

Olli-Pekka Pettersson

# LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN PUUTAVARAN TOIMITUSKETJUISSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Huhtikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Olli-Pekka Pettersson: Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen puutavaran toimitusketjuissa  
Utilization of blockchain technology in timber supply chains

Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tietojohdaminen  
Huhtikuu 2021

---

Lohkoketjuteknologian kehitys ja uusien sovelluskohteiden kehittäminen ovat olleet nopeaa. Lohkoketjuteknologian potentiaalin vuoksi, sitä on verrattu jopa internettiin. Vaikka lohkoketjut yhdistetään usein finanssialaan, tarjoaa se mahdollisuuksia myös monille muillekin aloille. Lohkoketjuteknologian ominaisuuksien ja rakenteen vuoksi se tarjoaa loistavat mahdollisuudet sirpaloituneen ja hajautuneen tiedon hallintaan ja suojaamiseen esimerkiksi toimitusketjuissa.

Toimitusketjut ovat nykyään suuren kilpailupaineen alla, ja globalisaation vaikutuksesta toimitusketjut ovat hyvin laajoja ja hajanaisia. Puutavaran toimitusketjuissa laajuus ja hajanaisuus ovat aiheuttaneet ongelmia. Näistä ongelmista merkittävimmät ovat laitton puukauppa ja puutavaran toimitusketjujen kestävyys ja tehottomuus. Näiden ongelmien ratkaisuun on kehitetty sertifiointijärjestelmiä, mutta näissä järjestelmissä ongelmana on runsaasti resursseja vaativat toimitusketjujen seurantatoimet ja tietojen varmennettavuus. Näihin ongelmiin voitaisiin mahdollisesti vastata lohkoketjuteknologialla.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää lohkoketjuteknologian vahvuuksia ja mahdollisuuksia ja miten niitä voitaisiin soveltaa puutavaran toimitusketjuihin. Tutkimuksessa kiinnitetään myös huomiota siihen, mitä ongelmia ja haasteita lohkoketjuteknologiaan liittyy sekä siihen, mitä ongelmia ja haasteita lohkoketjuteknologian hyödyntämiseen puutavaran toimitusketjuissa liittyy. Tutkimuksen tavoitteen tukemiseksi tutkimuksessa perehdyttiin myös tarkemmin lohkoketjuteknologiaan ja puutavaran toimitusketjuihin.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että lohkoketjuteknologian ominaisuudet ja mahdollisuudet voivat ratkaista puutavaran toimitusketjujen ongelmia. Lohkoketjuteknologia vaatii kuitenkin lisää käytännöntestausta finanssialan ulkopuolella, ennen sen laajamittaisempaa soveltamista puutavaran toimitusketjuihin.

Avainsanat: Lohkoketjuteknologia, lohkoketju, toimitusketju, puutavaran toimitusketju, puutavara

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

## **ALKUSANAT**

Tämä kandidaatintyö on tehty Tampereen yliopiston tietojohdamisen koulutusohjelmaan kevätlukukaudella 2021. Tutkimuksen aiheen valinta tehtiin omien mielenkiinnonkohteiden perusteella.

Suuret kiitokset kandiryhmämme ohjaajalle Ilona Ilvoselle, sekä koko kandiryhmälle uusien näkökulmien ja kehitysideoiden antamisesta tähän kandidaatintyöhön.

Tampereella, 19.4.2021

Olli-Pekka Pettersson

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen perustelu, tutkimuskysymykset ja rajaukset.....	1
1.3 Tutkimuksen rakenne.....	2
2. TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN.....	3
2.1 Tutkimusmenetelmä ja tutkimusaineiston hakeminen.....	3
2.2 Tutkimusaineiston valinta ja esittely .....	4
3. LOHKOKETJUTEKNOLOGIA .....	6
3.1 Yleiskuva ja rakenne .....	6
3.2 Lohkoketjuteknologian vahvuudet ja mahdollisuudet.....	7
3.3 Lohkoketjuteknologian heikkoudet ja haasteet .....	9
4. PUUTAVARAN TOIMITUSKETJU .....	11
4.1 Toimitusketjun määrittely ja teoriaa .....	11
4.2 Puutavaran toimitusketju.....	11
4.3 Puutavaran toimitusketjujen haasteet.....	13
5. LOHKOKETJUTEKNOLOGIA JA PUUTAVARAN TOIMITUSKETJU.....	16
5.1 Puutavaran toimitusketjujen läpinäkyvyyden parantaminen lohkoketjuteknologialla.....	16
5.2 Puutavaran toimitusketjujen kestävyuden parantaminen lohkoketjuteknologialla.....	17
5.3 Puutavaran toimitusketjujen tiedonhallinnan parantaminen lohkoketjuteknologialla.....	18
5.4 Haasteet lohkoketjuteknologian hyödyntämisessä puutavaran toimitusketjuihin .....	18
6. YHTEENVETO.....	20
6.1 Tulosten esittely .....	20
6.2 Tutkimuksen arviointi ja jatkotutkimusehdotukset.....	21
LÄHTEET.....	22

## KESKEISET KÄSITTEET

**Lohko (engl. Block)** on useista tapahtumista koostuva datapaketti (Nofer et al., 2017).

**Lohkoketju (engl. Blockchain)** muodostuu lohkoista koostuvista tietojoukoista. Lohkoketjua jatketaan jokaisella lisälohkolla, jolloin lohkoketju edustaa koko ketjun tapahtumahistoriaa. Lohkot validoidaan salauksen avulla. (Nofer et al., 2017)

**Metsätalous (engl. Forestry or forest management)** tarkoittaa erilaisia toimia, joilla ihminen vaikuttaa metsäekosysteemeihin. Näihin toimintoihin kuuluvat sekä suojelu- että taloudellinen toiminta. (Grossberg, 2009)

**Vertaisverkko (engl. Peer-to-peer network)** tarkoittaa tietokoneiden muodostamaa verkkoa, jossa verkon solmut eli tietokoneet jakavat omia resursseja muiden käyttöön. Vertaisverkossa ei ole perinteistä hierarkkista jakoa palvelimiin ja työasemiin. (TEPA-termipankki, 2020)

**Kolmas osapuoli (engl. Third Party)** Kolmas osapuoli on taho tai henkilö, joka toimii transaktiossa sopijaosapuolten välillä (Kenton). Perinteisesti kolmannen osapuolen tehtävänä on ollut varmistaa transaktion aitous ja tallennusprosessin eheys (Crosby et al., 2016; Hirsh & Alman, 2020).

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Gartnerin (2018) hypekäyrän mukaan lohkoketjuteknologia oli vuonna 2018 noin 5–10 vuoden päässä potentiaalinsa saavuttamisesta. Lohkoketjuteknologia on usein yhdistetty finanssialaan, mutta muitakin sovelluskohteita lohkoketjujen käytölle on tutkittu. Saberi et al., (2019) mukaan lohkoketjuteknologia voi olla merkittävä teknologia toimitusketjujen suunnitteluun, organisointiin, operointiin ja hallintaan. Lohkoketjuteknologian käyttöä erilaisten toimitusketjujen seuraamiseen ja todentamiseen on tutkittu esimerkiksi jalokiviteollisuudessa (Cartier, Ali & Krzemnicki, 2018). Lisäksi lohkoketjuteknologian käyttöä tavaran alkuperän varmentamisessa on tutkittu esimerkiksi taiteen osalta (Whitaker, 2019).

Laiton puunkorjuu on laajalle levinnyt merkittävä taloudellinen, yhteiskunnallinen ja ympäristöllinen ongelma, josta seuraa tulonmenetyksiä, metsien tuhoutumista, ilmastonmuutosta, biodiversiteetin häviämistä, korruptiota ja aseettomia sekä aseellisia konflikteja (European Commission, 2018). Euroopan Unioni (2010) on antanut asetuksen, jolla kielletään laittomasti korjatun puutavaran saattaminen Euroopan Unionin markkinoille.

Laittoman puutavaran lisäksi hukkaan menevän puutavaran osuus on merkittävä. Arviolta 5 miljardin euron edestä puutavaraa menee hukkaan Euroopassa vuosittain, koska puuraaka-aineen käyttö ei ole tiedon puutteen vuoksi tehokasta toimitusketjuissa (Björk et al., 2011).

## 1.2 Tutkimuksen perustelu, tutkimuskysymykset ja rajaukset

Näkökulmana tutkimuksessa käsitellään globaalia metsätaloutta ja puutavarakauppaa, sillä Suomen metsätalouden sääntely ja vakiintuneet käytännöt eivät juurikaan mahdollista ylilyöntejä metsien hoidossa ja luonnonsuojelussa. Suomessa säädettiin jo vuonna 1886 metsälaki, joka koostuu metsiä koskevista säännöksistä. Nykymuotoisena se tuli voimaan 1997 ja viimeisin asiamuutos tuli voimaan 2015. Tässä laissa säädetään esimerkiksi puun korjuusta, metsien uudistamisesta ja luonnon monimuotoisuuden turvaamisesta. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2020) Lisäksi suomen metsistä noin 90 % on PEFC-sertifioituja ja noin 10 prosenttia FSC-sertifioituja (Metsäkeskus, 2021). Sertifikaatit asettavat metsänhoidolle vielä tiukemmat kriteerit, kuin laki. Näin ollen Suomessa metsätalouden tila on vankalla pohjalla, eikä esimerkiksi laitonta puunhakkuuta pystytä laajamittaisesti harjoittamaan.

Globaalisti laiton puutavarakauppa ja erityisesti laiton metsien hävittäminen esimerkiksi sademetsien osalta on merkittävämpää. Yhdistyneiden Kansakuntien ympäristöohjelman (United Nations Environment Programme, 2016) mukaan metsärikkokset käsittävät arviolta 51–152 miljardia euroa vuodessa. Globaali mittakaava on siis erittäin merkittävä.

