinen kuuntelemaan virtuaalirahan omistajia päätöksen teossa toisin kuin osakkeenomistajia. Virtuaaliraha-anteja järjestetään myös kohteille joille muuten olisi hankalaa saada rahoitusta. Osakkeiden ostaminen tarkoittaa omistamista tietynsuuruista osaa yrityksestä, kun taas virtuaalirahan ostaminen on verrattavissa idean tukemiseen.

Lohkoketjuteknologia mahdollistaa automaattisesti toimivan organisaation (decentralized autonomous organization), joka voisi mahdollisesti korvata osan esimiehistä. Organisaatio tekee päätöksiä esimerkiksi ennalta määriteltyjen älysovimusten mukaan tai esimerkiksi antamalla neuvoa pohjautuen sen käyttäjien tekemiin päätöksiin (esim. sijoitusneuvot pohjautuen suuremman joukon tekemiin päätöksiin). Esimerkiksi kyseisen organisaatiomallin jokainen työntekijä omistaa yhden äänen. Päätöksiä tehtäessä asioista äänestetään työntekijöiden kesken. Lohkoketju myös mahdollistaa korruptoimattoman ja sensuroimattoman äänestämisen. Organisaation toiminta (älysovimusten koodi) ja taloudelliset laskelmat ovat kirjattuna lohkoketjuun. Konsepti on kuitenkin vielä hyvin keskeneräinen, eikä sen sovelluksista ole tarkempaa tietoa.

Tutkimus vastasi onnistuneesti siihen asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Insinööriyö antaa kattavan kuvan lohkoketjuteknologian toiminnasta, sekä sen mahdollisuudesta hyödyntää toimitusketjunhallinnassa. Konkreettista materiaalia lohkoketjun hyödyntämisestä toimitusketjunhallinnassa löytyi niukasti, sillä tällä hetkellä harvat yritykset hyödyntävät kyseistä teknologiaa toimitusketjuissa. Lohkoketjua voidaan hyödyntää eri käyttötarkoituksiin, kuten lisäämään läpinäkyvyyttä tai tuotteiden jäljitettävyyttä. Insinööriyö kokosi yhteen perehdytyksen lohkoketjuteknologiasta ja sen soveltamisen hyödyistä toimitusketjunhallinnassa. Insinööriyötä voitaisiin jatkaa perehtymällä lohkoketjuteknologia alustoihin, kuten Ethereumiin tai Hyperledgerin yksityiskohtaisempaan käyttöön.

9 Yhteenveto

Insinööriytyö pyrki perehtymään lohkoketjuteknologiaan ja sen hyödyntämiseen toimitusketjun hallinnassa. Insinööriytyö alkoi Bitcoinista, joka on lohkoketjuteknologian ensimmäinen käyttösovellus. Bitcoin mahdollistaa rahan vaihdannan ilman välikäsiä, kuten pankkeja. Pankkien tarjoama luottamus on sisäistetty Bitcoin-verkkoon, jossa jokainen käyttäjä omistaa kopion yhteisestä kirjanpidosta. Transaktiot tallentuvat kryptografisilla tiivisteillä kirjanpitoon, jossa ne muodostavat toisiinsa liittyneen tapahtumienketjun. Lohkoketjuteknologia poistaa tarpeen ulkopuolisen toimijan tarjoamalle luottamukselle, sillä hajautettu kirjanpito mahdollistaa toisilleen täysin tuntemattomien osapuolien välisen viestinnän luottamuksellisesti.

Seuraavaksi insinööriytyö tutki esineiden internetiä, joka tulee olemaan osana lohkoketjun soveltamista toimitusketjuissa. Internetverkon laajentuminen laitteisiin mahdollistaa uudenlaisia käyttösovelluksia ja suuren määrän kerättävää dataa. Toimitusketjuissa on mahdollista kerätä dataa useammista eri kohdista, lisäten läpinäkyvyyttä. Insinööriytyö tutki voisiko lohkoketjun ainutlaatuisia ominaisuuksia hyödyntää esineiden internetissä, kuten muodostamalla toisiinsa yhteydessä oleville laitteille oma lohkoketjuverkko. Idea on vielä hyvin uusi markkinoilla, mutta IBM tarjoaa tästä omaa tuotettaan ”Watson IoT Platform”.

