

Kanerva Pakkanen

**LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN VAHVUUDET JA  
HEIKKOUDET HANKINTAKETJUN  
JÄLJITETTÄVYYDEN HALLINNASSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2023

# TIIVISTELMÄ

Pakkanen, Kanerva

Lohkoketjuteknologian vahvuudet ja heikkoudet hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnassa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2023, 31 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatin tutkielma

Ohjaaja: Clements, Kati

Kuluttajien lisääntyneen kulutustietoisuuden myötä on tunnistettu tarve kyetä vastaamaan yhä paremmin kysyntään siitä, mitä reittiä lopputuote päätyy raaka-aineista jalostuksen kautta jälleenmyyjien jaeltavaksi. Hankintaketjujen jäljitettävyyden hallintaan on pyritty kehittämään useita sitä mahdollisimman tehokkaasti tukevia ratkaisuja ja viime vuosina kysyntään on lähdetty vastaamaan alun perin kryptovaluutta Bitcoinin taustalle kehitetyn lohkoketjuteknologian soveltamisen kautta. Tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkitaankin lohkoketjuteknologian soveltumista hankintaketjun jäljitettävyyden hallintamenetelmäksi. Tutkielman tavoitteena on luoda kokonaiskuva lohkoketjuteknologian potentiaalista jäljitettävyydjärjestelmien taustateknologiana. Aihetta lähestytään tutustumalla aiheen kannalta olennaisiin käsitteisiin ja sen myötä lohkoketjuteknologian määriteltyihin vahvuuksiin sekä heikkouksiin suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden näkökulmasta oleellisiin osatekijöihin. Tarkoituksena on luoda käsitys siitä, mitkä näistä tekijöistä ovat kriittisessä asemassa soveltuvuuden arvioinnissa ja osaltaan selittävät juuri lohkoketjuteknologian soveltuvuuden tai soveltumattomuuden piirteitä. Tutkielma on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena tutustumalla aiheesta olemassa olevaan tutkimuskirjallisuuden valiten hakutulosten joukosta aiheen näkökulmasta relevantit ja luotettava lähdeaineisto. Tutkielman mukaan lohkoketjuteknologiassa ilmenee sekä eroavaisuuksia, että päällekkäisyyksiä koskien teknologian vahvuuksia ja heikkouksia. Kirjallisuuskatsauksen perusteella lohkoketjuteknologian voidaan todeta soveltuvan hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan, ottaen kuitenkin huomioon sen teknologiana asettamat rajoitteet ja hankintaketjun jäljitettävyydelle asetetut tavoitteet. Lohkoketjuteknologian pohjalta toteutetulla jäljitettävyydjärjestelmällä voidaan muun muassa tehostaa hankintaketjun koordinoitua, parantaa suorituskykyä, hillitä laitonta toimintaa sekä helpottaa standardivaatimuksiin vastaaamista, mutta myös kuhunkin osa-alueeseen liittyviä haasteita havaittiin.

Asiasanat: lohkoketjuteknologia, hankintaketju, jäljitettävyyys, jäljitettävyyden hallinta

## ABSTRACT

Pakkanen, Kanerva

Strengths and Weaknesses of blockchain technology in supply chain traceability management

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2023, 31 p.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Clements, Kati

Increased consumer awareness has identified the organization's need to offer a better respond to the demand for information about the route a final product takes from raw materials through processing to retailers. Several solutions have been developed to manage supply chain traceability in the most efficient way possible. In recent years the solutions have been implementing new technologies for example blockchains, initially developed for the cryptocurrency Bitcoin. This literature review evaluates the suitability of blockchain technology as a supply chain traceability management methodology. The aim of the Bachelor's thesis is to provide an overall picture of the potential of blockchain logic as an enabling technology for traceability systems. The topic will be approached by introducing the relevant concepts and by defining the strengths and weaknesses of blockchain technology in relation to the elements relevant for supply chain traceability. The aim is to gain an understanding of which of these factors play a critical role in the assessment of suitability and contribute to explaining the suitability or otherwise of a blockchain technology. The thesis has been carried out as a systematic literature review by reviewing the existing research literature on the subject and selecting the most relevant and reliable sources from the search results. According to the results, blockchain technology has both differences and overlaps in terms of the strengths and weaknesses of the technology. The literature review concludes that blockchain technology is suitable for supply chain traceability management, still considering the limitations of the technology and the objectives of supply chain traceability. A traceability system based on blockchain technology can improve supply chain coordination, improve performance, curb illegal activities, and facilitate compliance with standard requirements, but also challenges were identified in each area mentioned above.

Keywords: blockchain technology, supply chain, traceability, traceability management

## KUVIOT

KUVIO 1 Hajautettu ja keskitetty järjestelmäarkkitehtuuri .....	9
KUVIO 2 Yksinkertaistettu lohkoketjuarkkitehtuuri .....	10
KUVIO 3 Hankintaketjun vaiheet .....	14

## TAULUKOT

TAULUKKO 1 Jäljitettävyyden implementoinnin ja hallinnan onnistumisen kannalta kriittiset osatekijät .....	16
TAULUKKO 2 Lohkoketjuteknologian vahvuudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan kannalta kriittisiin tekijöihin.....	20
TAULUKKO 3 Lohkoketjuteknologian heikkoudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan kannalta kriittisiin tekijöihin.....	22

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
KUVIOT .....	4
TAULUKOT .....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 LOHKOKETJUTEKNOLOGIA .....	8
2.1 Mikä on lohkoketjuteknologia? .....	8
2.2 Lohkoketjuteknologian vahvuudet.....	10
2.3 Lohkoketjuteknologian heikkoudet .....	11
3 HANKINTAKETJUT JA NIIDEN JÄLJITETTÄVYYS.....	13
3.1 Hankintaketju .....	13
3.2 Hankintaketjun jäljitettävyys .....	14
3.3 Jäljitettävyyden kannalta keskeiset asiat ja niiden hallinta .....	16
4 LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN SOVELTUMINEN HANKINTAKETJUN JÄLJITETTÄVYYSMENETELMÄKSI.....	19
4.1 Lohkoketjuteknologian vahvuudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan .....	19
4.2 Lohkoketjuteknologian heikkoudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan .....	21
4.3 Lohkoketjuteknologian vahvuudet ja heikkoudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden tavoitteisiin .....	23
5 YHTEENVETO .....	25
LÄHTEET .....	27

# 1 JOHDANTO

Nykypäivän kuluttajien lisääntynyt tietoisuus omien kulutusvalintojensa vaikutuksista lisää kuluttajien halua toimia markkinoilla vastuullisemmin ja kestävämmiin, niin sosiaalisesta kuin ympäristöllisestäkin näkökulmasta (Buerke, Straatmann, Lin-Hi & Müller, 2017). Kuluttajakäyttäytymistä tutkimalla voivat yritykset ohjata kuluttajaa haluamaansa suuntaan markkinoilla toimiessaan. Myös päinvastoin kuluttajien markkinoilla tekemät valinnat ohjaavat yrityksiä sekä organisaatioita tuottamaan tuotteita tavoilla, jotka vastaavat kuluttajien asettamia preferenssejä ja arvoja. (Schiffman, O’Cass, Paladino & Carlson, 2013) Tästä syystä on yritysten kyettävä vastaamaan tulevaisuudessa yhä paremmin markkinoiden sekä kuluttajien asettamiin vaatimuksiin.

Merkittävä osa vastuullista tuotantoa on tuotantoprosessin läpinäkyvyys. Yrityksen läpinäkyvyys heijastelee sitä, että yritys tai organisaatio on valmis ottamaan askeleen pidemmälle informoidakseen sidosryhmiään oman toimintansa taustoista (Parris, Dapko, Arnold & Arnold, 2016). Läpinäkyvyys voi ilmetä yrityksen toiminnassa monella eri tavalla, esimerkiksi tuotteen hankintaketjun jäljitettävyytenä, jolla tarkoitetaan kykyä selvittää ja osoittaa tuotteen kulkureitti jokaiseen ketjuun kuuluvan tahon toimesta aina raaka-aineesta lähtien kuluttajalle saakka (Sunny, Undralla & Madhusudanan Pillai, 2020).

Läpinäkyvyyden sekä jäljitettävyyden tarpeen tunnistaminen on johtanut siihen, että yritykset ovat alkaneet omaksua sekä implementoida erinäisiä teknologioita osaksi hankintaketjunsä toimintoja, juuri edellä mainittujen osa-alueiden vahvistamiseksi (Sunny ym., 2020). Yleisesti hankintaketjujen jäljitettävyydessä käytössä olevien teknologioiden, kuten Radio Frequency Identificationin (RFID) (Bechini, Cimino, Marcelloni & Tomasi, 2008) sekä esineiden internetin (engl. Internet of Things; IoT) (Tian, 2017) ohella, on vilkkaan kehityksen myötä yleistynyt myös lohkoketjuteknologiaan pohjautuvien jäljitelyjärjestelmien käyttö (Sunny ym., 2020).

Lohkoketjuteknologialla tarkoitetaan avointa hajautettuun arkkitehtuuriin perustuvaa teknologiaa, jota voidaan pitää hajautettuna vertaisverkon avulla toteutettuna tilikirjana (Drescher, 2017). Lohkoketju koostuu toisiinsa liitettyistä ja

toistetuista dataa tallentavista lohkoista, joita ylläpidetään verkostoon liitettyjen solmujen avulla (Rutland, 2017). Lohkoketjussa toimeenpannut toiminnot ja transaktiot tallennetaan kukin lohkojen luetteloon siten, ettei näihin sisältyviin tietoihin voida enää tietojen tallentamisen jälkeen kajota, jolla turvataan järjestelmän käsittelemien tietojen eheys (Zheng, Xie, Dai, Chen & Wang, 2018).

