



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi

Toimitusketjujen johtamisen
pro gradu -tutkielma

Laatija:
Markus Brander

Ohjaaja(t):
Sini Laari

30.5.2025
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä: Markus Brander

Otsikko: Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi

Ohjaaja: Sini Laari

Sivumäärä: 88 sivua + liitteet 2 sivua

Päivämäärä: 30.5.2025

Tutkimuksessa tarkastellaan lohkaketjuteknologian potentiaalia toimitusketjujen hallinnassa vastuullisuuden näkökulmasta. Lohkoketjuteknologian keskeisimmät toimintaperiaatteet ja ominaisuudet sekä niiden yhteys vastuullisuuden kolmeen osa-alueeseen – ympäristölliseen, sosiaaliseen ja taloudelliseen – toimivat tutkimuksen teoreettisena viitekehyksenä. Aiemman kirjallisuuden valossa lohkaketjuteknologiaa pidetään potentiaalisena teknologiana, jota hyödyntämällä voidaan tukea vastuullisuustavoitteiden saavuttamista lisäämällä muun muassa toimitusketjujen läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä ja tehokkuutta.

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää, miten lohkaketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan edistää toimitusketjun ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista vastuullisuutta. Tutkimus on kvalitatiivinen, ja tutkimusmetodina käytettiin puolistrukturoituja asiantuntijahaastatteluita. Haastateltaviksi valikoitui lohkaketjuammattilaisia eri toimialoilta ja eri vastuualueilta, mikä mahdollisti monipuolisen näkökulman saamisen tutkimuksen tavoitteiden kannalta.

Keskeiset tulokset osoittavat, että lohkaketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan merkittävästi tukea vastuullisuuden eri osa-alueita. Ympäristönäkökulmasta lohkaketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan edistää resurssien käytön optimointia ja päästöjen vähentämistä. Sosiaalisen vastuullisuuden osalta lohkaketjuteknologian hyödyntäminen lisää toimitusketjujen läpinäkyvyyttä ja voi parantaa muun muassa työolosuhteiden valvontaa sekä vastuullisuusraportoinnin luotettavuutta. Taloudellisesta näkökulmasta lohkaketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan vähentää kustannuksia esimerkiksi älysopimusten tarjoaman automaation avulla sekä edistämällä prosessien luotettavuutta.

Tulokset vahvistavat lohkaketjuteknologian potentiaalia vastuullisuuden edistäjänä toimitusketjuissa ja tarjoavat käytännön hyödyntämismahdollisuuksia yrityksille, jotka harkitsevat teknologian käyttöä toimitusketjujen hallinnassa. Tulokset tarjoavat arvokasta tietoa jatkotutkimuksen ja käytännön sovellusten tueksi.

Avainsanat: Lohkoketju, lohkaketjuteknologia, älysopimus, noodi, läpinäkyvyys, jäljitettävyys, muuttumattomuus, hajautus, vastuullisuus

SISÄLLYS

1	Johdanto	7
1.1	Toimitusketjut & lohkoketjuteknologia	8
1.2	Tutkimusalue ja tavoitteet	9
1.3	Tutkimusaukko ja -kysymykset	10
1.4	Tutkimuksen teoriatausta	12
2	Lohkoketjuteknologia	14
2.1	Taustaa ja kehitys	15
2.2	Lohkoketjuteknologian toimintaperiaatteet ja ominaisuudet	16
3	Lohkoketjuteknologia toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä	25
3.1	Lohkoketjuteknologia & toimitusketjun ympäristöllinen vastuullisuus	28
3.2	Lohkoketjuteknologia & toimitusketjun sosiaalinen vastuullisuus	36
3.3	Lohkoketjuteknologia & toimitusketjun taloudellinen vastuullisuus	40
3.4	Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä	44
3.4.1	Jäljitettävyys	44
3.4.2	Läpinäkyvyys	45
3.4.3	Muuttumattomuus	46
3.4.4	Hajautettu hallinta	46
3.4.5	Älysopimukset	48
3.5	Lohkoketjuteknologian käyttöönotto toimitusketjuissa	49
3.6	Teoreettinen viitekehys	50
4	Menetelmät	54
4.1	Tutkimusmenetelmät	54
4.2	Aineistonkeruu	55
4.3	Aineiston luokittelu ja analyysi	57
4.4	Tulosten esittäminen	57
4.5	Tutkimuksen validiteetti ja luotettavuus	58
4.5.1	Kirjallisuuden lähteiden valinta	58
4.5.2	Tutkimuksen toistettavuus	58
5	Tulokset	60
5.1	Lohkoketjuteknologia toimitusketjun ympäristöllisen vastuullisuuden edistämässä	60
5.2	Lohkoketjuteknologia toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden edistämässä	62
5.3	Lohkoketjuteknologia toimitusketjun taloudellisen vastuullisuuden edistämässä	65
5.4	Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä	70
5.4.1	Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys	70
5.4.2	Muuttumattomuus	71
5.4.3	Hajautettu hallinta	72