Työssä ei käsitellä metsänhoidon käytänteitä, metsänsuojelua katastrofeilta ja esimerkiksi metsäpaloja, vaan keskitytään puutavaran alkuperän ja puutavarakaupan kestävyys-teen. Työssä ei tulla ottamaan kantaa siihen, miten lohkoketjuteknologian yhdistäminen fyysisesti puutavaraan ja erilaisiin puujalosteisiin voitaisiin toteuttaa.

Päätutkimuskysymys:

- Miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää puutavaran toimitusketjujen kehittämisessä?

Alatutkimuskysymykset:

- Mikä on lohkoketjuteknologia ja mitä mahdollisuuksia se sisältää?
- Mitä ongelmia puutavaran toimitusketjuissa on?
- Miten puutavaran toimitusketjujen ongelmiin voidaan vastata lohkoketjuteknologialla?

### 1.3 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus etenee aiheen taustoittamisesta ongelman määrittelyyn, aineiston esittelyyn ja lopulta tutkimuksen toteuttamiseen. Ensimmäisessä luvussa avataan tutkimuksen taustoja, motiiveja aiheen tutkimukseen sekä tutkimuskysymyksiä. Toisessa luvussa käsitellään tutkimuksen suorittamista, mistä aineisto haetaan ja millä perustein, miten aineisto rajataan ja lopuksi esitellään tutkimuksen kannalta keskeisimpiä lähteitä. Kolmannessa luvussa perehdytään lohkoketjuteknologiaan, sen rakenteeseen, mahdollisuuksiin ja ongelmiin. Neljännessä luvussa käsitellään toimitusketjuja ensin yleisemmällä tasolla, sen jälkeen puutavaran näkökulmasta. Neljännen luvun lopuksi esitellään muutamia keskeisiä haasteita puutavaran toimitusketjuihin liittyen. Viidennessä luvussa yhdistetään neljännessä luvussa esitellyt puutavaran toimitusketjujen haasteet ja kolmannessa luvussa esitellyt lohkoketjuteknologian mahdollisuudet ja sovelletaan lohkoketjuteknologiaa puutavaran toimitusketjujen ongelmiin. Lisäksi viidennessä luvussa tuodaan esille myös haasteita lohkoketjuteknologian hyödyntämisessä puutavaran toimitusketjuissa. Kuu- dennessä luvussa on tutkimuksen yhteenveto ja tulosten esittely.

## 2. TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

### 2.1 Tutkimusmenetelmä ja tutkimusaineiston hakeminen

Tutkimus suoritettiin kirjallisuustutkimuksena. Aineistoa haettiin pääosin Tampereen yliopiston tarjoamasta Andor-tietokannasta, mutta myös Web of Science ja Google Scholar tietokantoja käytettiin. Andor ja Web of Science valittiin, sillä ne koettiin luotettaviksi ja tutkimuksen kannalta relevanttia aineistoa sisältäviksi. Google Scholar valittiin täydentämään ja laajentamaan aineistoa, objektiivisuuden takaamiseksi.

Hakusanoina käytettiin englanninkielisiä hakutermejä, sillä lohkoketjuteknologiasta löytyvä suomenkielinen aineisto on hyvin rajallista ja vajaata. Lisäksi toimitusketjuista ja metsätaloudesta kertovaa aineistoa löytyi paremmin englanniksi. Hakusanoina käytettiin englanninkielisiä hakutermejä "blockchain" tai "forestry" ja "supply chain", sekä näiden erilaisia yhdistelmiä. Tutkimuksen kannalta relevantteimpia lähteitä saatiin hakulausekkeella "blockchain\* AND forestry AND "supply chain"". Yksittäisillä sanoilla haettaessa haku rajattiin vain aiheisiin, mutta pidemmällä hakulausekkeilla haettaessa hakulausekkeen tietoja haettiin kaikista aineistojen kentistä. Andor-tietokannassa haku rajattiin vain sähköisesti saatavilla oleviin ja vertaisarvioituihin artikkeleihin. Hakulausekkeiden tulokset eri tietokannoista on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Hakujen tulokset

	Andor	Web of Science	Google Scholar
blockchain	12 228	10 394	36 700
forestry	138 451	34 848	66 000
"supply chain"	48 935	68 143	102 000
blockchain* AND forestry AND "supply chain"	61	1	3 280

"Blockchain\* AND forestry AND "supply chain"-hakulausekkeella löytyviä aineistoja hyödynnettiin suoraan tutkimuksessa, mutta myös näiden aineistojen lähteitä käytettiin hyväksi. Käsitteiden kääntämiseen käytettiin MOT-sanakirjaa.



## 2.2 Tutkimusaineiston valinta ja esittely

Tietokannoista löytyvistä aineistosta valittiin ne tieteelliset artikkelit, jotka vastasivat parhaiten tutkittuun aiheeseen. Aineistoa valittiin lisäksi sen mukaan, kuinka hyvin ne vastasivat päätutkimuskysymykseen tai alatutkimuskysymyksiin. Koska löydetty aineisto oli pääosin aika uutta ja tuoretta, ei ajankohdan perusteella rajaamiseen koettu tarvetta.

Tutkimusaineisto koostuu pääosin vertaisarvioituista artikkeleista ja ne ovat kirjoitettu englanniksi. Tutkimusta varten löydettyjä lähteitä on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Lähteiden tiedot ja kuvaus sisällöstä

Tekijät ja julkaisu- vuosi	Teoksen nimi	Kuvaus sisällöstä
Saber et al. 2019	Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management	Käsittelee lohkoketjuteknologiaa, toimitusketjuja ja kestävyyttä.
Figorilli et al. 2018	A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain	Käsittelee RFID:tä ja lohkoketjuteknologian hyödyntämistä puutavaran toimitusketjun elektronisessa jäljitettävyydessä.
Vilkov & Tian 2019	Blockchain as a solution to the problem of illegal timber trade between Russia and China: SWOT analysis	Käsittelee lohkoketjuteknologian hyödyntämistä puutavarakaupassa SWOT analyysin avulla.
Nikolakis et al. 2018	How Blockchain Can Shape Sustainable Global Value Chains: An Evidence, Verifiability, and Enforceability (EVE) Framework	Käsittelee lohkoketjuteknologian hyödyntämistä kestävyuden parantamisessa ja globaalien arvokehjujen tallentamisessa.
Sedlmeir et al. 2020	Energy consumption of Blockchain	Käsittelee lohkoketjuteknologian energiankulutusta.
Crosby et al. 2016	BlockChain Technology: Beyond Bitcoin	Käsittelee lohkoketjuteknologian toimintaa ja mahdollisia sovel-luskohteita.

Nofer et al. 2017	Blockchain	Käsittelee lohkoketjuteknologian toimintaa ja ominaisuuksia.
Agrawal & Lee 2019	The Effect of Sourcing Policies on Suppliers' Sustainable Practices	Käsittelee toimitusketjuja, niiden kestävyyttä ja vastuullisuutta.
Erhun et al. 2021	Sustainable Triple-A Supply Chains, Production and Operations management	Käsittelee toimitusketjuja, niiden läpinäkyvyyttä ja esittelee ns. kolmen A:n konseptin.

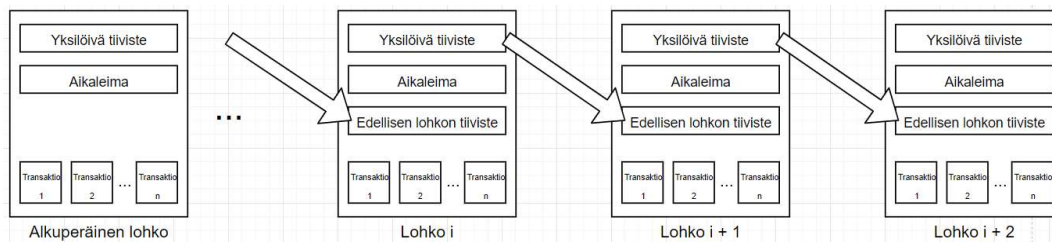
## 3. LOHKOKETJUTEKNOLOGIA

Tässä luvussa käsitellään erikseen lohkoketjuteknologiaa. Lohkoketjuteknologian erikseen käsittelyllä saadaan tarpeeksi laaja ymmärrys lohkoketjuteknologiasta, jotta tutkimuksen loppuosassa käsiteltävien lohkoketjuteknologiaa hyödyntävien ratkaisujen ja näiden teknisten toteutusten vahvuuksia ja heikkouksia sekä eroja ja yhtäläisyyksiä on helpompi ymmärtää. Alaluvussa 3.1 käsitellään yleisemmällä tasolla lohkoketjuteknologiaa, alaluvussa 3.2 käsitellään lohkoketjujen rakennetta, alaluvussa 3.3 käsitellään lohkoketjuteknologian vahvuuksia ja mahdollisuuksia ja alaluvussa 3.4 käsitellään lohkoketjuteknologian heikkouksia ja haasteita.