Suurin osa yrityksistä tarjoaa vain murto-osan tuotteisiin liittyvistä tiedoista. Käyttökohteesta riippuen läpinäkyvyys tuotteen tai palvelun toimitusketjusta toisi lisäarvoa kuluttajalle. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa täysin uusien asiakassuhteiden syntyminen tuotteisiin, kun saatavilla olisi informaatiota tuotteen koko toimitusketjun matkasta. Kuluttajalla olisi mahdollisuus saada yksityiskohtaisempaa tietoa mistä, milloin ja miten hänen ostamansa tuote on valmistettu ja kuljetettu. Toimitusketjun osapuolten välillä läpinäkyvyydellä saavutetaan tarkempia ennusteita ja teknologia nopeuttaa toimijoiden välistä tiedonsiirtoa, sekä auttaa optimoimaan resursseja toimitusketjun prosesseissa.

Teknologian hyödyntämistä tulee hidastamaan osaamisen ja ymmärryksen puute, soveltamisen kustannukset, lait, sekä kohdeyritysten valmius ottaa lohkoketju käyttöönsä. Yritysten investoinnit datanhallinnointiin saattaa vaikeuttaa lohkoketjun hyödyntämistä, alustojen epäsopivuuden tai päällekkäisyyden vuoksi. Kansainväliset lait omistusoikeuksista ja vastuista tulevat aiheuttamaan ristiriitoja ihmisen tekemän työn

korvaamisesta älysovimuksilla, kuten vastuun siirtyminen tavaran vastaanottamisessa ja lähettämisessä.

Lohkoketju tulee mullistamaan ansaintamalleja. Teknologian mahdollistamat virtuaalivaluutat tulevat toimimaan erilaisissa käyttökohteissa, kuten joukkorahoituksessa tai muokkaamaan olemassa olevia ansaintamalleja. Useat toimijat myyvät ilmaiseksi keräämiään käyttäjiensä tietoja toisille osapuolille, mutta jatkossa olisi mahdollista palkita suoraan tiedon lähde.

Lohkoketjusovelluksia rajoittaa lähinnä vain mielikuvitus. Teknologian ohjelmitavuus mahdollistaa ongelmien kiertämisen erilaisilla teknisillä ratkaisuilla. On kuitenkin tärkeää muistaa, ettei teknologiaa ole välttämättä järkevää käyttää kaikissa sovelluskohteissa. Esimerkiksi lohkaketju ei välttämättä tuo lisäarvoa prosesseihin tai vaatii enemmän resursseja ylläpitämiseen kuin vanha malli.

Lopuksi insinööriö tutki toimitusketjun ekosysteemien merkitystä ja muodostumista. Tehokkaat toimitusketjut edellyttävät toimiakseen tiivistä yhteistyötä eri osapuolien välillä. Toimitusketjun ekosysteemi muodostuu yleensä toimitusketjun merkittävimmän yrityksen tai teknologian ympärille. Lohkoketjuteknologia edistää toimitusketjun ekosysteemissä tiedon saatavuutta ja siirtymistä osapuolien välillä. Välittömästi päivittyvällä tietokannalla pystytään paikantamaan tavaran siirtyminen toimitusketjussa, joka lyhentää läpimenoaikaa ja optimoi toimijoiden resurssien käyttöä. Lohkoketju mahdollistaa myös älykkäiden sopimusten hyödyntämisen eri käyttötarkoituksiin, kuten maksuprosessien automatisointiin.