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on selvittää, miten kyseinen lohkoketjuteknologia soveltuu käytettäväksi hankintaketjujen jäljitettävyyssmenetelmien pohjalla, ja miten lohkoketjuteknologiaan liittyvät vahvuudet ja heikkoudet näyttäytyvät juuri tämän sovellusalan kannalta. Tutkimuksella pyritään vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen:

- Miten lohkoketjuteknologia soveltuu tuotantoketjun jäljitettävyyden hallintaan?

Lohkoketjuteknologian potentiaali sekä lukuiset sovellusmahdollisuudet on tunnustettu niin yksityisten kuin julkistenkin tahojen toimesta. Lohkoketjut nähdään sekä uusien toimintojen mahdollistajana että ennestään olemassa olevien uudistajana aina terveydenhuollosta teollisuuden toimintoihin saakka. (Underwood, 2016) Jokainen teknologia – kuten myös lohkoketjuteknologia – sisältää vahvuuksia sekä heikkouksia, joiden tiedostaminen ja haastaminen ovat tärkeä osa uuden implementointia (Zheng, Xie, Dai, Chen & Wang, 2017).

Tämä kandidaatintutkielma on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Tutkimusaineisto on kerätty ensisijaisesti Google Scholar ja JykDok -tietokannoista hyödyntäen tarkkaan rajattuja hakusanoja ja -termejä sekä valiten lähteiksi ainoastaan vertaisarvioituja artikkeleita. Tutkielmaan sopivia lähteitä valittaessa on julkaisut tarkistettu Julkaisuforumin Julkaisukanavahaun avulla. Tutkielmaan on pyritty valitsemaan lähteitä pääosin korkeimman sekä johtavan tason julkaisuista, mutta tutkittavan teknologian tuoreuden vuoksi, on lähteiden joukossa myös perustason julkaisuja. Aiheeseen liittyvää akatemista tutkimusta on toistaiseksi tehty pääosin englanniksi, joten myös hakutermeiksi valikoitui englanninkielisiä sanoja. Käytettyjä termejä sekä hakutermyhdistelmiä olivat "blockchain", "blockchain technology", "blockchain traceability", "blockchain supply chain", "supply chain traceability", "supply chain management", "supply chain transparency" sekä "responsible business management".

Ensin tutkielmassa syvennytään lohkoketjuteknologian käsitteeseen sen määrittelyn sekä siihen liitettyjen vahvuuksien ja heikkouksien kautta. Tämän jälkeen siirrytään määrittelemään hankintaketjun ja sen jäljitettävyyden käsitteitä ja yhä edelleen siirtyen tutkimaan hankintaketjun jäljitettävyyden kannalta keskeisiä tekijöitä. Lopuksi tarkastellaan näiden tekijöiden suhteutumista määritelyihin lohkoketjuteknologian vahvuuksiin sekä heikkouksiin ja pyritään tämän analyysin kautta vastaamaan määriteltyyn tutkimuskysymykseen.

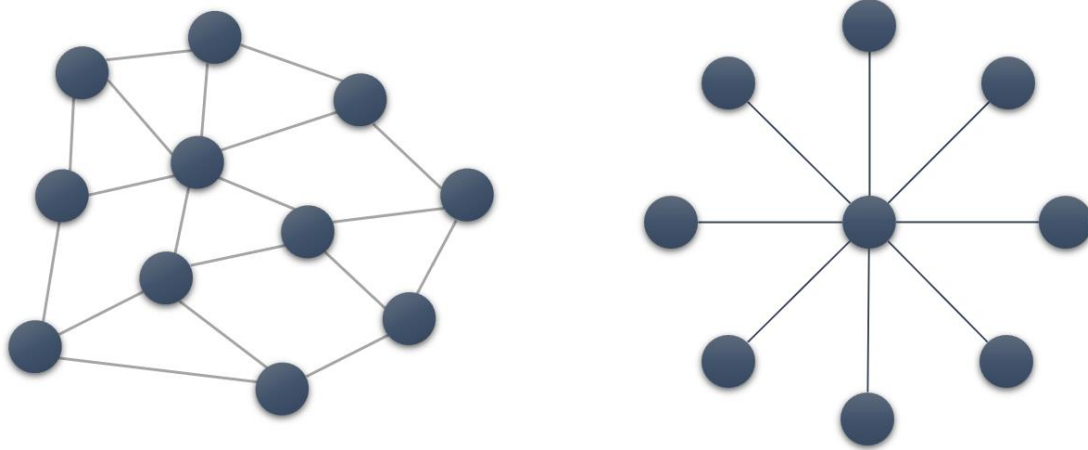
## 2 LOHKOKETJUTEKNOLOGIA

Tässä luvussa syvennyttään lohkoketjuteknologian määritelmään sekä sen vahvuuksiin ja heikkouksiin sovellettavana teknologiana. Määritelmän yhteydessä avataan lyhyesti myös teknologian kehityksen taustaa sekä yleistä toimintaperiaatetta.

### 2.1 Mikä on lohkoketjuteknologia?

Lohkoketju on internetin tavoin avoin teknologia, joka mahdollistaa niin instituutioiden, yritysten kuin yksityiskäyttäjienkin suorittaa erinäisiä toimintoja ilman kolmannen osapuolen puuttumista tapahtuman kulkuun. Alun perin teknologia kehitettiin kryptovaluutta Bitcoinin taustalle mahdollistamaan korrumpoitumattomia transaktioita. (Underwood, 2016) Lohkoketjua voidaan pitää hajautettuna vertaisverkon (engl. peer to peer) avulla toteutettuna tilikirjana (engl. ledger), joka koostuu toisiinsa liitetyistä ja monistetuista dataa kirjaavista tietolohkoista. Järjestelmien arkkitehtuureja voidaan hajautetun toteutuksen lisäksi toteuttaa myös keskitettynä (kuvio 1). (Drescher, 2017) Hajautettu tilikirja, eli tässä yhteydessä lohkoketju on salattu aukoton kirjausketju, jota ylläpitävät solmut (engl. nodes) (Rutland, 2017), jotka ovat järjestelmään liitettyjä komponentteja, esimerkiksi tietokoneita (Drescher, 2017). Lohkoketju on yksi monista tavoista toteuttaa hajautettu tilikirja, mutta kaikki hajautetut reskontrat eivät välttämättä käytä taustallaan lohkoketjua (Rutland, 2017).

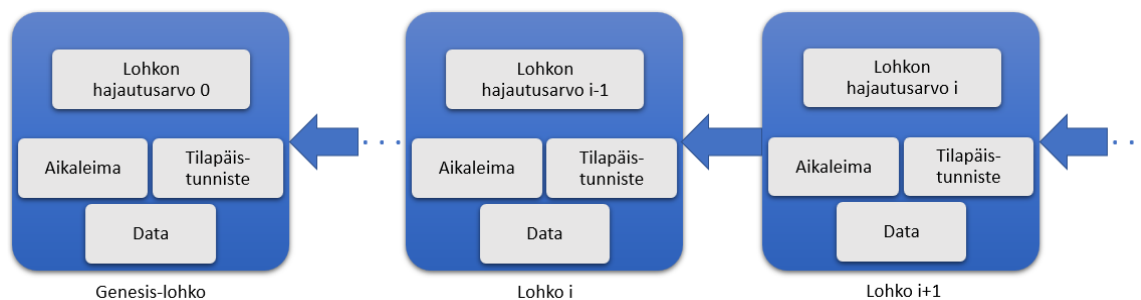




KUVIO 1 Hajautettu ja keskitetty järjestelmäarkkitehtuuri

Lohkoketjussa toteutetut toiminnot ja transaktiot tallennetaan lohkojen luetteloon, niin ettei toimintoon voida kajota niiden syöttämisen jälkeen ulkoisen tahon toimesta. Lohkoketjujen keskeisimpiä ominaisuuksia ovat hajautettavuus, muuttumattomuus, anonymiteetti sekä tarkastettavuus, jotka osaltaan voivat edesauttaa kustannusten laskua sekä tehokkuuden parantamista lohkoketjuissa. Epäsymmetrisen salauksen ja hajautettujen konsensusalgoritmien ansiosta kytetään lohkoketjuissa varmistamaan käyttäjien turvallisuus sekä tilikirjoihin kirjattavien tapahtumien johdonmukaisuus. (Zheng ym., 2018)

Käytännössä lohkoketjuja voidaan toteuttaa monella eri tapaa, mutta peruseriaate teknologian arkkitehtuurin pohjalla on usein toisiaan vastaava (Zheng ym., 2018). Ensin lähettävän solmun roolissa toimiva komponentti sisältää niin kutsutun Genesis-lohkon (Zheng ym., 2018), joka tallentaa uuden datan ja lähettää sen eteenpäin solmujen verkostoon muihin lohkoihin (Lin & Liao, 2017). Vastaanottava lohko tarkistaa saadun datan verraten sen sisältämiä tietoja kuten hajautusarvoa (engl. hash value), tilapäistunnistetta (engl. nonce) ja aikaleimaa edeltäjäänsä. Jos tiedot täsmäävät, varastoidaan vastaanotettu data lohkoihin. Vastaanottava solmu voi hyödyntää datan oikeellisuuden todentamiseen eri konsensusalgoritmeja, josta esimerkkeinä ovat muun muassa Proof-of-Work (PoW) ja Proof-of-Stake (PoS). Lohko tallennetaan ketjuun konsensusalgoritmin suorittamisen jälkeen, jolloin lohko liitetään laajentamaan ketjua ja solmut hyväksyvät sen osakseen. (Lin & Liao, 2017) Yksinkertaistetusti lohkoketjun toimintaperiaatetta kuvatessa etenee data lohkoissa vasemmalta oikealle, lähtien liikkeelle Genesis-lohkosta, jolloin nuolet osoittavat eteenpäin siirtyvän datan leima-tietojen vertauksen suunnan (kuvio 2).