5.4.4	Älysopimukset	74
6	Johtopäätökset ja keskustelu	77
6.1	Ympäristöllinen vastuullisuus	77
6.2	Sosiaalinen vastuullisuus	78
6.3	Taloudellinen vastuullisuus	79
6.4	Yhteenveto, tieteelliset kontribuutiot ja jatkotutkimus	79
	Lähteet	81
	Liitteet	89
	Liite 1. Haastattelurunko	89

KUVIOT

Kuvio 1: Tieteelliset julkaisut, joissa mainitaan blockchain, 2014–2024 (Scopus, 6.4.2025)	16
Kuvio 2: Kuvaus lohkoketjun arkkitehtuurista (Zheng ym. 2017)	17
Kuvio 3. Lohkoketjun toimintaperiaate (mukaillen Saberi ym. 2018).	20
Kuvio 4: Toimitusketjujen vastuullisuutta käsittelevä tutkimus (Scopus, 2025).	26
Kuvio 5: Kiertotalouden viitekehys (Ellen MacArthur Foundation, 2015).	34
Kuvio 6: Teoreettinen viitekehys	52

TAULUKOT

Taulukko 1: Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä	51
Taulukko 2: Lohkoketjuteknologian mahdollistamat vastuullisuusvaikutukset	69
Taulukko 3: Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä	76

1 Johdanto

Kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa globaalit toimitusketjut ovat ratkaisevassa asemassa, sillä yli 80 % maailman kaupasta kulkee monikansallisten yritysten toimitusketjujen kautta (Thorlakson ym. 2018). Tutkimusten mukaan globaalit toimitusketjut voivat vastata jopa yli puolesta maailmanlaajuisista päästöistä. Davisin ym. (2011) mukaan noin 60 % maailmanlaajuisista hiilidioksidipäästöistä liittyy suoraan tai epäsuorasti kansainväliseen kaupankäyntiin ja toimitusketjuihin. McKinsey & Company arvioi, että kuluttajatuoteyritysten toimitusketjujen scope 3-päästöt aiheuttavat yli 80 % niiden kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä (McKinsey, 2021). Accenture on arvioinut, että toimitusketjut tuottavat noin 60 % kaikista maailmanlaajuisista hiilidioksidipäästöistä, mikä tekee niistä kriittisen alueen ilmastonmuutoksen torjunnassa (Accenture, 2023). Nämä luvut osoittavat, että toimitusketjujen vastuullisuuden edistämisen tulee olla keskeisessä roolissa pyrkimyksissä vähentää ihmisen aiheuttamaa kuormaa ilmastolle.

Ympäristövastuullisuuden lisäksi myös toimitusketjujen sosiaalisen vastuullisuuden haasteet ovat kasvaneet globalisaation myötä (Amaeshi ym. 2006). Toimitusketjun sosiaalisella vastuullisuudella tarkoitetaan yritysten sitoutumista varmistamaan, että niiden toimitusketjuissa noudatetaan muun muassa eettisiä työolosuhteita, kunnioitetaan ihmisoikeuksia ja edistetään työntekijöiden hyvinvointia (Klassen & Vereecke, 2012). Tämä sisältää muun muassa turvallisten työolosuhteiden tarjoamisen, oikeudenmukaisen palkkauksen sekä syrjinnän ja pakkotyön ehkäisemisen (Gualandris ym. 2021). Sosiaalisen vastuullisuuden merkitys korostuu globalisoituneessa taloudessa, jossa toimitusketjut ulottuvat usein maihin, joissa työolosuhteet ja lainsäädäntö voivat vaihdella merkittävästi (Soundararajan & Brown, 2016). Yritykset, jotka laiminlyövät sosiaalista vastuullisuutta, voivat kohdata mainehaittoja ja taloudellisia menetyksiä, kun taas vastuullisesti toimivat yritykset voivat parantaa mainettaan ja kilpailukykyään (Zorzini ym. 2015).