Lähteet

10 common supply chain errors (and how to avoid them). 2015. Verkkodokumentti. Kettering University Online. <<https://online.kettering.edu/news/2015/10/20/10-common-supply-chain-errors-and-how-avoid-them>>. 20.10.2015. Luettu 8.2.2017.

20 Shocking Counterfeit Drugs Statistics. 2014. Verkkodokumentti. Health Research Funding. <<http://healthresearchfunding.org/20-shocking-counterfeit-drugs-statistics/>>. 19.12.2014. Luettu 16.1.2016.

Allison, Ian. 2016. Verkkodokumentti. Skuchain: Here's how blockchain will save global trade a trillion dollars. <<http://www.ibtimes.co.uk/skuchain-heres-how-blockchain-will-save-global-trade-trillion-dollars-1540618>>. 28.1.2016. Päivitetty 8.2.2016. Luettu 24.2.2017.

Bauer, H., Patel, M., Veira, J. 2014. The Internet of Things: Sizing up the opportunity. Verkkodokumentti. <<http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/the-internet-of-things-sizing-up-the-opportunity>>. 1.12.2016. Luettu 18.1.2017

Baran, Paul. 1964. On distributed communications: 1. Introduction to distributed communications networks. Verkkodokumentti. <http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2006/RM3420.pdf>. Luettu 25.1.2017.

Banafa, Ahmed. 2016. IoT Standardization and Implementation Challenges. Verkkodokumentti. <<http://iot.ieee.org/newsletter/july-2016/iot-standardization-and-implementation-challenges.html>>. 12.6.2016. Luettu 18.1.2017.

Buterin, Vitalik. 2015. On Public and Private Blockchains. Verkkodokumentti. <<https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>>. 7.8.2015. Luettu 16.1.2016.

Buterin, V., Alisie, M., Hoskinson, C., Di Iorio, A. 2014. Ethereum White Paper. <<https://genius.com/Ethereum-ethereum-whitepaper-annotated>>. 22.1.2014. Luettu 3.2.2017.

Bitcoin Block Reward Halving Countdown. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.bitcoinblockhalf.com/>>. Luettu 27.1.2017.

Blockchain Applications in Internet of Things. 2017. Verkkodokumentti. Blockchain Technologies. <<http://www.blockchaintechnologies.com/blockchain-internet-of-things-iot>>. Luettu 7.4.2017.

Blockchain technology: 9 benefits & 7 challenges. 2016. Verkkodokumentti. Deloitte. <<https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/innovatie/artikelen/blockchain-technology-9-benefits-and-7-challenges.html>>. Luettu 22.2.2017.

Deep Shift - Technology Tipping Points and Societal Impact. 2015. Raportti. World Economic Forum. <http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf>. Luettu 9.5.2016.

Device democracy - Saving the future of the Internet of Things. 2015. Verkkodokumentti. IBM Institute for Business Value. <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?subtype=XB&infotype=PM&ap-pname=GBSE_GB_TI_USEN&htmlfid=GBE03620USEN&attach-ment=GBE03620USEN.PDF%E2%80%9D>. Heinäkuu 2015. Luettu 21.3.2017.

Dickson, Ben. 2016a. Verkkodokumentti. The benefits and challenges of using blockchain in IoT development. <<https://bdtechtalks.com/2016/06/09/the-benefits-and-challenges-of-using-blockchain-in-iot-development/>>. Luettu 19.1.2017.

Dickson, Ben. 2016b. Verkkodokumentti. Decentralizing IoT networks through blockchain. <https://techcrunch.com/2016/06/28/decentralizing-iot-networks-through-blockchain/?utm_source=datafloq&utm_medium=ref&utm_campaign=datafloq>. Techcrunch. 28.6.2016. Luettu 19.1.2017.

Ekosysteemit. 2017. Verkkodokumentti. Itewiki. <<http://www.itewiki.fi/opas/ekosysteemit/>>. Luettu 18.1.2017.