KUVIO 2 Yksinkertaistettu lohkoketjuarkkitehtuuri (Zheng ym., 2018; Lin & Liao, 2017)

## 2.2 Lohkoketjuteknologian vahvuudet

Lohkoketju omaa teknologiana laajan soveltuvuuspotentiaalin useilla aloilla: finanssialalla (Underwood, 2016), terveydenhuollossa ja teollisuudessa muun muassa tuotannon sekä logistiikan hallinnassa (Kouhizadeh, Saberi & Sarkis, 2021), joista erityisesti viimeistä voidaan soveltaa koskemaan myös hankintaketjun sisältämien vaiheiden hallintaa. Teknologia on saanut laajaa huomiota muun muassa hankintaketjujen ja kestäväen kehityksen mullistamisen edistäjänä sekä tehostaen tuotantoa että laskien sen kustannuksia (Kouhizadeh ym., 2021). Erityisesti lohkoketjun vahvuuksina voidaan pitää sen mahdollistamat muuttumattomat, läpinäkyvät, turvalliset sekä luotettavat ratkaisut, joita voidaan tarpeen mukaan kehittää niin julkiseen kuin yksityiseen käyttöön (Underwood, 2016). Zheng ym. (2017) ovat määritelleet lohkoketjun keskeisiksi ominaisuuksiksi hajautettavuuden (engl. decentralisation), muuttumattomuuden (engl. persistency), tarkastettavuuden (engl. auditability) sekä anonymiteetin (engl. anonymity), joista erityisesti kolme ensimmäistä tarjoaa omat vahvuutensa kyseiseen teknologiaan.

Hajautettavuuden kontekstissa on lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä mahdollista vähentää merkittävästi esimerkiksi palvelinkustannuksia – mukaan lukien kehitys- ja käyttökustannuksia – ja lieventää suorituskykyyn liittyviä keskuspalvelimen pullonkauloja (Zheng ym., 2017). Hajautettavuus mahdollistaa kaikkien transaktioon osallistuvien solmujen resurssien hyödyntämisen ja eliminoi niin kutsutut ”many-to-one” -liikennevirrat, joka osaltaan pienentää järjestelmän latenssia ja tarjoaa ratkaisun ongelmiin, joissa yhden vikaantumispisteen häiriöt vaikuttavat koko ketjun toimintaan keskitetyissä malleissa. (Atlam, Alenezi, Alassafi & Wills, 2018)

Lohkoketjun muuttumattomuudella tarkoitetaan lohkoketjuun tallennettujen tietojen korruptoitamattomuutta. Myös eheydeksi kutsuttu ominaisuus estää järjestelmää käyttävien osapuolten kajoamisen jo lohkoketjun transaktiohistoriaan lisättyihin tietoihin (Hughes ym., 2019). Käytännössä monimutkaisten epäsymmetrisen salauksen ja hajautettujen konsensusmekanismien ansiosta ei lohkoketjuun pakattua tietoa voida enää tallennuksen jälkeen muuttaa, sillä siirtyvän tiedon on täsmäyttävä jokaisesta lohkokosta sekä solmusta löytyvään tietoon, sisältäen myös edeltävän lohkon tallennetut tiedot (Chauhan, Malviya, Verma &

Mor, 2018). Tämän ansiosta ovat lohkoketjun tarjoamien toimintojen väärennysyritykset havaittavissa helposti, joka tukee osaltaan myös teknologian tarkastettavuuden ominaisuutta. (Zheng ym., 2017)

Hieman ristiriitaisena voidaan nähdä keskustelu ja tehty tutkimus liittyen lohkoketjuteknologian anonymiteettiin. Etenkin teknologian alkumetreillä Bitcoinin saavuttaessa jalansijaa valuuttamarkkinoilla nousi mediassa esiin keskustelua teknologiaan liittyen juuri sen tarjoaman anonymiteetin vuoksi, sillä lähtökohtaisesti pyrkimyksenä oli mahdollistaa yksilöä suojaava verkon välityksellä vaihtuva valuutta (Underwood, 2016). Lohkoketjussa anonymiteetillä tarkoitetaan sitä, että jokainen käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa lohkoketjun kanssa heille yksilöidysti generoidulla osoitteella, joka ei suoraan paljasta käyttäjän henkilöllisyyttä (Zheng ym., 2017). Tämän osalta teknologia ei ole kuitenkaan täysin aukoton, jonka vuoksi asiaan pureudutaan lisää seuraavassa sisältyvässä.

Vastaavasti Hughes ym. (2019) osoittavat taholtaan erityisesti hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan näkökulmasta kiinnostavia teknologian implementointia koskevia potentiaalisia hyötyjä, kuten automatisoinnin sitä seuraavan prosessoinnin nopeuden ja virtaviivaisen prosessin (engl. streamlined process) sekä kustannusten laskun. Automaatiolla voidaan lohkoketjujen toimintamekanismeissa korvata manuaalisia työtehtäviä esimerkiksi tiedon kirjaamista ja siirtoa koskien, joka osaltaan tehostaa prosessien käsittelynopeutta etenkin hajautetun arkkitehtuurin osalta verrattuna keskitettyyn arkkitehtuuriin (Hughes ym., 2019). Lohkoketjuteknologia toimii ideaalina taustana automaation toteutukselle sen laajojen soveltuvuusmahdollisuuksien ansiosta (Mistry, Tanwar, Tyagi & Kumar, 2020). Virtaviivaistetun prosessin näkökulmasta lohkoketjujen avulla voidaan luoda standardisoituja, läpinäkyvämpiä ja tehokkaampia, sillä uuden teknologian myötä on prosessit suunniteltu vastaamaan paremmin nykypäivän tarpeita. Nämä kaikki vaikuttavat osaltaan kustannusten laskuun poistaen prosessista esimerkiksi tarpeettomia välivaiheita. (Hughes ym., 2019)

### 2.3 Lohkoketjuteknologian heikkoudet

Suuresta kehityspotentiaalistaan huolimatta, sisältyy lohkoketjuteknologiaan etenkin sen teknisten ominaisuuksien vuoksi myös useita haasteita. Moni teknologiaan liitetystä vahvuudesta voidaan kuitenkin nähdä sovelluskohteesta riippuen myös heikkouksina.

Ensinnäkin teknologiaan liittyvä skaalautuvuus on merkittävä rajoite sen soveltamisessa, joka on havaittu erityisesti teknologian toimiessa kryptovaluuttojen taustalla, niiden suosion myötä transaktioiden määrän kasvaessa (Chauhan ym., 2018). Skaalautuvuusongelmat johtuvat lohkojen rajallisesta koosta ja käytössä olevista konsensusmenetelmistä (Chauhan ym., 2018) – etenkin PoW-konsensusalgoritmia hyödyntäessä, jossa jokainen verkon solmu validoi transaktion peräkkäin ennen sen lopullista julkaisua lohkoketjussa (Lin & Liao, 2017).

Transaktion läpikäymien vaiheiden määrän kasvaessa vaativat suuremmat lohkot saumattomasti toimiakseen myös enemmän tallennustilaa, joka voi johtaa tiedon hitaampaan etenemiseen verkossa. Lisäksi PoW-konsensusalgoritmin käyttöön liittyy problematiikkaa muun muassa sen toiminnallisuuksista johtuvan suuren sähkönkulutuksen vuoksi (Zheng ym., 2018), jonka huomioiminen on hyvin tärkeää nykypäivän kestävämpiä tuotantotapoja kehittäessä.

Hyötynäkin mainittu lohkoketjun muuttumattomuus asettaa teknologialle omat joustavuusrajoituksensa. Muuttumattomat ”*append only*” -ominaisuudet, eli ainoastaan tiedon rationaalisen lisäämisen mahdollistavat toiminnot takaavat järjestelmään kirjattavien transaktioiden eheyden, mutta se voi olla toimia esteenä käyttötapauksille, jotka edellyttävät muutoksia prosessissa tuotettuihin tapahtumiin. (Hughes ym., 2019) Hajautetun arkkitehtuurinsa vuoksi asettaa teknologia tästäkin näkökulmasta haasteensa sen skaalautuvuudelle. Perinteiseen keskitettyyn tietokantaratkaisuun verrattuna on lohkoketju huomattavasti tehottomampi, sillä sen skaalaaminen suurelle kapasiteetille on monimutkaisempaa, joka itsessään vähentää sen sisältämien toimintojen joustavuutta. (Ølnes, 2016)

Jo vahvuutenakin edellä mainittu anonymiteetti ilmentää osaltaan ristiriitaa puhuttaessa lohkoketjuteknologiaan liittyvistä vahvuuksista ja hyödyistä sekä heikkouksista ja rajoitteista. Useissa lohkoketjun varassa toimivissa kryptovaluutoissa on hyödynnetty tarkkojen henkilötietojen käytön sijaan pseudonyymejä eli nimimerkkejä. Lohkoketjun ollessa julkinen, avoin teknologia, on käyttäjän anonymiteetti mahdollista purkaa analysoimalla verkkoliikennettä tai lohkoketjua itseään, minkä vuoksi pseudonyymit eivät takaa täyttä anonymiteettiä. (Conoscenti, Vetrò & De Martin, 2016) Lohkoketjussa jokainen verkon solmu ylläpitää täydellistä transaktiotietojen historiaa. Osaltaan tämä voi toimia hyödynnettävänä ominaisuutena sekä etuna tietoturvan kannalta joissakin käyttötapauksissa, mutta tilanteissa, joissa yksityisyys ja anonymiteetti ovat välttämättömiä, luo transaktiohistorian ylläpitäminen omat rajoitteensa. (Hughes ym., 2019) Osaltaan kryptovaluutat ja niihin usein liitetyt anonymit toiminnot ovat jopa kiihdyttäneet ja mahdollistaneet rikollista toimintaa (Kethineni & Cao, 2020).