### 3.1 Yleiskuva ja rakenne

Lohkoketjuteknologia on saavuttanut suuren suosion etenkin erilaisten kryptovaluuttojen suosion kasvaessa. Suuret pankit ja rahoituslaitokset etsivät potentiaalisia tapoja lohkoketjuteknologian hyödyntämisestä omien liiketoimiensa eri osa-alueilla (Beck et al., 2016; Crosby et al., 2016). Erityisesti Bitcoin on vaikuttanut suuresti lohkoketjuteknologian kehitykseen ja suosion kasvamiseen. Vuonna 2021 Barron's uutisoi kryptovaluuttojen suosion kasvusta, suurten yritysten esimerkiksi Teslan ja Twitterin kiinnostuksen ja osallistumisen kryptovaluuttoihin kasvaessa. Vaikka lohkoketjuteknologia yhdistetään usein finanssialaan, kryptovaluuttoihin ja erilaisiin transaktioihin, on sen hyödyntämistä muillakin osa-alueilla esimerkiksi äänestämisessä (Li et al., 2021), musiikkiteollisuudessa (Crosby et al., 2016) ja vakuutusallalla (Kar & Navin, 2021) tutkittu. Lohkoketjuteknologia soveltuu hyvin tilanteisiin, joihin osallistuu useita osapuolia, jotka vaativat vain vähän luottamusta toisiinsa, esimerkiksi hajanainen toimitusketju (Saber et al., 2019). Rakenteensa vuoksi lohkoketjuteknologiaa voidaan siis hyödyntää erilaisten toimitusketjujen ja asioiden alkuperän seuraamisessa.

Strawn (2019) kuvaa lohkoketjun hajautettuna tilikirjana vertaisverkossa, johon tallennettuja tapahtumia ei voida poistaa tai muuttaa. Kyseessä on siis tietokanta, jota yksittäinen henkilö tai taho ei voi hallinnoida. Lohkoketju muodostuu useammista pienistä osista, joita kutsutaan lohkoiksi. Lohkot ovat datapaketteja, joihin tallennetaan tapahtumia eli transaktioita (Tian, 2016; Nofer et al., 2017). Rakenteensa vuoksi vanhojen lohkojen muuttaminen aiheuttaa muutoksen koko lohkoketjuun (Nofer et al., 2017; Fridgen et al., 2018). Lohkoketjussa olevaa tietoa ei siis pysty manipuloimaan, vaan muutokset lohkoketjussa oleviin tietoihin on helppo huomata.



**Kuva 1.** Lohkoketjun rakenne, mukailten Nofer et al. (2017).

Kuva 1 havainnollistaa lohkoketjun rakennetta. Kuvassa 1 huomataan, että jokainen lohko sisältää lohkon yksilöivän tiivisteen, aikaleiman, jonkin määrän transaktioita ja edellisen lohkon tiivisteen. Edellisen lohkon tiiviste synnyttää ketjumaisen rakenteen. Saberi et al. (2019) mukaan lohkoketjuteknologia eroaa useimmista olemassa olevista tietojärjestelmistä neljän tekijän vuoksi. Saberi et al. (2019) mukaan nämä avaintekijät ovat hajauttaminen, turvallisuus, varmentaminen ja älykäs toteutus. Älykkäällä toteutuksella Saberi et al. (2019) tarkoittaa lohkoketjun varmentamisen toteuttamista älykkäillä sopimuksilla. Älykkäät sopimukset ja niiden toimintaperiaate esitellään luvussa 3.2

Kun lohkoketjuun lisätään uusia lohkoja, pitää ne validoida. Uusien lohkojen validointi tapahtuu vertaisverkossa, jossa verkon solmut päättävät enemmistöperiaatteen mukaan uuden lohkon oikeellisuudesta (Crosby et al., 2016; Nofer et al., 2017; Sedlmeir et al., 2020). Kun enemmistö vertaisverkosta toteaa lohkon oikeaksi, lohko tallennetaan lohkoketjuun. Ketjumaisen rakenteensa vuoksi uudet lohkot lisätään lohkoketjun loppuun (Hirsh & Alman, 2020). Esimerkiksi Bitcoin-kryptovaluutassa validointi tapahtuu louhimalla. Louhimisessa vertaisverkon solmu tarjoaa laskentatehoa transaktion matemaattiseen tarkistamiseen ja toteuttamiseen. (Vilkov & Tian, 2019) Koska Bitcoinin vertaisverkkoon ja uusien lohkojen validointiin voi osallistua kuka vain, on louhimiseen sidottu laskentatehollisesti vaativa matemaattinen pulma, joka sitoo lohkojen validoinnin laskentatehon kautta energiankulutukseen. Bitcoinin validointi algoritmeissa ratkaistaan esimerkiksi elliptisiä käyriä ja äärellisiä kuntia (CoinDesk, 2014). Kun validointi näin ollen sidottu niukkaan resurssiin, ei lohkoketjun enemmistöperiaatetta voida käyttää niin helposti hyväksi. (Sedlmeir et al., 2020)

### 3.2 Lohkoketjuteknologian vahvuudet ja mahdollisuudet

Vilkovin ja Tianin (2019) mukaan älykkäät sopimukset ovat yksi tärkeimmistä mahdollisuuksista, joita lohkoketjuteknologia tarjoaa. Saberi et al. (2019) kuvaavat älykkäät sopimukset tietokoneohjelmana, jossa säilytetään sopimuspuolten välisiä ehtoja ja toimia koskevia sääntöjä ja käytäntöjä. Kun älykkään sopimuksen ehdot täyttyvät, suorittaa älykäs sopimus automaattisesti ennalta määrätyt toiminnot (Crosby et al., 2016; Delmolino

et al., 2016; Vilkov & Tian, 2019). Älykkäät sopimukset ovat siis sopimuksia, joiden ehtojen toteutumisen valvonnan ja sopimuksen toimeenpanon hoitaa tietokoneohjelma. Delmolino et al. (2016) mukaan älykkäisiin sopimuksiin voidaan lähettää tietoa tai rahaa ja vastaavasti niistä voidaan vastaanottaa tietoa tai rahaa. Kun älykkään sopimuksen sopijapuolten määrittämät ehdot täyttyvät, voidaan sopimuksen mukaisesti suorittaa toimintoja automaattisesti (Crosby et al., 2016). Älykkäät sopimukset ovat siis sopimuksia, joiden täytäntöönpanosta vastaa tietokone, kun sopimukset ehdot täyttyvät.

Älykkäiden sopimusten logiikka toteutetaan vertaisverkossa, jossa vertaisverkon solmut päättävät enemmistöperiaatteen mukaan sopimuksen oikeellisuudesta (Delmolino et al., 2016; Saberi et al., 2019). Kun sopimus on hyväksytty vertaisverkossa, sen tila päivitetään lohkoketjuun (Delmolino et al., 2016). Lohkoketjuteknologian avulla manuaalisesti suoritettavia toimintoja voidaan automatisoida ja näin ollen pienentää kuluja ja nopeuttaa prosesseja (Vilkov & Tian, 2019). Älykkäiden sopimusten avulla voidaan esimerkiksi tarkistaa kauppatavaran lämpötila säännöllisesti ja suorittaa toimenpiteitä automaattisesti, jos tietty ennalta määritetty taso saavutetaan (Fridgen et al., 2018). Lisäksi älykkäillä sopimuksilla voidaan mahdollistaa nopea päätöksenteko tavarankulun, omistajuuden muutosten ja varojen liikkumisen suhteen (Nikolakis, John & Krishnan, 2018). Älykkäillä sopimuksilla on siis monia hyötyjä ja käyttökohteita, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi toimitusketjujen hallinnassa.

Lohkoketjuteknologiassa kaikki vertaisverkon solmut voivat saada täydelliset kopion tietokannasta järjestelmän alitietokantojen muodossa (Tian, 2016). Lohkoketjutietokanta ei siis ole tallennettu yhteen paikkaan, vaan sitä ylläpidetään hajautetusti vertaisverkossa. Lohkoketjun vertaisverkkoon voi kuulua jopa tuhansia tai miljoonia tietokoneita, näin ollen mahdollisuus tiedon häviämiseen on minimaalinen (Vilkov & Tian, 2019). Keskitetyn hallinnoinnin puuttuminen poistaa pääosin perinteiset tietovirheet ja katkokset, sekä lisää tietoturvaa, yksityisyyttä ja tietojen valvontaa (Crosby et al., 2016). Esimerkiksi jos kaikki tieto tallennetaan yhdelle serverille, joka kaatuu, kaikki tieto häviää (Abeyratne & Monfared, 2016). Lohkoketjuteknologiassa vastaavaa ongelmaa ei ole rakenteensa vuoksi (Vilkov & Tian, 2019). Vaikka yksittäinen vertaisverkon solmu esimerkiksi tietokone kaatuisi, koko järjestelmä olisi edelleen ylhäällä (Tian, 2016). Hajautuksen vuoksi lohkoketjun toimintavarmuus on hyvä ja sen ylläpidon kanssa ei tule perinteisiä tietovirheitä.

Rakenteensa vuoksi lohkoketjun tietojen peukalointi ja muuttaminen huomaamatta on mahdotonta (Nikolakis, John & Krishnan, 2018; Sedlmeir et al., 2020). Hajautuksen vuoksi yksi vertaisverkon solmu ei voi peukaloida lohkoketjua, eikä vaikuttaa muihin vertaisverkon solmuihin, ellei yksi taho hallitse yli 51 % koko systeemin solmuista. Tämän seurauksena mitä suurempi määrä solmuja vertaisverkossa on, sitä turvallisempi se on.

(Tian, 2016) Suljetuissa lohkoketjuissa enemmistöperiaatteen hyväksikäyttö ei ole mahdollista. Suljetuissa lohkoketjuissa vertaisverkon solmut tunnetaan, eikä uusien lohkojen hyväksymiseen pääse osallistumaan kuin tietyt tahot (Fridgen et al., 2018; Rieger et al., 2019). Lohkoketjun tietojen peukalointi on siis erittäin haastavaa, ellei jopa mahdotonta.