Explore Watson IoT with Blockchain. 2017. Verkkodokumentti. IBM. <<https://www.ibm.com/internet-of-things/platform/private-blockchain/>>. Luettu 1.3.2017.

Goodin, Dan. 2014. Bitcoin security guarantee shattered by anonymous miner with 51% network power. Verkkodokumentti. Ars Technica. <<http://arstechnica.com/security/2014/06/bitcoin-security-guarantee-shattered-by-anonymous-miner-with-51-network-power/>>. 15.6.2014. Luettu 10.5.2016.

Goyal, Saurabh. 2015. Centralized vs Decentralized vs Distributed. Verkkodokumentti. A Medium Corporation. <<https://medium.com/@bbc4468/centralized-vs-decentralized-vs-distributed-41d92d463868#.k7hx1u4g8>>. 1.7.2015. Luettu 22.2.2017.

Greenough, John. 2016. How the 'Internet of Things' will impact consumers, businesses, and governments in 2016 and beyond. Verkkodokumentti. Business Insider Nordic. <<http://nordic.businessinsider.com/how-the-internet-of-things-market-will-grow-2014-10>>. 18.6.2016. Luettu 18.1.2017.

Handfield, Robert & Nichols, Ernest. 2004. Artikkel. Key issues in global supply base management. Industrial Marketing Management. Vol. 33, s. 29-35.

Hefernan, Margaret. 2013. Verkkodokumentti. What happened after the Foxconn suicides. CBS News. <<http://www.cbsnews.com/news/what-happened-after-the-foxconn-suicides/>>. 7.10.2013. Luettu 14.2.2017.

Heikkinen, Päivi. 2014. Bitcoinin käyttöön liittyy riskejä. Verkkodokumentti. Suomen Pankki. <http://www.suomenpankki.fi/fi/suomen_pankki/ajankohtaista/muut_uutiset/pages/uutinen_140114.aspx>. 14.1.2014. Luettu 9.5.2016.

How does an oracle work? Verkkodokumentti. Oraclize. <<http://docs.oracalize.it/#overview-problem>>. Päivitetty 7.4.2017. Luettu 7.4.2017.

How does bitcoin work? 2016. Verkkodokumentti. Bitcoin Project.
<<https://bitcoin.org/en/how-it-works>>. Luettu 9.5.2016.

How the Internet of Things Will Overcome a Lack of Standards. 2015.
Verkkodokumentti. Cognizant. <<https://www.cognizant.com/perspectives/how-the-internet-of-things-will-overcome-a-lack-of-standards>>. 19.5.2015. Luettu 18.1.2017.

Hruska, Joel. 2014. Verkkodokumentti. One Bitcoin group now controls 51% of total mining power, threatening entire currency's safety. <<https://www.extremetech.com/extreme/184427-one-bitcoin-group-now-controls-51-of-total-mining-power-threatening-entire-currency-safety>>. 16.6.2014. Luettu 27.2.2017.

IoT vs IIoT. 2016. Verkkodokumentti. Computrade Technology International.
<<https://www.computradetech.com/blog/iot-vs-iiot/>>. 19.9.2016. Luettu 19.1.2017.

Kanter, Rosabeth M. 2012. Artikkel. Harvard Magazine. Vol. 9.
<<http://harvardmagazine.com/2012/09/the-business-ecosystem>>. Luettu 1.2.2017.

Kehrli, Jérôme. 2016. Powerpoint esitys. Blockchain 2.0.
<<http://www.slideshare.net/JrmeKehrli/blockchain-20-69472625>>. 23. 11.2016. Luettu 2.1.2017.

Kumar, Sanjeev. 2016. Can Blockchain Technology Unblock Supply Chain Management. Verkkodokumentti. <<https://www.linkedin.com/pulse/can-blockchain-technology-unblock-supply-chain-management-roy>>. 23.10.2016. Luettu 9.3.2017.