Vaikka itse lohkoketjuteknologian hyödyntäminen voi laskea muilla osaluilla kustannuksia on lohkoketjun taustalla suoritettava kaikkiin solmuihin toistettava transaktiohistorian tallennus laskennallisesti kallista. Laajoissa toimintalinjoissa vaatii prosessi saumattomasti toimiakseen valtavat resurssit, minkä vuoksi voi suurissa verkoissa ilmetä rajoitteita. Tämä voi aiheuttaa järjestelmässä myös latenssin suurenemisen. (Hughes ym., 2019)

Organisaatioiden näkökulmasta on tärkeää huomioida teknologiaan liittyvät hallinnoinnin (engl. governance) haasteet. Yritys- ja IT-hallinto sivuavat samoja kysymyksiä, joten IT-hallinnan suorituskyky vaikuttaa suuresti koko organisaation kykyyn saavuttaa tavoitteensa (Van Grembergen & De Haes, 2005). Lohkoketjuarkkitehtuurin hajautettu luonne tarjoaa selviä etuja tietyissä käyttötapauksissa, mutta se voi asettaa merkittäviä rajoituksia yleiselle valvonnalle ja ohjaukselle, erityisesti teknologian tuoreuden vuoksi (Hughes ym., 2019).

### 3 HANKINTAKETJUT JA NIIDEN JÄLJITETTÄVYYS

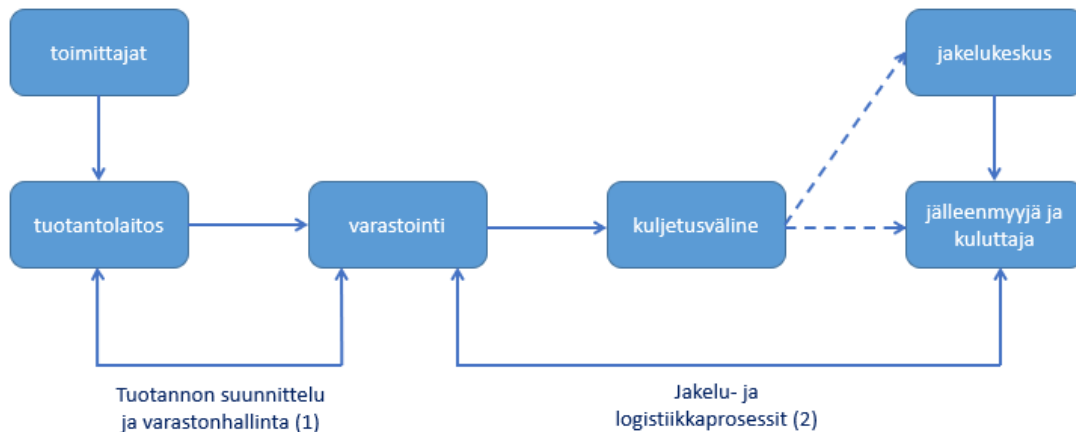
Tässä luvussa paneudutaan hankintaketjuun sekä sen jäljitettävyyteen, jäljitettävyyttä tukeviin teknologioihin sekä jäljitettävyyssmenetelmistä saatavaan informaatioon. Ensimmäiseksi tarkastellaan hankintaketjun käsitettä sekä yksinkertaistetulla mallilla sen eri vaiheita. Tätä seuraa syventyminen hankintaketjun jäljitettävyyden käsitteeseen, sen kannalta olennaisiin piirteisiin ja niiden hallintaan.

#### 3.1 Hankintaketju

Hankintaketjulla tarkoitetaan yksinkertaisuudessaan toimittajien verkostoa, joka toimittaa tuotteita raaka-aineista loppuasiakkaille suunnitellun ja optimoidun tieto-, tavara- ja rahavirran kautta (Pittman & Atwater, 2022). Hankintaketjuilla on organisaation kannalta sekä strategisia että operationaalisia ulottuvuuksia (Cox, 1999). Tässä tutkielmassa painotus syventyy hankintaketjun operationaaliin ominaisuuksiin. Operationaalisesta eli toiminnallisesta näkökulmasta hankintaketjulla tarkoitetaan ensisijaisten sekä tukihankintaketjujen muodostamaa sarjaa, joka on rakennettava, jotta siihen syötettävien panosten ja siitä saatavien tuotosten myötä voidaan tuottaa haluttu tuote tai palvelu kohdeasiakkaalle. Lähtökohtaisesti tuotantoketjut ovat kullakin organisaatiolla ainutlaatuisia, sillä organisaation asettamat tuotantopanokset ja -tuotokset määrittävät niiden aseman ja vaaditut toiminnot, jotta prosessin lopputuotoksena kyetään tarjoamaan tiettyä tuotetta ja palvelua mahdollisimman tehokkaasti. (Cox, 1999)

Hankintaketju koostuu tavallisesti kahdesta integroiduista perusprosessista: (1) tuotannon suunnittelu- ja varastonhallintaprosessista sekä (2) jakelu- ja logistiikkaprosessista (kuvio 3). Nämä muodostavat viitekehyksen raaka-aineiden jalostamisesta aina lopputuotteeksi saakka. (Beamon, 1998) Tässä tutkielmassa keskitytään hankintaketjun käsitteeseen sekä prosessiin objektiivisena kokonaisuutena. Karkeassa kuvauksessa tuote siirtyy raaka-aineesta toimittajan

avustuksella hankintaketjussa eteenpäin vaihe vaiheelta ja tarvittaessa toistaa edeltäviä vaiheita uudelleen jalostuksen edetessä. Tavallisia toistettavia vaiheita ovat esimerkiksi varastointi ja kuljetus. (Beamon, 1998)



KUVIO 3 Hankintaketjun vaiheet (Beamon, 1998)

### 3.2 Hankintaketjun jäljitettävyys

Jäljitettävyys nähdään kykynä tunnistaa ja jäljittää tuotteiden, niiden osien, materiaalien ja palveluiden historiaa, jakelua, sijaintia ja käyttöä (ISO, 2000) ja se on noussut viime vuosisadan lopusta lähtien tärkeään asemaan tuotteiden kokonaislaatu- ja prosessien hallinnassa (Garcia-Torres, Albareda, Rey-Garcia & Seuring, 2019). Jäljitettävyysjärjestelmän luominen on monimutkainen tehtävä, joka kattaa kaikki tuotannon, jalostuksen ja jakelun vaiheet ja tietoja on täten kerättävä sekä tuotteista, että niihin kohdistuvista prosesseista, kuten siirtämisestä, muuntamisesta ja yhdistämisestä. Tätä varten jäljitettävyyttä on tuettava asianmukaisilla arkkitehtuurisilla ja teknisillä toteutusratkaisuilla sekä soveltuvilla palveluilla, jotta se tuottaisi odotetun arvon kaikille hankintaketjun osapuolille. (Bechini ym., 2008)

Tuote kulkee usein pitkän matkan monivaiheisen hankintaketjun läpi ja organisaation näkökulmasta on useita syitä, minkä vuoksi on hyödyllistä kyetä hallinnoimaan sekä seuraamaan tuotteen matkaa hankintaketjussa alusta loppuun saakka. Hankintaketjun jäljitettävyydellä voidaan liiketoiminnan asettamien vaatimusten osalta muun muassa parantaa suorituskykyä kestävä kehityksen näkökulmasta, hillitä laitonta toimintaa, tehostaa hankintaketjun koordinoitua sekä havaita uusia markkinasuuntauksia. (Hastig & Sodhi, 2020)

Useimmissa tapauksissa tuote on monien eri hankintaketjuun osallistuvien tahojen suorittamien tuotantovaiheiden tulos, jossa eri toimijat ovat vuorovaikutuksessa keskenään vaihtaakseen materiaaleja, puolivalmiita tuotteita sekä tuotantoprosessiin liittyvää tietoa. Näin ollen hankintaketjulle asetetut liiketoiminnalliset vaatimukset – erityisesti kestävien ratkaisujen osalta – on tiukasti

sidoksissa koko hankintaketjun suorituskykyyn sekä toimintaan. Kaikki loppu-  
tuotteiden ja puolivalmisteiden valmistukseen osallistuvat toimijat on huomioi-  
tava osana hankintaketjun jäljitystä, jotta asiakkaalle voidaan taata ympäristölli-  
sesti sekä sosiaalisesti kestävä tuotteen valmistus. (Marconi, Marilungo, Papetti  
& Germani, 2017)

Jäljitettävyyttä hyödynnetään lukuisilla eri teollisuudenaloilla esimerkiksi  
takaamaan hankintaketjun turvallisuutta ja kerätessä dataa tuotantoprosessiin  
liittyen (Jansen-Vullers, Dorp & Beulens, 2003). Jäljitettävyyttä hyödyntäviä aloja  
ovat muun muassa metsäteollisuus (Sunny ym., 2020), maatalousteollisuus, ruu-  
antuotannon teollisuudenala, lääketeollisuus sekä hyötytavaratuotanto kuten  
vaatteiden- ja huonekalujen teollisuudenala. (Jansen-Vullers ym., 2003)