Lohkoketjuteknologia tekee kolmansien osapuolien viranomaisista tarpeettomia transaktioiden aitouden ja tallennusprosessin eheyden varmistamisessa, sillä lohkoketjun teknologinen toteutus itsesään suojaa datan ja estää väärentämisen (Hirsh & Alman, 2020). Perinteisesti kolmansia osapuolia on tarvittu varsinkin sellaisissa transaktioissa, joissa kahden toimijan välinen luottamus ei itsessään riitä transaktion suorittamiseen tai transaktion tallentaminen vaatii validointia. Tällaisista transaktioista hyviä esimerkkejä ovat asuntokaupat, arvokkaiden taideteosten myyminen tai erilaiset valtakirjat. Jos kolmas osapuoli voidaan poistaa erilaisten transaktioiden toteuttamisesta, voidaan säästää aikaa ja rahaa. Koska lohkoketjuun voidaan luottaa sen teknisen toteutuksen vuoksi, ei transaktion osapuolten tarvitse luottaa kolmannen osapuolen viranomaiseen. Näin ollen kolmansien osapuolien virheet ja ongelmat voidaan karsia kokonaan pois. Koska koko lohkoketju toimii läpinäkyvästi, on koko systeemi avoin, eikä vertaisverkon solmujen tarvitse luottaa toisiinsa, eikä yksittäinen solmu voi huijata muita solmuja (Tian, 2016).

### **3.3 Lohkoketjuteknologian heikkoudet ja haasteet**

Vilkovin ja Tianin (2019) mukaan louhiminen vaatii todella paljon energiaa. Sedlmeir et al. (2020) arvioivat, että esimerkiksi Bitcoin kuluttaa vuodessa noin 60–125 TWh sähköä. Sähkönkulutusta voi verrata keskikokoisen eurooppalaisen valtion sähkönkulutukseen. Esimerkiksi Suomi kulutti vuonna 2019 86,1 TWh sähköä (Tilastokeskus, 2019). Kryptovaluuttojen energian kulutus korreloi tiukasti niiden markkina-arvoon (Sedlmeir et al., 2020). Koska Bitcoinissa enemmistöperiaatteen hyväksikäyttö on estetty laskentatehon avulla, sen energiankulutusta ei voida ratkaista laskentatehon lisäämisellä (Sedlmeir et al., 2020).

Toimitusketjujen tapauksessa kaikilla ei tarvitse olla pääsyä lohkoketjuun, toisin kuin kryptovaluuttojen tapauksessa. Näin ollen toimitusketjuissa voitaisiin käyttää suljettua lohkoketjua. Suljetun lohkoketjun avulla lohkoketjun lohkojen validointia ei tarvitse sitoa niukkaan resurssiin kuten sähköön (Sedlmeir et al., 2020).

Lohkoketju on vielä melko uusi teknologia (PwC, 2018), joka tarvitsee testata markkinoilla (Vilkov & Tian, 2019). Vaikka erilaisia sovelluskohteita lohkoketjujen hyödyntämiseen on tutkittu, ovat kokemukset lohkoketjuratkaisujen kehittämisestä melko niukassa (Fridgen et al., 2018).

Lohkoketjun rakenteen vuoksi sitä voidaan käyttää laittomiin tarkoituksiin. Lohkoketjuteknologiaa voidaan käyttää esimerkiksi terrorismin rahoittamiseen (Vilkov & Tian, 2019) tai huumekaupan mahdollistamiseen (Filippi, 2014). Lisäksi lohkoketjun uusien lohkojen hyväksymistä enemmistöperiaatteella voidaan käyttää hyväksi. Jos joku taho omistaisi yli 51 % lohkoketjun solmuista, voisi tämä taho hyväksyä itsenäisesti uusia lohkoja enemmistöperiaatteen vuoksi.

Lohkoketjuissa on useita oikeudellisia ongelmia. Kun lohkoketjuprojektit siirtyvät suunnitteluvaiheesta toteutukseen, ne kohtaavat erilaisten asetusten ja oikeudellisten esteiden rajoittavia vaikutuksia (Rieger et al., 2019). Esimerkiksi laillisia sopimuksia voidaan panna täytäntöön tuomioistuimissa, mutta toistaiseksi älykkäät sopimukset eivät ole täytäntöönpanokelpoisia tuomioistuimissa (Nikolakis, John & Krishnan, 2018). Älykkäiden sopimusten lisäksi monet GDPR-vaatimukset näyttävät olevan ristiriidassa lohkoketjuteknologian perusvaatimusten kanssa (Rieger et al., 2019). Lohkoketjujen soveltaminen henkilötietojen hallintaan voi siis olla haastavaa. Esimerkiksi tiedon poistamista lohkoketjusta ei oteta huomioon lohkoketjuteknologiassa. Lisäksi lohkoketjun hajautettu rakenne estää selkeiden vastuiden nimeämisen. (Rieger et al., 2019)

Lohkoketjun mahdollistama anonymiteetti voi myös olla lain nojalla ongelmallista. Esimerkiksi kun yritys lisää lohkoketjuun tietoa esimerkiksi jonkin puutuetteen materiaalien alkuperästä, pitäisi yrityksen myös tunnistautua digitaalisella allekirjoituksella, jotta yritys voidaan asettaa vastuuseen, jos tietojen todenperäisyys kyseenalaistettaisiin (Nikolakis, John & Krishnan, 2018). Lohkoketjujen hajautetun rakenteen vuoksi keskitettyä valvontaa ei ole. Näin ollen metsäteollisuuden ja puutavarakaupan lohkoketjutoteutuksesta puuttuu konflikti- ja ristiriitatilanteissa korkeampi viranomainen (Vilkov & Tian, 2019). Ongelmatilanteiden ratkaisemiseen ei siis ole tarjolla päättävää elintä. Rajoitusten vuoksi lohkoketjuteknologia on tehokas vain, jos sitä tukee vankka hallinto ja oikeudellinen kehys (Nikolakis, John & Krishnan, 2018). Lohkoketju tarvitsee siis toimiakseen hyvät oikeudelliset puitteet.

## 4. PUUTAVARAN TOIMITUSKETJU

Tässä luvussa käsitellään toimitusketjuja yleisemmällä tasolla sekä puutavaran viitekehyksessä. Alaluvussa 4.1 määritellään toimitusketju ja esitellään toimitusketjujen teoriaa, alaluvussa 4.2. käsitellään puutavaran toimitusketjuja ja alaluvussa 4.3 käsitellään toimitusketjujen yleisiä ongelmia sekä puutavaran toimitusketjujen täsmällisempiä ongelmia.

### 4.1 Toimitusketjun määrittely ja teoriaa

Toimitusketjun peruserä on melko yksinkertainen, se on lineaarinen materiaalivirran ympärille organisoitu toimintasarja materiaalin alkulähteestä lopulliseen jakeluun lopputuotteina loppukäyttäjille (Kinra, Kotzab & Hsuan, 2015). Vaikka toimitusketjun peruserä on yksinkertainen, on siinä paljon tekijöitä, jotka voivat olla todella monimutkaisia. Toimitusketjut muodostuvat usein monista eri organisaatioista ja niiden suhteista (Lambert & Cooper, 2000). Näissä toimitusketjuissa organisaatiot, yritykset, valtiot ja yhdistykset ovat riippuvaisia toisistaan toimitusketjuverkostoissa (Kinra, Kotzab & Hsuan, 2015).

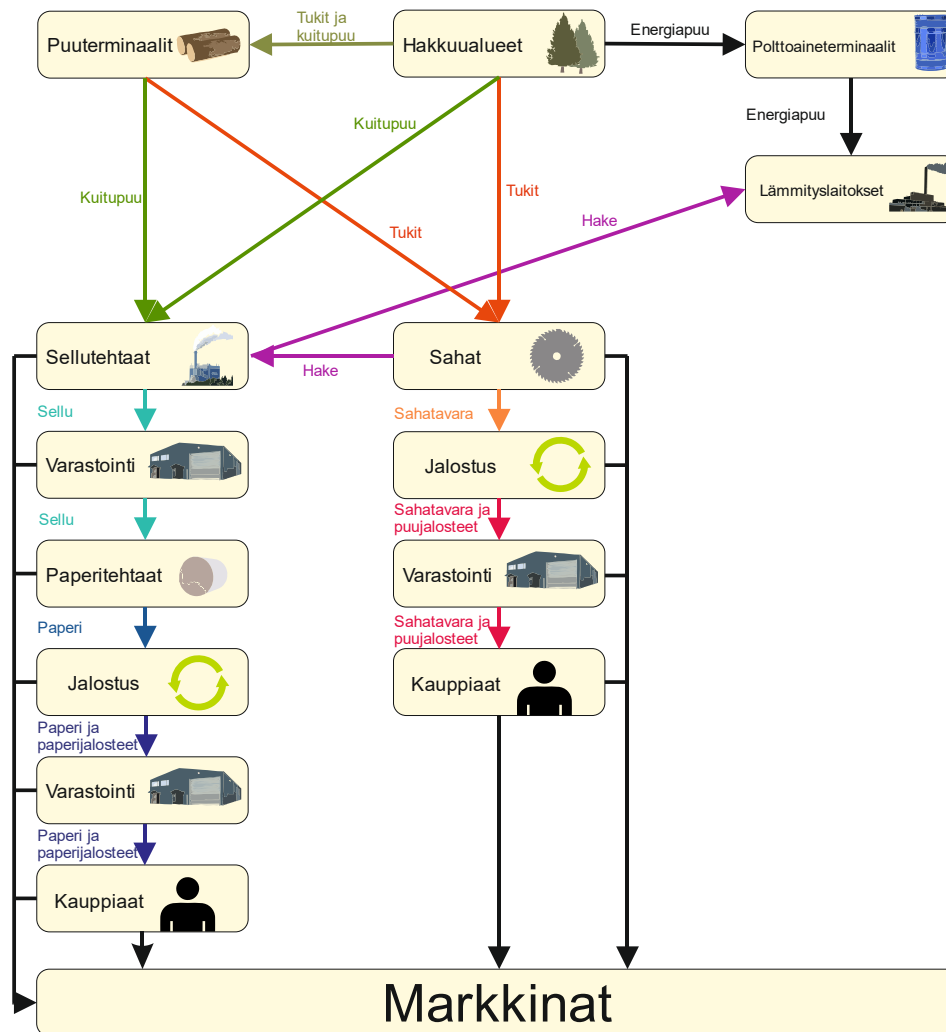
Toimintaympäristöjen kovan kilpailun, nopeasti kehittyvien teknologioiden ja kehittyvien asiakasvaatimusten vuoksi mikään organisaatio ei pysty yksinään täyttämään markkinoiden vaatimuksia kattavaa prosessia (Kinra, Kotzab & Hsuan, 2015) ja organisaatiot joutuvat kilpailemaan toimitusketjun osana, eikä niinkään yksittäisenä organisaationa (Lambert & Cooper, 2000). Toimitusketjun osana oleminen ja riippuvaisuus muihin toimijoihin on siis lähes välttämätöntä. Toimitusketjuissa on globalisaation vuoksi useita ongelmia. Esimerkiksi maaliskuussa 2021 Panamaan rekisteröity rahtialus Ever Given törmäsi Suezin kanavassa valliin ja tukkien koko kanavan useiksi päiviksi. Tukoksen arvioitiin maksavan maailmankaupalle 5–8,5 miljardia euroa viikossa. (Deutsche Welle, 2021) Kyseinen tapahtuma vaikutti suoraan tai välillisesti moniin toimitusketjuihin ja se osoittaa, että toimitusketjut ovat melko haavoittuvaisia ongelmille.