Toimitusketjujen vastuullisuuden parantaminen on olennainen tekijä myös YK:n ilmastotavoitteiden saavuttamisessa (UNFCC, 2018). Lisäksi Euroopan unionin vastuullisuusdirektiivit, erityisesti yritysten kestävyysraportointia koskeva direktiivi (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD), vaikuttavat merkittävästi yritysten toimitusketjujen vastuullisuuskäytäntöihin. CSRD, joka astui voimaan 5.

tammikuuta 2023, laajentaa ja vahvistaa yritysten velvoitteita raportoida sosiaalisista ja ympäristöön liittyvistä riskeistä sekä niiden toiminnan vaikutuksista ihmisiin ja ympäristöön. Direktiivi koskee kaikkia suuria yrityksiä ja listattuja pk-yrityksiä, mukaan lukien EU:n ulkopuoliset yritykset, jotka tuottavat yli 150 miljoonan euron liikevaihdon EU-markkinoilla (EU Corporate Sustainability Reporting Directive).

1.1 Toimitusketjut & lohkoketjuteknologia

Globalisoituneilla markkinoilla toimitusketjujen monimutkaisuus ja niiden hallinnan haasteet kasvavat jatkuvasti (Sarpong, 2014). Kuluttajien, lainsäätäjien ja muiden sidosryhmien kasvava tietoisuus ja vaatimukset ympäristöllisestä, sosiaalisesta ja taloudellisesta vastuullisuudesta ovat lisänneet yrityksille paineita kehittää toimitusketjunsä läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä ja vastuullisuutta (Bai & Sarkis, 2020). Tämän kehityksen myötä teknologiset innovaatiot, kuten lohkoketjuteknologia, ovat nousseet esiin potentiaalisina ratkaisuinä tarjoamalla keinoja vastata näihin haasteisiin parantamalla toimitusketjun läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä, turvallisuutta ja tehokkuutta. (Saberī ym. 2018.) Käyttämällä hajautettua tietokantateknologiaa, lohkoketjualusta tarjoaa digitaalisen järjestelmän ja tietokannan, johon voidaan kirjata kaikki toimitusketjun tapahtumat. Tämä hajautettu tietokanta luo toimitusketjuun läpinäkyvyyttä, luotettavuutta, jäljitettävyyttä ja tehokkuutta. (Park & Li, 2021.)

Tänä päivänä Bitcoin, maailman ensimmäinen ja markkina-arvoltaan suurin kryptovaluutta, on tunnetuin lohkoketjuteknologiaa hyödyntävä alusta. Lohkoketjuteknologia itsessään on kuitenkin erillinen Bitcoinista, ja sitä voidaan mukauttaa erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yksi lohkoketjun keskeisistä ominaisuuksista on sen kyky poistaa välittäjien ja kolmansien osapuolten tarve. Näin ollen lohkoketjuteknologian soveltaminen sopii teoriassa mihin tahansa tilanteeseen, jossa osallisina on enemmän kuin kaksi osapuolta – kuten toimitusketjuissa. Suurin osa nykyisistä toimitusketjun hallintajärjestelmistä on riippuvaisia kolmansista osapuolista, kuten pankeista tai rahoituslaitoksista tiettyjen prosessien, kuten transaktioiden suorittamiseksi lisäten kustannuksia ja hidastaen prosessien nopeutta. (Korpela, Hallikas & Dahlberg, 2017.) Lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan eliminoida tarve välittäjille ja kolmansille osapuolille, mikä parantaa toimitusketjun tehokkuutta, läpinäkyvyyttä ja turvallisuutta.