Merkittävässä asemassa hankintaketjun reitistä saatavien tietojen analyyy-  
sissa ovat erilaiset sertifikaatit. Ne ilmentävät loppukäyttäjälle ja kuluttajalle esi-  
merkiksi hankkimansa tuotteen valmistuksen, kuljetuksen ja raaka-aineiden ym-  
päristöllistä sekä sosiaalista vastuullisuutta ja vaikutusta, sertifikaatin asettamien  
vähimmäisvaatimuksien mukaisesti. Sertifikaateilla pyritään varmistamaan, että  
tuotetta tai palvelua koskevat, asiakkaalle pintapuolisesti näkymättömät ominai-  
suudet tai tuotantotavat vastaavat annettuja markkinointiväittämiä. (Jahn,  
Schramm & Spiller, 2005) Kulutustuotteissa tavallisesti kohdattavia sertifikaat-  
teja ovat esimerkiksi vaateteollisuudessa Global Organic Textile Standard, GOTS  
(Global Organic Textile Standard, 2020), pääosin elintarviketeollisuudessa nä-  
kyvä Fairtrade (Fairtrade, 2011) sekä metsäteollisuudessa Forest Stewardship  
Council, FSC (Forest Stewardship Council, 2015), joista kukin asettaa omien kes-  
tävyyteen liittyvien periaatteidensa mukaan vaatimukset sertifikaatin ansaitse-  
miselle. Sertifikaatteihin liittyen on tiedostettu riski väärin perustein myönne-  
tyistä tai puutteellisen valvonnan alla toimivista sertifioiduista tuottajista ja tuot-  
teista, minkä vuosien saatossa on pyritty kehittämään niitä koskevan auditoinnin  
toimintaa ja luotettavuutta (Jahn ym., 2005). Hankintaketjun jäljitettävyydellä  
voidaan mahdollistaa myös hankintaketjun läpinäkyvyys, jolla tarkoitetaan or-  
ganisaation sidosryhmien esteetöntä pääsyä tuotteen valmistukseen liittyvään  
informaatioon (Sunny ym., 2020), mikä osaltaan mahdollistaa sertifikaattien ja  
erilaisien standardien asettamien vaatimusten täyttämisen (Jahn ym., 2005).

Hankintaketjuun implementoitavia jäljitettävyyttä tukevia teknologioita on  
kehitetty suuri määrä vastaamaan kunkin organisaation asettamia tarpeita. Useat  
käytettävistä jäljitettävyydsjärjestelmistä pitävät sisällään saman kaltaisia toimin-  
toja ja yhdistelevät useita eri sovelluksia saavuttaakseen kaiken organisaation  
kannalta hyödyllisen tiedon. Esimerkkejä jäljitettävyyden kannalta keskeisen in-  
formaation keräämiseen hyödynnettävistä sovelluksista ovat muun muassa Ra-  
dio Frequency Identification (RFID), QR-koodit sekä Internet of Things -laitteet  
(IoT), joiden avulla voidaan kerätä erityisesti tuotteen sijaintiin ja kulkureittiin  
liittyviä tietoja. (Sunny ym., 2020)

### 3.3 Jäljitettävyyden kannalta keskeiset asiat ja niiden hallinta

Hankintaketjussa kulkevasta tuotteesta riippuen, voidaan siitä kerätä matkan varrella runsas määrä erilaista dataa, jonka käsittelemiseksi ja tallentamiseksi tarvitaan tätä varten määriteltyä teknologiaa ja sovelluksia (Marconi ym., 2017). Jäljitettävyydellä pyritään liiketoiminnan kannalta jo edellä mainittujen suorituskyvyn parantamisen, laittoman toiminnan hillitsemisen, hankintaketjun koordinoimisen tehostamisen sekä uusien markkinasuuntauksien havaitsemisen (Hastig & Sodhi, 2020) lisäksi parantamaan tuoteturvallisuutta ja helpottamaan standardivaatimuksiin vastaamista (GS1, 2017).

Hastig ja Sodhi (2020) ovat määritelleet jäljitettävyyden implementoinnin ja hallinnan onnistumisen kannalta kuusi organisaation näkökulmasta kriittisiä osatekijää: yrityksen valmiudet, hankintaketjun sisäinen yhteistyö, käytettävän teknologian valmiudet, hankintaketjun käytännöt, johtajuus ja jäljitettävyyden hallinta. Kukin osatekijä pitää sisällään eri osa-alueita, joilla pyritään vastaamaan osatekijän näkökulmasta kriittisiin tarpeisiin (taulukko 1). Näiden tarkoituksena on kuvastaa myös sitä, kuinka monitahoisesta toiminnosta hankintaketjun jäljitettävyyden kohdalla on kyse. (Hastig & Sodhi, 2020)

TAULUKKO 1 Jäljitettävyyden implementoinnin ja hallinnan onnistumisen kannalta kriittiset osatekijät (Hastig & Sodhi, 2020)

Osatekijä	Kuvaus	Esimerkkejä sisällöstä
Yrityksen valmiudet	Kompetenssi, resurssit ja tietotaito	Teknisen kyvykkyyden taso, organisaatiovalmiudet, muutosta edesauttavat valmiudet
Hankintaketjun sisäinen yhteistyö	Kommunikaatio ja hankintaketjuun osallistuvien tahojen yhteiset tavoitteet	Yhteiset tavoitteet, kumppanuusluottamus, sidosryhmien sitoutuminen
Käytettävän teknologian valmiudet	Teknologian kypsyys, tietoturva ja teknologian toteutettavuus	Käytettävät järjestelmät, niiden ylläpito ja tarvittava implementointi jäljitettävyydestä tarkoituksiin, kustannukset
Hankintaketjun käytännöt	Tiedonkeruu ja toiminnalliset mallit	Hankintaketjusta saadun datan hyödyntäminen, riskienhallinnan toiminnot, IT-infrastruktuuri
Johtajuus	Organisaation sisäinen ja sidosryhmien ulkoinen johtajuus	Motivointi yhteisiin tavoitteisiin sitoutumiseksi, hankintaketjuun osallistuvien sidosryhmien yhdistäminen
Jäljitettävyyden hallinnointi	Työskentely oikeudellisten puitteiden mukaan ja tiedonhallinnan valvominen	Lainmukainen toiminta, globaaleissa hankintaketjuissa toimitettava kunkin alueen asettamien säädösten mukaan, standardien ja sertifikaattivaatimusten noudattaminen



Jotta on mahdollista seurata sekä kerätä dataa tuotteen kulusta, sekä saada siitä irti kaikki tiedon tarjoama hyöty, on organisaation huolehdittava tarkkaan kaikkien osa-alueiden onnistumisesta. Tiedonhallinnan näkökulmasta jäljitettävyyjärjestelmän toteuttaminen hankintaketjussa edellyttää, että kaikki hankintaketjuun osallistuvat osapuolet sitovat järjestelmällisesti käsittelemiensä materiaalien, toimintojen tai tuotteiden fyysisen kulun ketjussa sitä vastaavaan tietovirtaan. Tämä on mahdollista saavuttaa yhteisillä sopimuksilla ja hankintaketjujen teknisillä kurinpitokäytänteillä, joiden sisältämät säännöt koskevat kaikkia materiaali- ja asiakirjavirtoja, tuotantoprosessien hallintaa ja toteutusta, liiketoimintaprosessien yhteistyötä sekä vastuunjakoa. (Bechini ym., 2007).

Hastigin ja Sodhin (2020) määrittelemistä osatekijöistä hankintaketjun sisäinen yhteistyö nousee merkittäväksi tekijäksi erityisesti silloin, kun tarkastellaan hankintaketjun jäljitettävyyttä esimerkiksi yrityksen noudattaman sertifikaatin sekä mahdollisten standardien näkökulmasta. Toimijoiden välinen kommunikatio sekä luottamus ovat avainasemassa, kun yritykselle ulkoisen tahon toimesta asetetut vaatimukset tuotteeseen ja sen valmistamiseen liittyvät kriteerit tulevat kyseeseen. On myös huomioitava se, että viimekädessä lopputuotteen hankkivan asiakkaan on voitava luottaa saamansa tuotteen vastaavan annettuja kriteerejä ja altistumalleen markkinoinnille. (Hastig & Sodhi, 2020) Tässä saateetaan kuitenkin epäonnistua siitä syystä, että organisaatiot keskittyvät liiaksi arvioimaan ja optimoimaan vain sisäisiä toimintojaan, sillä monimutkaisten toimintojen verkoston mallintaminen on haastavaa ilman tähän tarkoitukseen spesifisti tarkoitettuja työkaluja ja menetelmiä (Germani, Mandolini, Marconi, Marilungo & Papetti, 2015). Asia on kriittinen, sillä parhaimmillaan jopa maailmanlaajuisiksi ulottuvissa hankintaketjuissa ovat jo raaka-ainetasolla tehdyt ratkaisut kytköksissä lopussa ketjusta ulos saatavaan tuotteeseen. (Marconi ym., 2017) Tästä näkökulmasta asiaa tarkastellessa, on erityisen tärkeää, että tuotannosta ja hankintaketjusta poimittu data pysyy korruptoimattomana ja sen valvottavuus mahdollistetaan, jotta kyetään säilyttämään sekä vahvistamaan organisaation, sen tuotannon sidosryhmien sekä loppuasiakkaan välistä luottamusta. (Hastig & Sodhi, 2020)

Kun tarkastellaan jäljitettävyyden hallintaa siihen sovellettavan teknologian ja järjestelmien näkökulmasta nousee luonnollisesti esiin Hastigin ja Sodhin (2020) määrittelemistä osatekijöistä käytettävän teknologian valmiudet. Laajoja ja monimutkaisia hankintaketjuja hallitessa voi luonnollisesti syntyä valtava määrä dataa ja tietueita, jotka on kyettävä tallentamaan, käsittelemään sekä analysoimaan, jotta kerätystä tiedosta voidaan saada irti kaikki haluttu hyöty ja informaatio (Bechini ym., 2007). Vaikkakin hankintaketjun jäljitettävyydellä pyritään useissa yhteyksissä lisäämään tuotannon läpinäkyvyyttä, on järjestelmän tietoturvan oltava hyvällä tasolla, jotta voidaan sekä taata järjestelmän sisältämien tietojen korruptoimattomuus että varmistaa yrityksen toiminnan kannalta kriittisten tietojen turvaaminen. Toistaiseksi useita jäljitettävyyjärjestelmiä on rakennettu keskitetyn arkkitehtuurin varaan, mikä ei osaltaan tue järjestelmän luotettavuutta, sillä tietoja voidaan näissä järjestelmissä manipuloida helpommin.