Lammi, Mika. 2016. Teknologiajätti IBM ja Kouvola Innovation yhteistyöhön - Kehitteillä on teollisen internetin logistiikkasovellus. Tiedote.
<<http://www.kinno.fi/article/teknologiajatti-ibm-ja-kouvola-innovation-yhteistyohon-kehitteilla-teollisen-internetin>>. 15.2.2016. Luettu 16.1.2016.

Laseter, T., Oliver, K. 2003. When Will Supply Chain Management Grow Up? Journal of Strategy + Business. Booz & Company. Vol 32. Luettu 26.1.2017.

Linich, David. 2014. Verkkodokumentti. The path to supply chain transparency. Deloitte University Press. <<https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/topics/operations/supply-chain-transparency.html>> 18.6.2014. Luettu 10.2.2017.

Moore, James. 1993. Predators and Prey: A New Ecology of Competition. Harvard Business Review. Vol 71, s. 75 – 86.

Moore, Katie. 2016. Why Supply Chain Transparency Is more Important Than Ever. Verkkodokumentti. Food Safety Magazine. <www.foodsafetymagazine.com/signature-series/why-supply-chain-transparency-is-more-important-than-ever/>. 25.5.2016. Luettu 14.2.2017.

Nakamoto, Satoshi. 2008. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Verkkodokumentti. <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. 31.10.2008. Luettu 7.5.2016.

Parker, Luke. 2016. Verkkodokumentti. Gartner puts Blockchain at the Peak of Inflated Expectations, while Bitcoin slides into the Trough of Disillusionment. <<https://bravenewcoin.com/news/gartners-puts-blockchain-at-the-peak-of-inflated-expectations-while-bitcoin-slides-into-the-trough-of-disillusionment/>>. 18.10.2016. Luettu 14.3.2017.

Provenance. 2017. Verkkodokumentti. How it works.

<https://www.provenance.org/how_it_works>. Luettu 24.2.2017.

Rosencrace, Linda. 2016. Verkkodokumentti. Sensor data boon spurs supply chain analytics applications. Tech Target. <<http://searchmanufacturingerp.techtarget.com/feature/Sensor-data-boon-spurs-supply-chain-analytics-applications>>. Luettu 24.2.2017.

Szabo, Nick. 1996. Verkkodokumentti. Alamut. Smart Contracts.

<http://www.alamut.com/subj/economics/nick_szabo/smartContracts.html>. 22.6.1998.

Päivitetty 16.8.1998.

Tervetuloa Stadin Aikapankin kotisivuille! 2010. Verkkodokumentti. Stadin Aikapankki.

<<https://stadinaikapankki.wordpress.com/>>. 20.5.2010. Luettu 17.4.2017.

The great chain of being sure about things. 2015. Verkkodokumentti. The Economist.

<<http://www.economist.com/news/briefing/21677228-technology-behind-bitcoin-lets-people-who-do-not-know-or-trust-each-other-build-dependable>>. 31.10.2015. Luettu 13.1.2017.

Traderman. 2015. Verkkodokumentti. Block Verify: A Blockchain Based Counterfeit So-

lution. <<https://themerke.com/block-verify-a-blockchain-based-counterfeit-solution/>>.

13.3.2015. Luettu 27.2.2017.

You need to know. 2016. Verkkodokumentti. Bitcoin Project.

<<https://bitcoin.org/en/you-need-to-know>>. Luettu 9.5.2016.

Yritysjohdon opas IoT ja teollisen internetin hyödyntämiseen. Verkkodokumentti. Quva Oy & Elisa Oyj

<http://quva.fi/site/attachments/yritysjohdon_opas_IoT_ja_teollisen_internetin_hyodyntamiseen.pdf>. Luettu: 25.9.2016.

Wild, J., Arnold. M., Stafford, P. 2015. Technology: Banks seek the key to Blockchain.