### 4.2 Puutavaran toimitusketju

Carlssonin ja Rönnqvistin (2005) mukaan puuvirta alkaa pystyvuusta metsässä, jatkuu puun kaatamisella, lajittelulla ja kuljetuksella terminaaleihin, sahoille, sellutehtaisiin, paperitehtaisiin ja lämmityslaitoksiin, joissa puuraaka-aine jalostetaan selluksi, paperiksi ja puutavaraksi, joka päättyy eri asiakkaille. Puutavaran toimitusketjuun liittyy siis monta



toimijaa ja sijaintia, joissa puuraaka-ainetta tai puutavaraa käsitellään. Toimitusketjun monimutkaisuuden lisäksi puuraaka-aine muuttuu toimitusketjun aikana useita kertoja ennen loppukäyttäjälle päätymistä.



**Kuva 2.** Puutavaran toimitusketju, mukailen Schwartz (2016).

Kuva 2 havainnollistaa puutavaran toimitusketjun monimutkaisuutta ja sitä, miten puutavara muuttuu toimitusketjun aikana tukista sahatavaraksi, paneeleiksi, puutavaraksi ja kuitupuusta selluksi, paperiksi ja muiksi kuituvalmisteiksi useiden välivaiheiden kautta. Puutavara liikkuu siis toimitusketjun aikana monen eri vaiheen kautta ennen päätymistä lopputuotteeksi.

Maailmanlaajuisten puumarkkinoiden sääntelyn puute on luonut tarpeen puutavaran sertifiointille (van Kooten, Nelson & Vertinsky, 2005). Tällä hetkellä käytössä on ainakin 50

vaihtoehtoista sertifiointijärjestelmää (Domask, 2003, cit Schepers, 2010). Näistä käytetyimmät Euroopassa ovat FSC ja PEFC (Schepers, 2010; Sperandio et al., 2017, cit Figorilli et al., 2018). FSC on lyhenne sanoista Forestry Stewardship Council (Bowler, Castka & Balzarova, 2017; Michal et al., 2019). Vastaavasti PEFC on lyhenne sanoista Programme for Endorsement of Forest Certification (Schepers, 2010; Michal et al., 2019). FSC- ja PEFC-sertifikaattien kriteerit ohjaava kestävään kehitykseen (Michal et al., 2019). Sertifiointi vaatii kuitenkin tiedonhallintaa. Sertifiointia varten on välttämätöntä jäljittää tietoa pystyssä olevasta puusta koko ketjun läpi lopputuotteeksi, jotta materiaalin alkuperä on mahdollista todistaa (Sperandio et al., 2017, cit Figorilli et al., 2018). Koska sertifiointikriteerit täytyy täyttyä koko toimitusketjun osalta, voi sertifiointikriteerien, sääntöjen ja määräysten toteuttaminen olla raskasta.

### 4.3 Puutavaran toimitusketjujen haasteet

Maailmanlaajuisten toimitusketjujen kasvaessa ja monimutkaistuessa toimitusketjujen läpinäkyvyys vähenee ja niiden hallinta on hankalampaa (Erhun, Kraft & Wijnsma, 2021). Toimitusketjuissa liikkuu paljon tietoa ja toimitusketjujen kasvaessa myös tiedon määrä kasvaa. Perinteisesti yritykset suojelevat toimitusketjujensa tietoja, suojellakseen kilpailuetuaan tuotekehityksessä, tuotannon kustannuksissa, tuotannon laadussa ja toimitusnopeudessa (Sodhi & Tang, 2019). Toimitusketjuihin sitoutunut tieto on siis erittäin arvokasta. Siksi yritykset pelkäävät menettävänsä kilpailuedun läpinäkyvyyden ja immateriaalioikeuksien vuotojen kautta (Sodhi & Tang, 2019) Näin ollen suuret puuyhtiöt eivät ole valmiita tarjoamaan avointa pääsy tietokantoihinsa (Vilkov & Tian, 2019). Tietojen suojeleminen vaikeutuu kuitenkin jatkuvasti. Esimerkiksi internetin vapaan tiedonkulun takia kilpailuetua tarjoavien tietojen suojaaminen on entistä hankalampaa (Sodhi & Tang, 2019). Kuitenkin läpinäkyvyyden kehittäminen toimitusketjuissa on yksi avaintekijä kestävyiden kehittämisessä (Erhun, Kraft & Wijnsma, 2021). Toimitusketjujen läpinäkyvyyttä voidaan kehittää erilaisilla tarkastuksilla, mutta kuitenkin esimerkiksi Plambeck et al. (2011) mukaan pelkät tarkastukset eivät suoraan riitä avaamaan toimitusketjuja, sillä toimitusketjujen osien ongelmia voidaan tahallisesti yrittää piilottaa.

Kestävästi tuotettujen tuotteiden kysynnän kasvu on saanut valmistajat eri aloilla sisällyttämään tuotetarjontaansa yhä kestävämmiin tuotettuihin tuotteisiin (Agrawal & Lee, 2019). Kuitenkin kuluttajan on haastavaa päästä käsiksi tuotteiden kestävyystietoihin tai varmistua niiden oikeellisuudesta ja siten valvoa oikeuksiaan hajanaisissa oikeudellisissa puitteissa (Nikolakis, John & Krishnan, 2018). Tarve entistä kestävämmille tuotteille siis

on, mutta kuluttajan voi olla hankalaa varmistua tuotteiden kestävydestä. Erilaisten hyödyketuotteiden globaaleihin arvoketjuihin kohdistuukin paljon informaation epäsymmetriaa, jonka vuoksi kuluttajien on vaikea paljastaa kestävyttä koskevia väärinkäytöksiä. Tämä informointiongelma on heikentänyt kestävyttä globaalissa taloudessa. (Nikolakakis, John & Krishnan, 2018) Informaation epäsymmetrialla tarkoitetaan tilannetta, jossa transaktioon osallistuvista osapuolista toisella on merkittävästi parempi tieto myytävästä tuotteesta (Bloomenthal, 2021). Lisäksi tuotteiden kestävyystietojen saatavuuteen vaikuttaa myös se, että esimerkiksi perinteisissä järjestelmissä tuotekohtaisten hiilijalanjälkien mittaaminen voi olla erittäin haastavaa (Saber et al., 2019). Nykyisellään siis toimitusketjujen hallinta ei välttämättä vastaa kestävä kehityksen tarpeisiin.

Tarjotakseen kestävästi tuotettuja tuotteita, täytyy valmistajan pystyä hankkimaan kestävästi ja vastuullisesti tuotettuja osia toimittajilta (Agrawal & Lee, 2019). Valmistaja ei siis itsessään pysty tekemään tuotteesta kestävä. Toimitusketjujen monimutkaistessa toimitusketjujen eri toimijoiden yhteys ja riippuvuuden kasvaminen voivat johtaa moniin ennalta arvaamattomiin ongelmiin (Erhun, Kraft & Wijnsma, 2021). Kuitenkin kestäväan tuotantoon siirtymiseen tarvittava aika on pitkä ja se on melko epävarmaa suhteessa tuotteen tilaussykliin (Agrawal & Lee, 2019). Koska ostajat voivat vaikuttaa toimittajien prosessipäätöksiin, ilman virallisia mekanismeja, kuten sopimuksia (Agrawal & Lee, 2019), täytyy myös alemman tason toimittajien tehdä toimenpiteitä, jos ylempänä muutetaan asioita. Näin ollen tavarantoimittajalla on merkittävä taakka, kun se joutuu sitoutumaan kalliiseen ja pitkään siirtymään, kun se siirtyy kestävämpiin prosesseihin (Agrawal & Lee, 2019). Toimitusketjun loppupään päätökset vaikuttavat siis suoraan päätöksiin, joita toimitusketjun alkupäässä on tehtävä. Kestävät hankintakäytännöt itsessään vaikuttavat ostajan valitseman tuotantoketjun loppupään tuotteisiin ja hinnoitteluun ja näin ollen se vaikuttaa myös tuotantoketjun alkupään toimittajan prosessipäätöksiin (Agrawal & Lee, 2019). Kestävässä hankintakäytänteissä eritellään kestävyyskriteerit, jotka voidaan määritellä ja sertifioida kolmannen osapuolen toimesta (Agrawal & Lee, 2019). Vaikka erilaisten kestävien ratkaisujen merkitys kasvaa jatkuvasti (Saber et al., 2019), monet yritykset pitävät edelleen kestävyttä operatiivisena rajoitteena (Erhun, Kraft & Wijnsma, 2021).