Lohkoketjuteknologian nopea kehitys ja sen potentiaaliset hyödyntämismahdollisuudet ovat herättäneet paljon akateemista kiinnostusta. Yritysten pyrkiessä vastaamaan kasvaviin vaatimuksiin vastuullisista toimintatavoista, lohkaketjuteknologian tarjoamat mahdollisuudet tehokkaaseen, turvalliseen ja läpinäkyvään toimitusketjuun tarjoavat potentiaalisen ratkaisun näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. (Deloitte, 2022.) Huolimatta lohkaketjuteknologian merkittävästä potentiaalista toimitusketjujen hallinnassa, laajamittainen teknologian käyttöönotto toimitusketjuissa on vielä alkuvaiheessa (Ahluwalia ym. 2020).

Toimitusketjujen vastuullisuuden edistäminen edellyttää kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa huomioidaan ympäristölliset, sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset. Lohkoketjuteknologian tarjoamat ratkaisut voivat auttaa luomaan kestävämpiä ja vastuullisempia toimitusketjuja, mutta teknologian käyttöönottoon liittyy edelleen haasteita, kuten lainsäädännölliset rajoitteet ja yritysten valmius investoida uuteen teknologiaan (Saber ym. 2019). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan, miten lohkaketjuteknologiaa voidaan hyödyntää kaikkien näiden vastuullisuuden osa-alueiden edistämässä sekä mitkä lohkaketjuteknologian ominaisuudet ovat keskeisimpiä tavoitteiden saavuttamisessa.

1.2 Tutkimusalue ja tavoitteet

Tutkimuksessa keskitytään lohkaketjuteknologian rooliin toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä. Aihe on erittäin ajankohtainen ja merkittävä nykypäivän globaalissa liiketoimintaympäristössä, jossa eri sidosryhmät edellyttävät yrityksiltä yhä enemmän vastuullisia toimintatapoja (Nguyen & Ali, 2023). Tutkimusalue kattaa lohkaketjuteknologian nykyisiä ja potentiaalisia vaikutuksia vastuullisuuden kolmeen peruspilariin – ympäristölliseen, sosiaaliseen ja taloudelliseen, toimitusketjun kaikissa vaiheissa. Tutkimuksessa kiinnitetään erityistä huomiota siihen, miten lohkaketjuteknologiaa hyödyntämällä yritykset voivat edistää edellä mainittuja vastuullisuuden osa-alueita hyödyntämällä lohkaketjuteknologian toimintaperiaatteita ja ominaisuuksia. Tutkimusalueen valinta heijastaa nykyisen, globalisoituneen toimintaympäristön ja monimutkaistuneiden toimitusketjujen tarvetta innovatiivisille ratkaisuille, jotka vastaavat nykypäivän kestävä kehityksen haasteisiin.

Tavoitteena on syventää ymmärrystä lohkaketjuteknologian mahdollisuuksista toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä yhdistämällä aiempaa tutkimusta ja

empiiristä aineistoa asiantuntijahaastatteluista. Näin voidaan muodostaa kattavampi kuva siitä, miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää vastuullisuuden eri osa-alueiden kehittämisessä ja mitkä mekanismit ovat keskeisimpiä näiden tavoitteiden saavuttamisessa.

Lohkoketjuteknologian keskeisimmät toimintaperiaatteet ja ominaisuudet esitellään siinä laajuudessa, mikä on vaadittavaa lohkoketjun tarjoamien vastuullisuusvaikutusten ja -mekanismien ymmärtämiseksi. Lohkoketjuteknologian kaikkein teknisimmät yksityiskohdat jätetään vähemmälle tarkastelulle. Tutkimuksessa pyritään syventämään ymmärrystä lohkoketjuteknologian käyttöönoton vaikutuksista toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi ja esittelemään konkreettisia keinoja, joiden avulla organisaatiot voivat lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä edistää toimitusketjunsä ympäristöllistä, taloudellista ja sosiaalista vastuullisuutta. Tutkimusalue sisältää lohkoketjuteknologian potentiaalin arvioinnin muun muassa läpinäkyvyyden, jäljitettävyyden, luotettavuuden, tehokkuuden ja turvallisuuden edistämiseksi toimitusketjuissa. Tavoitteena on valaista lohkoketjuteknologian potentiaalia toimitusketjun vastuullisuuden kontekstissa sekä tarjota uusia näkökulmia organisaatioille, jotka pyrkivät kehittämään toimitusketjujaan vastuullisempaan suuntaan.