(Sunny, ym., 2020) Tianin (2016) mukaan keskitettyyn arkkitehtuuriin pohjautuvat jäljitettävyyjärjestelmät voidaan nähdä monopolistisina, epäsymmetrisinä ja läpinäkymättöminä tietojärjestelminä. Näissä tapauksissa sisältyy myös riski yksittäisten vikapisteiden aiheuttamien ongelmien laajaan vaikutusalaan, sillä ongelma yhden osa-alueen toiminnoissa voi välittömästi keskeyttää koko keskitetyn järjestelmän toiminnot (Tian, 2016), joka yhä edelleen voi asettaa koko järjestelmän alttiiksi toimintavirheille, hakkeroinnille sekä korruptoinnille (Dong ym., 2017). Laajalle levinneissä hankintaketjuissa kohdataan usein ongelmia liittyen niiden hallintaan järjestelmien monimutkaisuuden vuoksi (Busse, Meinlschmidt & Foerstl, 2017). Jäljitettävyyden toteutukseen valitun taustateknologian täytyy siis kyetä tukemaan useita toimintoja sekä kyettävä mukautumaan laajasti kunkin organisaation asettamiin tarpeisiin.

Näistä tekijöistä voidaan päätellä, että jäljitettävyyden kannalta keskeisten asioiden hallinnan mahdollistaminen on kriittistä käytettävän järjestelmän saumattoman toimimisen sekä luotettavuuden turvaamisen vuoksi.

## **4 LOHKOKETJUTEKNOLOGIAN SOVELTUMINEN HANKINTAKETJUN JÄLJITETTÄVYYSMENETELMÄKSI**

Kun tarkastellaan ja arvioidaan lohkoketjuteknologian soveltumista hankintaketjun jäljitettävyyden toteutukseen, on otettava huomioon useita eri osatekijöitä liittyen sen hallintaan ja määriteltyjen vaatimusten vastaavuuteen. Tässä luvussa käsitellään lohkoketjuteknologian vahvuuksia ja heikkouksia suhteessa jo edellä esiteltyihin Hastigin ja Sodhin (2020) määrittelemiin jäljitettävyyden hallinnan onnistumisen kannalta kriittisiin osatekijöihin ja tarkastellaan näiden tekijöiden kautta lohkoketjuteknologian soveltumista hankintaketjun jäljitettävyyssmenetelmäksi.

### **4.1 Lohkoketjuteknologian vahvuudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan**

Lohkoketjuteknologia voidaan nähdä sen hajautettuja toimintoja mahdollistavan toimintatavan vuoksi murroksellisena teknologiana (Crosby, Pattanayak, Verma & Kalyanaraman, 2016). Tarkasteltujen tutkimusten perusteella löytyy lohkoketjuteknologiaa koskevista vahvuuksista useita yhtymäkohtia suhteessa Hastigin ja Sodhin (2020) luomaan viitekehukseen (taulukko 2). Zheng ym. (2017) määrittelemien ominaisuuksien myötä onnistuttiin löytämään useita lohkoketjuteknologiaan liittyviä vahvuuksia, joita täydennetään tässä analyysissä osaltaan Hughes ym. (2019) määrittelemien hyötyarvioiden pohjalta.

TAULUKKO 2 Lohkoketjuteknologian vahvuudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan kannalta kriittisiin tekijöihin

Lohkoketjuteknologian määritely vahvuus	Yrityksen valmiudet	Hankintaketjun sisäinen yhteistyö	Käytettävän teknologian valmiudet	Hankintaketjun käytännöt	Johtajuus	Jäljitettävyyden hallinnointi
Hajauttavuus	(Kouhizadeh ym., 2021; Zheng ym., 2017)		(Atlam ym., 2018)			
Muuttumattomuus			(Hughes ym., 2019; Underwood, 2016)			(Zheng ym., 2017)
Tarkasttavuus		(Zheng ym., 2017)				(Underwood, 2016; Zheng ym., 2017)
Anonymitteetti			(Underwood, 2016; Zheng ym., 2017)			
Automatisointi	(Hughes ym., 2019)		(Hughes ym., 2019)	(Hughes ym., 2019; Mistry ym., 2020)		(Hughes ym., 2019)

Tarkastellessa lohkoketjun potentiaalia teknologian hajautettavuusominaisuuden pohjalta, voidaan havaita, että se tukee osaltaan Hastigin ja Sodhin (2020) määrittämistä osatekijöistä erityisesti käytettävän teknologian valmiuksia sekä yrityksen valmiuksia, sillä hajautettavuudella voidaan muun muassa pienentää vikaantumispisteiden aiheuttamia kokonaisvaikutuksia, pienentää järjestelmän latenssia (Atlam ym., 2018) sekä laskea sen palvelinkustannuksia (Zheng ym., 2017).

Teknologian muuttumattomuutta tarkastellessa, voidaan todeta sen tukevan hankintaketjun jäljitettävyyttä käytettävän teknologian valmiuksien sekä jäljitettävyyden hallinnoinnin näkökulmista. Tietoturvan osalta lohkoketjuihin pohjautuvan järjestelmän muuttumattomuus turvaa sinne tallennettua tietoa korruptiolta (Hughes ym., 2019), sillä lohkoihin tallennetun tiedon on vastattava aina edeltäjänsä sen varmennuksen takaamiseksi (Zheng ym., 2017). Kuten jo aiemmin todettiin, turvaa tämä teknologia tietoa väärennysyrityksiltä, mikä osaltaan tukee järjestelmään kirjattujen tietojen tarkastettavuutta (Zheng ym., 2017)

ja täten myös koko hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnointia (Hastig & Sodhi, 2020), joka voi ilmetä esimerkiksi erilaisten sertifiointien asettamien vaatimusten seuraamisen helpottumisena sekä luottamuksena järjestelmään kirjattuja tietoja kohtaan (Jahn ym., 2005). Tarkastettavuuden myötä kyetään tukemaan hankintaketjun sisäistä yhteistyötä, sillä sen voi parhaimmillaan tukea hankintaketjuun kuuluvien sidosryhmien välistä luottamusta. (Hastig & Sodhi, 2020)

Teknologian tukema anonymiteetti voidaan nähdä vahvuutena käytettävän teknologian valmiutena sen tietoturvaan tukevien ominaisuuksien näkökulmasta. Lohkoketjuteknologian kohdalla anonymiteetti turvaa teknologian käyttäjät yksilöidyllä osoitteella, jolloin käyttäjän henkilöllisyyttä ei paljasteta suoraan muille käyttäjille. (Zheng ym., 2017) Järjestelmän käyttötarkoitus on kuitenkin huomioitava, joten vaikka tietoturvan näkökulmasta anonymiteetin turvaaminen voi olla tärkeää, on hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnassa läpinäkyvyyden tukeminen avainasemassa.

Automatisoinnin osalta yhteys ilmenee yrityksen valmiuksien, käytettävän teknologian valmiuksien sekä hankintaketjun käytäntöjen tukemisessa. Ensinnäkin lohkaketjuteknologian mahdollistamalla automatisaatiolla voidaan korvata erinäisiä manuaalisia toimintoja ja poistaa tarpeettomia välivaiheita, jolloin prosessoinnin nopeus kasvaa ja käytettäviä resursseja vapautuu muuhun käyttöön, jotka parhaimmillaan johtavat kokonaiskustannusten laskemiseen. Virtaviivaisemmilla prosesseilla voidaan tehokkuuden lisäksi tukea hankintaketjun läpinäkyvyyttä, jolloin jälleen jäljitettävyyden hallinnointi saa resursseja taustalleen. (Hughes ym., 2019)

## **4.2 Lohkoketjuteknologian heikkoudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan**

Seuraavaksi tarkastellaan ja analysoidaan lohkaketjuteknologian heikkouksia suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan kannalta kriittisiin tekijöihin (taulukko 3).

TAULUKKO 3 Lohkoketjuteknologian heikkoudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan kannalta kriittisiin tekijöihin

Lohkoketjuteknologian määritely heikkous	Yrityksen valmiudet	Hankintaketjun sisäinen yhteistyö	Käytettävän teknologian valmiudet	Hankintaketjun käytännöt	Johtajuus	Jäljitettävyyden hallinnointi
Skaalautuvuus	(Atlam ym., 2018; Hughes ym., 2019)		(Atlam ym., 2018; Chauhan ym., 2018; Zheng ym., 2018)	(Ølnes, 2016)		
Muuttumattomuus/joustamattomuus	(Ølnes, 2016)		(Ølnes, 2016)	(Hastig & Sodhi, 2020; Hughes ym., 2019)		
Vaadittujen resursien suuri määrä	(Hughes ym., 2019)		(Lin & Liao, 2017; Zheng ym., 2018)			
Anonymiteetti		(Hastig & Sodhi, 2020)	(Hughes ym., 2019) Conoscenti ym., 2016)	(Hughes ym., 2019)		(Hastig & Sodhi, 2020; Kethineni & Cao, 2020)
Hallinnan ja valvonnan haasteet			(Hughes ym., 2019)			(Van Grembergen & De Haes, 2005).