Verkkodokumentti. Financial Times. <<https://www.ft.com/content/eb1f8256-7b4b-11e5-a1fe-567b37f80b64#axzz3qK4rCVQP>>. 1.10.2015. Luettu 21.3.2017.

What can you buy with Bitcoins? 2015. Verkkodokumentti. CoinDesk.

<<http://www.coindesk.com/information/what-can-you-buy-with-bitcoins/>>. 19.10.2015.

Luettu 9.5.2016.

Lohkoketjuteknologian hyödyt

1. Luotettavaa vaihdantaa

Lohkoketju tarjoaa luotettavan tavan lähettää dataa, ilman kolmannen osapuolen tarjoamaa luottamusta.

2. Valtuutetut käyttäjät

Käyttäjät hallitsevat kaikkea dataa ja transaktioita.

3. Korkealaatuista dataa

Lohkoketjudata on ristiriidatonta, tarkkaa ja laajasti saatavilla.

4. Kestävyys, varmuus ja säilyvyys

Lohkoketjudataa säilytetään hajautettuna, jolloin yhden verkon solmun kaatuminen ei aiheuta vahinkoa koko systeemille. Hajautettavuus estää mm. palvelunestohyökkäyksen (DoS).

5. Prosessien yhdenmukaisuus

Käyttäjät voivat luottaa, että kaikki transaktiot prosessoidaan protokollan mukaisesti. Tämä vähentää ihmisen tekemää virhettä, vähentää korruptiota ja lisää luotettavuutta.

6. Läpinäkyvyys ja muuttamattomuus

Julkisen lohkoketjun muutokset ovat läpinäkyviä ja transaktiot ovat peruuttamattomia eli niitä ei voida muuttaa tai poistaa. Prosessit ovat läpinäkyviä, tarjoten enemmän tietoa tapahtumista.

7. Ekosysteemin yhdenmukaistaminen

Yhtenäinen kirjanpito vähentää tiedon sekoittumista eri toimijoiden välillä ja helpottaa tiedon siirtymistä.

8. Nopeammat transaktiot

Riippuen sovelluskohteesta, luottamusta tarvitsevat transaktiot voidaan suorittaa huomattomasti nopeammin ympäri vuorokauden. Esimerkiksi pankkitoiminnassa, tiettyjen transaktioiden teko on mahdollista vain pankkipäivisin, kun pankkien maksujärjestelmät ovat auki.

9. Halvemmat transaktiokustannukset

Kolmannen osapuolen eliminointi vähentää kustannuksia ja lohkoketju mahdollistaa mikromaksut, kuten senttien murto-osat. [Deloitte, 2016.]

Keskitetyn ja hajautetun verkon eroavaisuudet

1. Hallittavuus

Keskitetyt järjestelmät ovat helposti ylläpidettävissä, koska ne ovat yhden solmun varassa. Muutokset verkossa tulevat välittömästi voimaan, eivätkä vaadi muiden hyväksyntää. Täysin hajautetut järjestelmät ovat monimutkaisimmat ylläpitää, mutta ne ovat kaikkein vakaimmat. Yhden solmun kaatuminen ei aiheuta vahinkoa verkon toiminnalle.

2. Skaalautuvuus

Keskitetyn verkon laajentaminen on riippuvainen kyseisen toimijan kapasiteetista, kun taas täysin hajautettua verkkoa voidaan laajentaa loputtomiin.

3. Verkon muodostaminen

Keskitetyn verkon synnyttäminen on nopeaa ja yksinkertaista. Hajautettuja verkkoja kehittäessä täytyy aluksi päättää solmujen vastuut, kuten resurssien jakaminen ja kommunikointi.

4. Evoluutio

Riippuen verkon käyttökohteesta ja laadusta, keskitetyt verkot ovat yksinkertaisia ja kehittyvät hitaasti. Hajautetut verkot ovat monipuolisempia ja voivat kehittyä nopeasti, kun niiden infrastruktuuri on luotu. [Goyal, 2015.]