Nykyiseltään toimitusketjut riippuvat vahvasti keskitetyistä, joskus eriarvoisista ja erillisistä tiedonhallintajärjestelmistä organisaatioiden sisällä (Saber et al., 2019). Keskitetyissä tiedonhallintajärjestelmissä on monia ongelmia. Kun tiedonhallintajärjestelmät jatkavat kasvuaan, tietovarastointi palvelinten tiedostojen, asiakasohjelmien ja tiedostotoimintojen määrä kasvaa merkittävästi (Dong et al., 2017). Toimitusketjun tietohallintojär-

jestelmä voi siis olla hyvinkin raskas ylläpitää. Keskitetyn tietohallintojärjestelmän haitoista merkittävimmät ovat suorituskyvyn pullonkaulat ja yksittäisten kriittisten pisteiden toimintahäiriöt (Dong et al., 2017).

Toimitusketjuissa tapahtuviin sopimukseen sisältyy usein useampien osapuolten välisiä sopimuksia, joihin liittyy sääntelyä ja logistiikkaa koskevia rajoituksia (Ivanov, Dolgui & Sokolov, 2019). Tällaisissa sopimuksissa on luontevaa käyttää kolmansia osapuolia, mutta kun luotetaan erilliseen organisaatioon arkaluonteisen ja arvokkaan tiedon välittäjänä, vaatii se toimitusketjun jokaiselta toimijalta todella paljon luottamusta (Abeyratne & Monfared, 2016). Lisäksi tehottomat transaktiot, petokset, näpistyksen ja tehottomasti toimivat toimitusketjut johtavat suurempaan luottamuspulaan ja siksi tarvitaan parempaa tiedonjakoa ja todennettavuutta (Saber et al., 2019).

Toimitusketjujen häiriöihin varaudutaan ennakoivasti tyypillisesti varmuusvarastoiden, kapasiteettivarausten ja varatoimittajien avulla (Ivanov, Dolgui & Sokolov, 2019). Varmuusvarastot, kapasiteettivaraukset ja varatoimittajat vaativat resurssien allokoimista. Tästä syystä toimitusketjujen häiriöihin varautuminen on kallista, varsinkin jos häiriötä ei tapahdu (Ivanov, Dolgui & Sokolov, 2019). Hyvällä tiedonhallinnalla näitä kustannuksia voidaan pienentää.

## 5. LOHKOKETJUTEKNOLOGIA JA PUUTAVARAN TOIMITUSKETJU

Tässä luvussa käsitellään puutavaran toimitusketjujen haasteita ja niiden ratkaisemista lohkoketjuteknologialla. Alaluvussa 5.1 käsitellään puutavaran toimitusketjujen läpinäkyvyyttä, alaluvussa 5.2 käsitellään puutavaran toimitusketjujen kestävyyttä, alaluvussa 5.3 käsitellään puutavaran toimitusketjujen tiedonhallintaa ja alaluvussa 5.4 käsitellään haasteita, joita lohkoketjujen hyödyntämiseen puutavaran toimitusketjuihin liittyy.

### 5.1 Puutavaran toimitusketjujen läpinäkyvyyden parantaminen lohkoketjuteknologialla

Lohkoketjun käyttämisellä puutavaran toimitusketjuissa on kiistaton etu läpinäkyvyyden suhteen (Vilkov & Tian, 2019). Puutavaran liikettä toimitusketjussa voitaisiin seurata lohkoketjun avulla ja esimerkiksi jos käytettäisiin lohkoketjuihin perustuvaa aikaleimausta, jonka päivämäärä ja sijainti vastaisivat tuotenumeroa, lisäksi se jo läpinäkyvyyttä merkittävästi (Vilkov & Tian, 2019). Läpinäkyvyyden parantamisen kannalta jo pienenkin osan puutavaran toimitusketjussa liikkuvasta tiedon tallentamisesta auttaisi. Näin ollen organisaatioiden ei välttämättä tarvitsisi jakaa kaikkea toimitusketjujen hallintaan liittyviä tietoja ja näin ollen luopua tietojen tarjoamasta kilpailuedusta. Rakenteensa vuoksi lohkoketjun tiedot olisivat varmistettuja ja saatavilla missä vain. Näin ollen asiakkaan kannalta tuotetietojen saaminen voisi olla helpompaa. Esimerkiksi selkeä tuotehistoria auttaisi ostajia luottamaan siihen, että ostettavat tavarat ovat eettisesti tuotettuja (Saber et al., 2019) näin ollen koko toimitusketju olisi paljon läpinäkyvämpi ja asiakas voisi sitä paremmin tarkastella. Lisäksi läpinäkyvyyden lisääminen voisi tarjota valmistajille uskottavuutta (Vilkov & Tian, 2019).

Sertifikaattien käytön lisääntyminen ja tehostuminen voisivat lisätä toimitusketjun läpinäkyvyyttä. Koska kaikki sertifiointitapahtumat voitaisiin vahvistaa vertaisverkossa ja asettaa julkisesti saataville (Nikolakis, John & Krishnan, 2018), tehostaisi ja nopeuttaisi se puun sertifiointiprosessia. Lohkoketjuteknologian älykkäiden sopimusten avulla sertifiointiprosessi voitaisiin mahdollisesti automatisoida, sillä sertifiointin kriteereiden täyttymistä voitaisiin seurata älykkäiden sopimusten avulla. Jos sertifiointiprosessi voitaisiin automatisoida, kolmansia osapuolia ei välttämättä tarvittaisi tai niiden rooli puutavaran sertifiointissa muuttuisi. Kuten luvussa 4.2 todettiin, sertifiointia varten puutavaran toimitusketju täytyy seurata alusta loppuun, jos lohkoketjun avulla puutavaran toimitusket-

jua saataisiin automatisoitua, toimitusketjun seuraaminen ei olisi niin työlästä ja resursseja kuluttavaa. Jos sertifiointi olisi helppoa ja resursseja vähän kuluttavaa toimintaa, yhä useammat tahot kokisivat mahdollisesti sertifiointin järkevänä toimenpiteenä.

## **5.2 Puutavaran toimitusketjujen kestävyiden parantaminen lohkoketjuteknologialla**

Lohkoketjuteknologia voi auttaa toimitusketjua tunnistamaan epäeettisiä toimijoita ja väärennettyjä tuotteita, jotka voivat aiheuttaa merkittävää sosiaalista haittaa toimitusketjulle, sillä tietoja lohkoketjuun voi kirjata vain valtuutetut toimijat (Saber et al., 2019; Vilkov & Tian, 2019). Koska lohkoketjuun ei voida lisätä tietoa mielivaltaisesti ja sen aiempien tietojen peukalointi on erittäin vaikeaa, väärinkäytökset ja epärehelliset toimijat on helppoa karsia pois. Kun epäeettiset toimijat saadaan poistettua toimitusketjusta tai niiden toiminta saadaan vaaditulle eettiselle tasolle, koko toimitusketjun eettisyys kasvaa. Lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä esimerkiksi sahan ei olisi edes mahdollista ostaa puuta tietämättään kyseenalaisilta toimittajilta (Vilkov & Tian, 2019). Toimitusketjun toimijoiden laadun parantamisen lisäksi toimitusketjun parempi seurattavuus voisi helpottaa myös esimerkiksi tuotekohtaisten päästöjen allokoitua, kun toimitusketjua voitaisiin helpommin tarkastella alusta loppuun yhtenä ketjuna.

Kestävyiden kannalta sertifiointi on tärkeää ja sen avulla organisaatiot voivat todistaa toimivansa kestävästi. Lohkoketjujen älykkäiden sopimusten avulla kestävien ehtojen ja sääntöjen valvominen ja noudattaminen sekä mahdollisten korjausten täytäntöönpano ja hallinta voitaisiin toteuttaa automaattisesti (Saber et al., 2019). Kestävyys itsessään ei välttämättä lisää organisaation tuottoja tai kassavirtaa. Näin ollen lohkoketjun avulla tehostetussa puukaupan hallintajärjestelmässä kolmannet osapuolet ja pankit, joiden taloudelliset tavoitteet voivat erota suuresti tavarantoimittajien ja myyjien tavoitteista, voidaan poistaa yhtälöstä kokonaan (Vilkov & Tian, 2019). Kun kolmansien osapuolten ja pankkien mahdollisesti aiheuttamat eturistiriidat on saatu karsittua pois järjestelmästä, tavarantoimittajat ja myyjät voivat paremmin välttää kyseenalaisia puutavara- lähteitä ja tyydyttää merkittävät ja kasvavat ympäristötietoiset markkinat (Vilkov & Tian, 2019). Lohkoketjuteknologian avulla kestävyiden lisääminen ei välttämättä olisi niin rajoittavaa, kuin nykyisissä järjestelmissä, kun kokonaisuudesta saadaan karsittua toimijoita, joilla ei välttämättä ole mitään taloudellista tai muuta syytä kehittää toimitusketjun kestävyyttä. Lohkoketjujen avulla organisaatiot voisivat paremmin kehittää toimitusketjuja aidosti kestävämpään suuntaan pienemmillä resursseilla.