Teknologian skaalautuvuutta sekä muuttumattomuuteen ja joustamattomuuteen liittyviä ominaisuuksia tarkastellessa voidaan huomata ongelmia yhteydessä käytettävän teknologian valmiuksiin sekä hankintaketjun käytäntöihin. Skaalautuvuus aiheuttaa lohkoketjuteknologiassa ongelmia erityisesti PoW-konsensusalgoritmia sovellettaessa, jossa kaikki verkon solmut validioivat transaktion ennen sen lopullista julkaisua lohkoketjussa. (Chauhan ym., 2018) Suuressa mittakaavassa laajoja järjestelmiä toteutettaessa lohkoketjun kautta suoritettavien transaktioiden määrä kasvaa, joka vaatii yhä suuremman määrän resursseja tukemaan verkoston toimintaa. (Chauhan ym., 2018) Suoritettavien transaktioiden määrän lisääntyessä ketjussa läpikäytävien toimintojen määrä nousee, jolloin suoritettavat toiminnot vaativat toimiakseen yhä suuremman määrän tallennustilaa ja transaktioiden tallennusnopeus heikkenee. (Zheng ym., 2018) Näin kokonaisvaltaiset ongelmat aiheuttavat painetta myös yritystä koskevia valmiuksia kohtaan esimerkiksi suurien ylläpitokustannusten muodossa (Hughes ym., 2019).

Muuttumattomuuden puolesta voidaan hankintaketjun käytäntöjen osalta kohdata haasteita prosesseissa, joissa edellytetään muutoksia jo suoritettuihin tapahtumiin, esimerkiksi tiedon täydentämisen puolesta (Hughes ym., 2019). Hajautetun arkkitehtuurinsa puolesta aiheuttaa lohkoketjuteknologia haasteita monimutkaisuudellaan ja joustamattomuudellaan hankintaketjun käytäntöihin esimerkiksi organisaatiolle itselleen yksilöllisten operationaalisten mallien hallinnassa (Hastig & Sodhi, 2020). Lisäksi hajautettu rakenne voi aiheuttaa osaltaan järjestelmän tehottomuutta (Ølnes, 2016).

Jälleen ristiriitaisessa asemassa ilmentyvä anonymiteetti luo myös haasteita hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan osatekijöissä. Kuten edellä mainittu, on täydellinen anonymiteetin takaaminen lohkoketjuteknologiankin toimesta haasteellista (Conoscenti ym., 2016), mutta myös lähtökohtaisesti tarpeetonta. Kun tarkastellaan nimenomaan hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaa, määritellään Hastigin ja Sodhin (2020) toimesta käytettävän teknologian valmiuksien kannalta olennaiseksi teemaksi teknologian toteutettavuus, jolla voidaan osaltaan tukea myös läpinäkyvyyden mahdollistamia toimintoja. Tässä olennaisessa asemassa on kaikki hankintaketjun läpi kulkevaan tuotteeseen sekä toimintoja suorittaviin tahoihin sidoksissa oleva data, jotta läpinäkyvyyden toteuttaminen kyetään mahdollistamaan. (Hastig & Sodhi, 2020) Anonymiteetin voidaan nähdä riitelevän myös jäljitettävyyden hallinnoinnin asettamien tavoitteiden, kuten oikeudellisten puitteiden asettamien olosuhteiden kanssa, sillä tätä toteuttamalla voitaisiin pahimmassa tilanteessa pimittää organisaation näkökulmasta haitallista, mutta läpinäkyvyyden turvaamisen kannalta kriittistä tietoa (Hughes ym., 2019). Tästä voi johtaa siihen, että anonymiteetti saattaa olla riskinä myös hankintaketjun sisäisen yhteistyön näkökulmasta heikentäen hankintaketjun sidosryhmien välistä luottamusta tarpeellisia tietoja salaamalla (Hastig & Sodhi, 2020).

Lohkoketjuteknologian hallinnan ja valvonnan haasteet ilmenevät jäljitettävyyden hallinnointia sekä käytettävän teknologian valmiuksia vaarantavina tekijöinä. Lohkoketjuarkkitehtuurin toimiessa hajautetusti, sen monimutkaisuus ei osaltaan kykene tukemaan teknologian valvottavuutta. Teknologian nuoren iän vuoksi, asettaa teknologian hajautuvuus ja monimutkaisuus merkittäviä rajoituksia standardoidulle valvonnalle ja ohjaukselle. (Hughes ym., 2019)

Kokonaisuudessaan heikkouksia sekä hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnan kannalta kriittisiä tekijöitä tarkastellessa, on mielenkiintoista huomata, että jokainen lohkoketjuteknologian nimetystä haasteesta on kytköksissä käytettävän teknologian valmiuksiin. Tämän voidaan päätellä heijastavan sitä, että määritellyt heikkoudet ovat kriittisiä juuri teknologian toiminnan kannalta.

### **4.3 Lohkoketjuteknologian vahvuudet ja heikkoudet suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden tavoitteisiin**

Tarkastellessa luvussa 3.3 mainittuja Hastigin ja Sodhin (2020) sekä GS1 Global Traceability Standard i2 -standardin (2017) nimeämiä hankintaketjun

jäljitettävyydellä tavoiteltavia ilmiöitä, voidaan edeltävän tarkastelun myötä tunnistaa joukosta ne tavoitteet, joiden saavuttamisessa lohkoketjuteknologia voi toimia edesauttavana tekijänä ja päinvastoin.

Lohkoketjua sovellettaessa hankintaketjun jäljitettävyyteen voidaan nähdä mahdollisuus hankintaketjun koordinoinnin tehostamiseen sekä suorituskyvyn parantamiseen (Hastig & Sodhi, 2020). Näitä edesauttavia lohkoketjuteknologiaan liitettäviä vahvuuksia ovat automatisointi sekä hajautettavuus (taulukko 2), etenkin niiden edellä esiteltyjen toiminnallisten vahvuuksien vuoksi. Lohkoketjuteknologia voi myös uhata näiden toteutumista (taulukko 3) siihen liittyvien skaalautuvuus- ja muuttumattomuusongelmien vuoksi.

Laittoman toiminnan hillitsemisen (Hastig & Sodhi, 2020) osalta ilmeni kiinnostavia tuloksia. Useat lohkoketjuteknologiaan liittyvät vahvuudet tukevat jäljitettävyyden hallinnoinnin asettamia vaatimuksia (taulukko 2), mutta kirjallisuuskatsaus osoitti myös siihen liittyviä uhkia. Tuloksista voidaan tulkita lohkoketjun tukevan järjestelmään kirjattavien tietojen tarkastettavuutta (Zheng ym., 2017). Vaikka lohkoketjuihin liitoksissa olevalla anonymiteetti voi tarjota käyttäjälleen mahdollisuuksia (Zheng ym., 2017), voi se osaltaan haastaa tietojärjestelmän läpinäkyvyyttä. Alun perin kryptovaluuttoja varten kehitetty lohkoketjuteknologia ja sen anonymiteettia tukevat toiminnot ovat osaltaan kiihdyttäneet ja mahdollistaneet rikollista toimintaa (Kethineni & Cao, 2020), mikä nostaa esiin pohdinnan siitä, voiko samat ominaisuudet luoda uhkia laittomalle toiminnalle myös hankintaketjujen kontekstissa.

Standardivaatimuksiin vastaamisen helpottamisen (GS1, 2017) näkökulmasta voidaan lohkoketjuteknologialla tukea tavoitetta erityisesti muuttumattomuuden, tarkastettavuuden ja automatisoinnin ansiosta, sillä näistä kukin osalualue tukee myös hankintaketjun läpinäkyvyyden aspektia (Hastig & Sodhi, 2020). Nimensä mukaisesti tähän liittyen uhkana ovat hallinnan ja valvonnan haasteet, jotka syntyvät yleisen valvonnan rajallisuudesta aiheutuen teknologian monimutkaisen rakenteen sekä tuoreuden vuoksi (Hughes ym., 2019).

Kokonaisuudessaan lohkoketjuteknologian voidaan nähdä asettavan sekä vahvuuksia että haasteita liittyen hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan. Teknologiana vielä hyvin nuoren sekä suuren kehityspotentiaalin omaava lohkoketjuteknologia voidaan potentiaalisesti nähdä tulevaisuudessa tarjoavan lisää ratkaisuja jäljitettävyyden hallinnan haasteisiin.



## 5 YHTEENVETO

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää, kuinka lohkoketjuteknologia soveltuu hyödynnettäväksi hankintaketjun jäljitettävyyden hallinnassa. Tutkielman teossa lähdettiin liikkeelle vaadittujen käsitteiden määrittelyllä aloitetaan lohkoketjuteknologiasta sekä siihen liittyvien vahvuuksien ja heikkouksien määrittelystä. Seuraavaksi siirryttiin käsittelemään hankintaketjua sekä sen jäljitettävyyden käsitteitä, jonka jälkeen siirryttiin analysoimaan hankintaketjun jäljitettävyyden kannalta keskeisimpiä tekijöitä. Lopuksi tarkasteltiin aiemmin määriteltyjä lohkoketjuteknologian vahvuuksia ja heikkouksia suhteessa hankintaketjun jäljitettävyyden kannalta keskeisiin tekijöihin sekä pyrittiin antamaan vastaus asetettuun tutkimuskysymykseen lähdekirjallisuuden sekä aiheesta tehdyn analyysin perusteella. Tutkielmalle asetettu tutkimuskysymys oli: miten lohkoketjuteknologia soveltuu tuotantoketjun jäljitettävyyden hallintaan?

Tutkielman taustalla tehdyn kirjallisuuskatsauksen ja analysoidun lähdemateriaalin perusteella voidaan todeta lohkoketjuteknologian soveltuvan hankintaketjun jäljitettävyyden hallintaan. Tuloksia tarkastellessa ilmenee, että jäljitettävyyden hallintaa suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon lohkoketjuteknologiaan liittyvät rajoitteet sekä organisaatiota koskevat sovellustarpeet. Hankintaketjun jäljitettävyydellä voidaan tähdätä useisiin eri tavoitetiloihin, kuten esimerkiksi suorituskyvyn parantamiseen, laittoman toiminnan hillitsemiseen (Hastig & Sodhi, 2020) sekä standardivaatimukseen vastaamisen helpottamiseen (GS1, 2017), jotka kukin määrittävät tarpeet, joihin implementoitavalla jäljitettävyydsjärjestelmällä pyritään vastaamaan.