1.3 Tutkimusaukko ja -kysymykset

Toimitusketjujen vastuullisuutta käsittelevää kirjallisuutta on saatavilla laajasti aiheen ajankohtaisuuden sekä merkityksellisyyden vuoksi. Toimitusketjujen aiheuttamat päästöt ovat muodostuneet yhdeksi vakavien ympäristöongelmien, kuten ilmaston lämpenemisen, pääasiallisista lähteistä (Kumar & Chandrakar, 2012), minkä vuoksi aiheesta on myös tutkittu laajasti. Perinteisiä vastuullisuutta parantavia keinoja, kuten sertifiointeja ja auditointeja on hyödynnetty pitkään, mutta myös teknologian rooli on noussut entistä merkittävämmäksi. Uudet teknologiset ratkaisut, kuten lohkoketjuteknologia, ovat herättäneet kiinnostusta niiden potentiaalin vuoksi parantaa muun muassa läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä toimitusketjuissa. (Saber ym. 2018.) Tämä kehitys on johtanut tarpeeseen tarkastella, miten lohkoketjuteknologia voi täydentää ja vahvistaa perinteisiä vastuullisuuskäytäntöjä toimitusketjuissa.

Lohkoketjuteknologian soveltaminen toimitusketjujen vastuullisuuden edistämiseen on vielä suhteellisen uusi tutkimusalue, ja aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa

yksittäisiin mekanismeihin, kuten läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden parantamiseen (Saberri ym. 2018; Bai & Sarkis, 2020). Vaikka nämä tutkimukset ovat tarjonneet arvokkaita näkökulmia lohkoketjuteknologian hyödyntämisestä toimitusketjujen vastuullisuuden parantamisessa, tutkimuskentässä on edelleen puutteita kokonaisvaltaisten vaikutusten ymmärtämisessä. Erityisesti tarvitaan lisää tutkimusta siitä, miten lohkoketjuteknologian eri toimintaperiaatteet ja ominaisuudet – kuten läpinäkyvyys, jäljitettävyys, hajautus, muuttumattomuus ja älysovimukset – voivat yhdessä edistää vastuullisuutta kaikilla kolmella ulottuvuudella: ympäristöllisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti.

Tutkimusaukko luo tarpeen tarkastella lohkoketjuteknologian soveltamista toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen näkökulmasta kokonaisvaltaisesti. Tutkimusaukosta on johdettu seuraavat tutkimuskysymykset, joihin tutkimuksessa pyritään vastaamaan:

- 1. Miten lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan edistää toimitusketjun vastuullisuutta?*
- 2. Mitkä lohkoketjuteknologian ominaisuudet ja toimintaperiaatteet ovat keskeisimpiä toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen kannalta?*

Erityisesti tutkimuksessa painotetaan lohkoketjuteknologialle ominaisia toimintaperiaatteita sekä mekanismeja, joiden avulla voidaan edistää toimitusketjun ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista vastuullisuutta. Yksi tutkimuksen merkittävimmistä kontribuutioista on vastuullisuuden, toimitusketjujen hallinnan ja lohkoketjuteknologian tutkimusalueiden yhdistäminen kattavaksi kokonaisuudeksi aiheiden kohtaamispisteiden nykyisten ja potentiaalisten vastuullisuusvaikutusten arvioimiseksi.

Lisäksi tutkimuksessa pyritään tunnistamaan ja esittelemään konkreettisia käytännön sovelluksia, joissa lohkoketjuteknologialla on jo saavutettu positiivisia vaikutuksia toimitusketjujen vastuullisuuteen, sekä arvioimaan sen potentiaalia tulevaisuuden kehityksessä. Tämä antaa arvokasta tietoa yrityksille, päätöksentekijöille ja tutkijoille, jotka etsivät tehokkaita tapoja parantaa toimitusketjujen vastuullisuutta ja hallintaa.

Tutkimuksen odotetaan tuovan uusia näkökulmia siihen, miten lohkoketjuteknologian ominaisuuksia voidaan hyödyntää pyrkimyksissä edistää toimitusketjujen vastuullisuutta.

Tulokset voivat toimia pohjana tuleville tutkimuksille sekä ohjeistuksena yrityksille, jotka harkitsevat lohkoketjuteknologian käyttöönottoa vastuullisuustavoitteidensa tukemiseksi.