### **5.3 Puutavaran toimitusketjujen tiedonhallinnan parantaminen lohkoketjuteknologialla**

Lohkoketjuteknologian avulla tietojen muutokset voitaisiin jakaa välittömästi, mikä mahdollistaisi tuotteiden ja prosessien nopean käyttöönoton ja minimoi inhimilliset virheet ja tapahtuma-ajat (Saber et al., 2019). Koska toimitusketjun tietovirta voi pahimmillaan hidastaa koko toimitusketjua ja aiheuttaa näin ollen tehottomuutta, on tiedon nopea liikkuminen tärkeää. Lisäksi hajautuksen ja älykkäiden sopimusten avulla voitaisiin parantaa hallinnointiprosessin päätöksenteon tehokkuutta (Vilkov & Tian, 2019). Hajautuksen ansiosta tiedonhallinnasta saataisiin vakaampaa ja esimerkiksi tietojärjestelmien yksittäisten kriittisten pisteiden toimintahäiriöistä seuraavia ongelmia saataisiin karsittua pois. Jos tiedonhallinta toteutettaisiin lohkoketjuteknologian avulla, eri toimijoiden välisten järjestelmien eroavaisuudet haittaisi tiedon jakamisessa, vaan tieto olisi kaikkien saatavilla samassa muodossa.

Kuten luvussa 4.3 todettiin, toimitusketjujen häiriöihin varautuminen on kallista. Lohkoketjuteknologian avulla voitaisiin vähentää häiriöihin varautumisen tehottomuutta, jos pystytään luomaan synkronoituja valmiussuunnitelmia toimista ja tarvittavasta tiedosta toimitusketjun palauttamisesta toimintakuntoon (Ivanov, Dolgui & Sokolov, 2019). Lohkoketjuteknologian avulla myös mahdollisesti nykyistä ajankohtaisempi ja tarkempi tiedonhallinta ja esimerkiksi varastojen ja kuljetusten seuranta olisi mahdollista. Kun toimitusketjun epävarmuuksia saadaan paremman seurannan ja valvonnan avulla poistettua, voidaan häiriöihin valmistautumiseen kuluvia resursseja mahdollisesti vähentää.

### **5.4 Haasteet lohkoketjuteknologian hyödyntämisessä puutavaran toimitusketjuihin**

Lohkoketjuteknologia, kuten monen muutkin teknologiat, vaatii kaikkien toimitusketjun osapuolten täyden osallistumisen (Erhun, Kraft & Wijnsma, 2021). Esimerkiksi suomalaisen suklaavalmistajan tavoite toimitusketjun täydellisestä läpinäkyvyydestä lohkoketjuteknologian avulla kaatui siihen, että pienviljelijät ilman teknistä taustaa eivät osanneet käyttää lohkoketjuteknologiaa (Erhun, Kraft & Wijnsma, 2021). Koska puutavaran toimitusketjuissa toimijat voivat olla esimerkiksi yksittäisiä metsäomistajia tai kehittyvien maiden organisaatioita, joiden tietotekniset valmiudet eivät ole hyvät, voi lohkoketjujen käyttöönotto metsätaloudessa olla haastavaa.

Lohkoketjuihin liittyy vahvasti etenkin kryptovaluuttojen kohdalla spekulointia. Pahimmillaan spekulointi lohkoketjun arvolla, saattaisi kumota kestävän metsänhoidon. (Vilkov &

Tian, 2019). Voitontavoittelun ja spekuloinnin vuoksi lohkoketjuteknologian käyttöönot-  
taminen voi olla haastavaa. Kaikille avoin lohkoketjuratkaisu voisi siis olla huono ratkaisu  
puutavaran toimitusketjujen ongelmien ratkaisuun. Lisäksi voittoa tavoiteltaessa, louhin-  
nan ja validoinnin kontrollointi voi pettää (Vilkov & Tian, 2019). Näin ollen pahimmillaan  
kilpailu voisi johtaa jopa metsävarojen väärinkäyttöön (Vilkov & Tian, 2019).

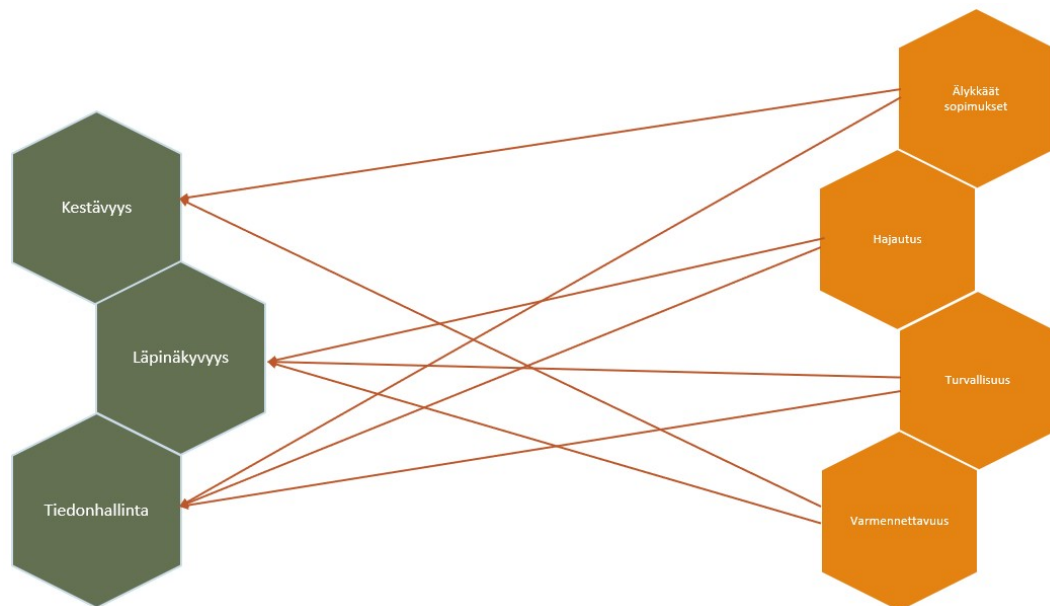


## 6. YHTEENVETO

### 6.1 Tulosten esittely

Lohkoketjuteknologian potentiaalia ei vielä ole saatu hyödynnettyä useissa mahdollisissa sovelluskohteissa. Tarkemmin sanottuna lohkoketjuteknologiaa ei ole testattu tarpeeksi mittavasti useissa mahdollisissa sovelluskohteissa, vaikka teorian tasolla tutkimusta lohkoketjujen hyödyntämisestä on tehty. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa läpinäkyvän, varman ja tehokkaan tavan tallentaa, säilyttää ja jakaa tietoa.

Tutkimuksessa tutkittiin, voidaanko lohkoketjuteknologian avulla vastata puutavaran toimitusketjujen ongelmiin. Kysymystä varten kerättiin tietoa erilaisista tieteellisistä materiaaleista, joista muodostettiin kokonaisuus. Tietoa kerättiin lohkoketjuteknologiasta, lohkoketjujen rakenteesta ja sen ominaisuuksista sekä toimitusketjuista, puutavaran toimitusketjuista ja näiden haasteista.



**Kuva 3.** Puutavaran toimitusketjujen haasteet ja lohkoketjuteknologian ominaisuudet

Tutkimuksen perusteella puutavaran toimitusketjuissa on monia haasteita, joihin lohkoketjuteknologia voi suoraan tai välillisesti vastata. Näitä keinoja on esitelty luvussa 5. Lisäksi kuvassa 3 on esitetty tutkimuksen löydökset, eli mitkä lohkoketjuteknologian ominaisuudet vastaavat mihinkäkin puutavaran toimitusketjun ongelmaan. Kuitenkin Lohko-

ketjuteknologiassa itsessään on monia ongelmia ja lohkoketjuteknologian soveltamisessa juuri puutavaran toimitusketjuihin on paljon ongelmia, joista etenkin oikeudelliset ongelmat rajoittavat lohkoketjuteknologiaratkaisujen kehittymistä ja yleistymistä.

## **6.2 Tutkimuksen arviointi ja jatkotutkimusehdotukset**

Tutkimus onnistui pääosin hyvin ja alussa määriteltyihin tutkimuskysymyksiin onnistuttiin vastaamaan. Tutkimus tarjoaa lyhyen katsauksen lohkoketjuteknologiaan ja sen ominaisuuksiin sekä lyhyen katsauksen toimitusketjuihin ja puutavaran toimitusketjuihin. Näiden katsausten pohjalta vastattiin tutkimuksen päätutkimuskysymykseen.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan ehdottaa jatkotutkimuksen aiheiksi seuraavia:

Tarkempi tekninen tutkimus lohkoketjuteknologian mahdollisuuksista, jotta voidaan antaa yksiselitteisempiä vastauksia lohkoketjuteknologian käyttömahdollisuuksista. Erityisesti huomioitavaa ovat jo olemassa olevine lohkoketjuteknologioiden mahdollisuudet.

Lisäksi voitaisiin tutkia toimitusketjun tieto- ja materiaalivirran yhdistämisen mahdollisuuksista, jotta esimerkiksi lohkoketjuteknologian liittäminen fyysisiin tavaroihin ja materiaaleihin olisi mahdollista.

## LÄHTEET

Abeyratne, S. and Monfared, R. (2016) 'Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger', *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05.

Agrawal, V. and Lee, D. (2019) 'The Effect of Sourcing Policies on Suppliers' Sustainable Practices', *Production and Operations Management*, 28(4), pp. 767–787. doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12943>.

Beck, R. *et al.* (2016) 'BLOCKCHAIN – THE GATEWAY TO TRUST-FREE CRYPTOGRAPHIC TRANSACTIONS', *Research Papers*. Available at: [https://aisel.aisnet.org/ecis2016\\_rp/153](https://aisel.aisnet.org/ecis2016_rp/153).