Kullakin jäljitettävyydsjärjestelmällä on omat yksilölliset tarpeet sekä tavoitetilat, jotka on huomioitava sen toteutukseen sopivaa teknologiaa valittaessa. Asetettujen tavoitteiden rinnalla on viisi jäljitettävyyden implementoinnin ja hallinnan onnistumisen kannalta kriittistä osatekijää (Hastig & Sodhi, 2020): yrityksen valmiudet, hankintaketjun sisäinen yhteistyö, käytettävän teknologian valmiudet, hankintaketjun käytännöt, johtajuus sekä jäljitettävyyden hallinnointi. Näitä osatekijöitä käytettiin apuna lohkoketjuteknologian soveltuvuuden arvioinnissa.

Lohkoketjuteknologian vahvuuksia tarkastellessa voidaan niiden huomata tukevan laajasti jäljitettävyyden hallinnoinnin asettamia vaatimuksia. Erityisesti lohkaketjuteknologian voitiin tutkimuslähteiden perusteella todeta tukevan jäljitettävyyden automatisoinnin edellyttämiä toimintoja (Hughes, 2019; Mistry, 2020). Kaikkien lohkaketjuteknologian heikkouksien havaittiin olevan kytköksissä käytettävän teknologian valmiuksiin liittyviin piirteisiin, joilla tarkoitetaan muun muassa teknologian kypsyyttä, tietoturvaa sekä teknologian toteutettavuutta (Hastig & Sodhi, 2020). Tämän voidaan todeta olevan kriittistä teknologiaan perustuvan järjestelmän käytön kannalta.

Lohkoketjuteknologian vahvuuksia ja heikkouksia tarkastellessa voitiin havaita niiden välisten eroavaisuuksien lisäksi päällekkäisyyksiä teknologian mahdollistamissa ominaisuuksissa ja niiden hallinnassa. Erityisesti anonymiteetilla ja muuttumattomuudella todettiin olevan jäljitettävyyden näkökulmasta sekä hyödyllisiä että haitallisia ominaisuuksia jäljitettävyyden hallinnan näkökulmasta. Tuloksia jäljitettävyyden näkökulmasta tarkastellessa huomion kiinnitti se, ettei yksikään lohkaketjuteknologiaan liitetystä vahvuudesta tai heikkouksista liittynyt suoraan analyysin pohjalta hankintaketjun johtajuuteen liittyviin tekijöihin. Mielenkiintoista kuitenkin oli, että kyseinen osatekijä nimettiin Hastigin ja Sodhin (2020) toimesta oleelliseksi tekijäksi jäljitettävyyden hallinnan näkökulmasta. Tämän voi mahdollisesti johtua esimerkiksi liian suppeaksi rajatusta lähdemateriaalista.

Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisen näkökulmasta tutkielmassa haasteellista oli aiheen kannalta relevantin sekä luotettavan lähdemateriaalin löytäminen. Iältään lohkaketjuteknologia on vielä suhteellisen nuori teknologinen ratkaisu, joten tieteellistä tutkimusta on toteutettu siitä toistaiseksi hyvin spesifeillä rajauksilla ja pienissä määrin. Tämä aiheuttaa oman rajoitteensa myös tulosten luotettavuudelle ja yleistettävyydelle, joten tutkielman edetessä tuli erityisen tarkasti arvioida jo olemassa olevan lähdemateriaalin yleistettävyyttä ja sitä kuinka hyvin spesifillä rajauksella tehty tutkimus voi tarjota lähdeaineistoa yleisellä tasolla tämän tutkielman tarkastelemaa tutkimuskysymystä.

Erityisesti kirjallisuuskatsauksen edetessä heräsi mielenkiinto siitä, millä tavoin lohkaketjuteknologiaan liittyvät eri osa-alueiden haasteet ilmenevät konkreettisesti käytännössä. Useissa tutkimuksissa mainittiin myös teknologian implementointiin liittyvät haasteet, joten tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista syventyä vielä tarkemmin lohkaketjuteknologiaan perustuvan jäljitettävyydennäkökulman käyttöönottoprosessin haasteisiin.

## LÄHTEET

- Atlam, H. F., Alenezi, A., Alassafi, M. O. & Wills, G. B. (2018). Blockchain with Internet of Things: Benefits, Challenges, and Future Directions. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 10(6), 40–48.
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281–294.
- Bechini, A., Cimino, M. G. C. A., Marcelloni, F. & Tomasi, A. (2008). Patterns and technologies for enabling supply chain traceability through collaborative e-business. *Information and Software Technology*, 50(4), 342–359.
- Buerke, A., Straatmann, T., Lin-Hi, N. & Müller, K. (2017). Consumer awareness and sustainability-focused value orientation as motivating factors of responsible consumer behavior. *Review of Managerial Science*, 11(4), 959–991.
- Busse, C., Meinschmidt, J. & Foerstl, K. (2017). Managing Information Processing Needs in Global Supply Chains: A Prerequisite to Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Supply Chain Management*, 53(1), 87–113.
- Chauhan, A., Malviya, O. P., Verma, M. & Mor, T. S. (2018). Blockchain and Scalability. *2018 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)*, 122–128.
- Conoscenti, M., Vetrò, A. & De Martin, J. C. (2016). Blockchain for the Internet of Things: A systematic literature review. *2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 1–6.

- Cox, A. (1999). Power, value and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 4(4), 167–175.
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S. & Kalyanaraman, V. (2016). *BlockChain Technology: Beyond Bitcoin*. 2.
- Dong, F., Zhou, P., Liu, Z., Shen, D., Xu, Z. & Luo, J. (2017). Towards a fast and secure design for enterprise-oriented cloud storage systems. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(19), e4177.
- Drescher, D. (2017). *Blockchain basics: A non-technical introduction in 25 steps* (1. p.).
- Fairtrade. (2011). Fairtrade Standard for Contract Production v1.4.
- Forest Stewardship Council. (2015). *FSC International Standard. FSC-STD-01-001 V5-2*.  
<https://connect.fsc.org/documentcentre/documents/resource/392>
- Garcia-Torres, S., Albareda, L., Rey-Garcia, M. & Seuring, S. (2019). Traceability for sustainability - literature review and conceptual framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 85–106.
- Germani, M., Mandolini, M., Marconi, M., Marilungo, E. & Papetti, A. (2015). A System to Increase the Sustainability and Traceability of Supply Chains | Elsevier Enhanced Reader. *Procedia CRIP*, 2015(29), 227–232.
- Global Organic Textile Standard. (2020). Global Organic Textile Standard (GOTS) 6.0.
- GS1 (2017). *Global Traceability Standard i2*, 2.0.
- Hastig, G. M. & Sodhi, M. S. (2020). Blockchain for Supply Chain Traceability: Business Requirements and Critical Success Factors. *Production and Operations Management*, 29(4), 935–954.

- Hughes, L., Yogesh, K. D., Santosh, K. M., Nripendra, P. R., Vishnupriya, R. & Viswanadh, A. (2019). *Blockchain research, practice and policy: Applications, benefits, limitations, emerging research themes and research agenda* | Elsevier Enhanced Reader.
- ISO. (2000). *ISO 9001:2000*. ISO. <https://www.iso.org/standard/21823.html>
- Jahn, G., Schramm, M. & Spiller, A. (2005). The Reliability of Certification: Quality Labels as a Consumer Policy Tool. *Journal of Consumer Policy*, 28(1), 53–73.
- Jansen-Vullers, M. H., van Dorp, C. A. & Beulens, A. J. M. (2003). Managing traceability information in manufacture. *International Journal of Information Management*, 23(5), 395–413.
- Kethineni, S. & Cao, Y. (2020). The Rise in Popularity of Cryptocurrency and Associated Criminal Activity. *International Criminal Justice Review*, 30(3), 325–344.
- Kouhizadeh, M., Saberi, S. & Sarkis. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *Elsevier Enhanced Reader*.
- Lin, I.-C. & Liao, T.-C. (2017). A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges. *International Journal of Network Security*, 19(5).
- Marconi, M., Marilungo, E., Papetti, A. & Germani, M. (2017). Traceability as a means to investigate supply chain sustainability: the real case of a leather shoe supply chain. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6638–6652.

- Mistry, I., Tanwar, S., Tyagi, S. & Kumar, N. (2020). Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 135(1).
- Parris, D. L., Dapko, J. L., Arnold, R. W. & Arnold, D. (2016). Exploring transparency: a new framework for responsible business management. *Management Decision*, 54(1), 222–247.
- Pittman, P. H. & Atwater, J. B. (2022). *ASCM Supply Chain Dictionary, 17th Edition*.
- Rutland, E. (2017). *What is the distinction between a blockchain and a distributed ledger?*
- Schiffman, L., O’Cass, A., Paladino, A. & Carlson, J. (2013). *Consumer Behaviour*. Pearson Higher Education AU.
- Sunny, J., Undralla, N. & Madhusudanan Pillai, V. (2020). Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106895.
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management*, 1–6.
- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *2017 International Conference on Service Systems and Service Management*, 1–6.
- Underwood, S. (2016). Blockchain Beyond Bitcoin. *Communications of the ACM*, 59(11), 15–17.

- Van Grembergen, W. & De Haes, S. (2005). Measuring and Improving Information Technology Governance through the Balanced Scorecard. *Information Systems Control Journal*, 2.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. & Wang, H. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. 2017 *IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, 557–564.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X. & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352.
- Ølnes, S. (2016). Beyond Bitcoin Enabling Smart Government Using Blockchain Technology. Teoksessa H. J. Scholl, O. Glassey, M. Janssen, B. Klievink, I. Lindgren, P. Parycek, E. Tambouris, M. A. Wimmer, T. Janowski & D. Sá Soares (toim.), *Electronic Government* (s. 253–264). Springer International Publishing.