Björk, A. *et al.* (2011) 'Monitoring environmental performance of the forestry supply chain using RFID', *Computers in Industry*, 62(8–9), pp. 830–841. doi: 10.1016/j.comprod.2011.08.001.

Bloomenthal, A. (2021) *Asymmetric Information*, *Investopedia*. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/a/asymmetricinformation.asp> (Accessed: 18 April 2021).

Bowler, K., Castka, P. and Balzarova, M. (2017) 'Understanding Firms' Approaches to Voluntary Certification: Evidence from Multiple Case Studies in FSC Certification', *Journal of Business Ethics: JBE*, 145(2), pp. 441–456. doi: <http://dx.doi.org.lib-proxy.tuni.fi/10.1007/s10551-015-2880-1>.

Cartier, L. E., Ali, S. H. and Krzemnicki, M. S. (2018) 'Blockchain, Chain of Custody and Trace Elements: An Overview of Tracking and Traceability Opportunities in the Gem Industry', *The Journal of Gemmology*, 36(3), pp. 212–227. doi: <http://dx.doi.org.lib-proxy.tuni.fi/10.15506/JoG.2018.36.3.212>.

CoinDesk (2014) 'The Math Behind the Bitcoin Protocol, an Overview' Available at: <https://www.coindesk.com/math-behind-bitcoin> (Accessed: 2 May 2021).

Crosby, M. *et al.* (2016) 'BlockChain Technology: Beyond Bitcoin', (2), p. 16.

Delmolino, K. *et al.* (2016) 'Step by Step Towards Creating a Safe Smart Contract: Lessons and Insights from a Cryptocurrency Lab', in, pp. 79–94. doi: 10.1007/978-3-662-53357-4\_6.

Deutsche Welle (2021) *Suez Canal blockage: 4 of the biggest trade chokepoints | DW | 27.03.2021*, *DW.COM*. Available at: <https://www.dw.com/en/suez-canal-blockage-4-of-the-biggest-trade-chokepoints/a-57020755> (Accessed: 14 April 2021).

Dong, F. *et al.* (2017) 'Towards a fast and secure design for enterprise-oriented cloud storage systems', *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(19), p. e4177. doi: <https://doi.org/10.1002/cpe.4177>.

Erhun, F., Kraft, T. and Wijnsma, S. (2021) 'Sustainable Triple-A Supply Chains', *Production and Operations Management*, 30(3), pp. 644–655. doi: <https://doi.org/10.1111/poms.13306>.

Euroopan Unioni (2010) 'Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 995/2010, annettu 20 päivänä lokakuuta 2010, puutavaraa ja puutuotteita markkinoille saattavien toimijoiden velvollisuuksien vahvistamisesta ETA:n kannalta merkityksellinen teksti', p. 12.

European Commission (2018) *Illegal Logging - Forests - Environment - European Commission*. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/forests/illegal\\_logging.htm](https://ec.europa.eu/environment/forests/illegal_logging.htm) (Accessed: 4 March 2021).

Figorilli, S. et al. (2018) 'A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain', *Sensors*, 18(9). doi: <http://dx.doi.org.libproxy.tuni.fi/10.3390/s18093133>.

Filippi, P. D. (2014) 'Bitcoin: a regulatory nightmare to a libertarian dream', *Internet Policy Review*, 3(2). Available at: <https://policyreview.info/articles/analysis/bitcoin-regulatory-nightmare-libertarian-dream> (Accessed: 13 April 2021).

Fridgen, G. et al. (2018) 'Cross-Organizational Workflow Management Using Blockchain Technology – Towards Applicability, Auditability, and Automation', in. doi: 10.24251/HICSS.2018.444.

Gartner (2018) *5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018*. Available at: <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/> (Accessed: 4 March 2021).

Grossberg, S. P. (2009) *Forest Management*. Hauppauge NY: Nova Science Publishers, Inc. Available at: <http://libproxy.tuni.fi/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=cookie,ip,uid&db=e000xww&AN=350617&site=ehost-live&scope=site> (Accessed: 4 March 2021).

Hirsh, S. and Alman, S. W. (2020) *Blockchain*. Chicago: ALA Neal-Schuman (Library Futures). Available at: <http://libproxy.tuni.fi/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=cookie,ip,uid&db=e000xww&AN=2479358&site=ehost-live&scope=site> (Accessed: 24 March 2021).

Ivanov, D., Dolgui, A. and Sokolov, B. (2019) 'The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics', *International Journal of Production Research*, 57(3), pp. 829–846. doi: 10.1080/00207543.2018.1488086.

Kar, A. K. and Navin, L. (2021) 'Diffusion of blockchain in insurance industry: An analysis through the review of academic and trade literature', *Telematics and informatics*, 58, pp. 101532-. doi: 10.1016/j.tele.2020.101532.

Kenton, W. (no date) *Third Party, Investopedia*. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/t/third-party.asp> (Accessed: 18 April 2021).

Kinra, A., Kotzab, H. and Hsuan, J. (2015) *Managing the Global Supply Chain*. Frederiksberg, DENMARK: Samfundslitteratur. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=4186587> (Accessed: 5 April 2021).

van Kooten, G. C., Nelson, H. W. and Vertinsky, I. (2005) 'Certification of sustainable forest management practices: a global perspective on why countries certify', *Forest Policy and Economics*, 7(6), pp. 857–867. doi: 10.1016/j.forpol.2004.04.003.

Lambert, D. M. and Cooper, M. C. (2000) 'Issues in Supply Chain Management', *Industrial Marketing Management*, 29(1), pp. 65–83. doi: 10.1016/S0019-8501(99)00113-3.

Li, C. *et al.* (2021) 'AMVchain: authority management mechanism on blockchain-based voting systems', *Peer-to-peer networking and applications*, pp. 1–12. doi: 10.1007/s12083-021-01100-x.

Maa- ja metsätalousministeriö (2020) *Metsälaki, Maa- ja metsätalousministeriö*. Available at: <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsatalouden-kestavyys/metsalaki> (Accessed: 4 March 2021).

Metsäkeskus (2021) *Metsäsertifiointi, Metsäkeskus*. Available at: <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/oikeudet-ja-velvollisuudet/metsasertifiointi> (Accessed: 18 April 2021).

Michal, J. *et al.* (2019) 'Analysis of Socioeconomic Impacts of the FSC and PEFC Certification Systems on Business Entities and Consumers', *Sustainability*, 11(15), p. 4122. doi: 10.3390/su11154122.

Nikolakis, W., John, L. and Krishnan, H. (2018) 'How Blockchain Can Shape Sustainable Global Value Chains: An Evidence, Verifiability, and Enforceability (EVE) Framework', *Sustainability*, 10(11), p. 3926. doi: 10.3390/su10113926.

Nofer, M. *et al.* (2017) 'Blockchain', *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), pp. 183–187. doi: <http://dx.doi.org.libproxy.tuni.fi/10.1007/s12599-017-0467-3>.

Plambeck, E., Lee, H. L. and Yatsko, P. (2011) *Improving Environmental Performance in Your Chinese Supply Chain, MIT Sloan Management Review*. Available at: <https://sloanreview.mit.edu/article/improving-environmental-performance-in-your-chinese-supply-chain/> (Accessed: 12 April 2021).

PwC (2018) 'Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers?', *PwC*.

Rieger, A. *et al.* (2019) 'Building a Blockchain Application that Complies with the EU General Data Protection Regulation', *MIS Quarterly Executive*, 18, pp. 263–279. doi: 10.17705/2msqe.00020.

Saberi, S. *et al.* (2019) 'Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management', *International Journal of Production Research*, 57(7), pp. 2117–2135. doi: 10.1080/00207543.2018.1533261.

Schepers, D. (2010) 'Challenges to Legitimacy at the Forest Stewardship Council', *Journal of Business Ethics*, 92, pp. 279–290. doi: 10.1007/s10551-009-0154-5.

Schwartz, D. (2016) *Revolutionising Forestry, Provenance News*. Available at: <https://www.provenance.org/news/technology/blockchain-enabled-supply-chain-transparency-can-help-retailers-suppliers-reduce-risk> (Accessed: 9 April 2021).

Sedlmeir, J. *et al.* (2020) 'The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth', *Business & information systems engineering*, 62(6), pp. 599-. doi: 10.1007/s12599-020-00656-x.

Sodhi, M. S. and Tang, C. S. (2019) 'Research Opportunities in Supply Chain Transparency', *Production and Operations Management*, 28(12), pp. 2946–2959. doi: <https://doi.org/10.1111/poms.13115>.

TEPA-termipankki (2020) *peer-to-peer network*. Available at: <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/peer-to-peer%20network> (Accessed: 18 April 2021).

Tian, F. (2016) 'An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID blockchain technology', in *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICSSSM.2016.7538424.

Tilastokeskus (2019) *Energia*. Tilastokeskus. Available at: [https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk\\_energia.html](https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html) (Accessed: 13 April 2021).

United Nations Environment Programme (2016) *The rise of environmental crime: A growing threat to natural resources peace, development and security*. United Nations Environment Programme (UNEP). Available at: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/7662> (Accessed: 4 March 2021).

Vilkov, A. and Tian, G. (2019) 'Blockchain as a solution to the problem of illegal timber trade between Russia and China: SWOT analysis', *International Forestry Review*, 21(3), pp. 385–400. doi: 10.1505/146554819827293231.

Whitaker, A. (2019) 'Art and Blockchain: A Primer, History, and Taxonomy of Blockchain Use Cases in the Arts', *Artivate*, 8(2), pp. 21–46.