1.4 Tutkimuksen teoriatausta

Teoriaosuuden tavoitteena on tarjota perusteellinen yleiskatsaus olemassa olevaan tutkimukseen ja kirjallisuuteen lohkoketjuteknologian, toimitusketjujen vastuullisuuden sekä näiden kahden tutkimusalueen yhtymäkohtien osalta. Lohkoketjuteknologia ja toimitusketjut sekä niiden vastuullisuus ovat toisistaan hyvin erilaisia tutkimusalueita, minkä vuoksi lohkoketjuteknologiaa käsittelevää kirjallisuutta tarkastellaan ensin ilman toimitusketjunäkökulman huomioimista teknologian keskeisten ominaisuuksien ja toimintaperiaatteiden ymmärtämiseksi.

Tutkimuksen teoreettinen osuus on jaettu kahteen lukuun: 1. *lohkoketjuteknologia*, 2. *lohkoketjuteknologia toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä*. Näiden lukujen tavoitteena on luoda vankka teoreettinen perusta aiheen tutkimuskentästä, tarjota analyysiä vallitsevista näkemyksistä ja lähestymistavoista sekä tunnistaa tutkimusaukkoja ja -mahdollisuuksia.

Ensimmäisessä luvussa käsitellään lohkoketjuteknologiaa ja tutustutaan aihetta käsittelevään tieteelliseen kirjallisuuteen. Luvussa pyritään luomaan syvälinen ymmärrys lohkoketjun historiasta, kehityksestä, toiminnallisista perusperiaatteista ja ominaisuuksista. Luvussa käsitellään myös eroavaisuuksia perinteisiin tietokantaratkaisuihin. Tavoitteena on tarjota lukijalle kattava ymmärrys lohkoketjuteknologian toimintamekanismeista ja luoda pohja seuraavalle teorialuvulle, jossa yhdistetään lohkoketjuteknologia toimitusketjujen vastuullisuutta käsittelevään tutkimukseen.

Toisessa luvussa tarkastellaan vastuullisen toimitusketjun käsitettä sekä sitä, miten lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan nykykirjallisuuden valossa edistää toimitusketjun ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista vastuullisuutta. Luvussa keskitytään erityisesti siihen, miten lohkoketjuteknologia voi edistää toimitusketjun vastuullisuuden tavoitteita ja tutkia, mitkä ovat keskeisimmät mekanismit vastuullisuustavoitteiden saavuttamiseksi. Luvussa käsitellään lohkoketjun mahdollisuuksia parantaa muun muassa toimitusketjun läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä ja

tehokkuutta sekä tuodaan ilmi, miten edellä mainitut ominaisuudet tukevat vastuullisuuden eri osa-alueita. Luvussa käsitellään olemassa olevia tutkimuksia ja niiden tuloksia sekä case-esimerkkejä, joiden avulla havainnollistetaan lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuuksia toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi.

Teoriaosuuden lopussa muodostetaan tutkimuksen kannalta olennaisen kirjallisuuden pohjalta teoreettinen viitekehys. Viitekehys toimii tutkimuksen linssinä, jonka läpi tutkittavaa aihetta tarkastellaan empiiristä aineistoa analysoitaessa.

Teoriaosuudessa on hyödynnetty ensisijaisina lähteinä pääasiassa vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita, konferenssijulkaisuja ja kirjoja, mutta myös toissijaisia lähteitä, kuten organisaatioiden tiedotteita ja ajankohtaisia artikkeleita. Näiden toissijaisten lähteiden avulla on pyritty täydentämään tutkimusalan viimeisimpiä kehityssuuntia ja tarjoamaan laajempi näkemys lohkoketjuteknologian nykytilasta. Yhdistämällä ensisijaisia ja toissijaisia lähteitä kirjallisuuskatsaus rakentaa kattavan kuvan tutkimusaiheesta, mikä auttaa tuomaan esiin aiemman tutkimuksen keskeisimpiä näkökulmia ja täydentämään mahdollisia aukkoja tieteellisessä tutkimuksessa.

2 Lohkoketjuteknologia

Lohkoketju on pohjimmiltaan hajautettu tietokanta sekä avoin tilikirja kaikista toteutuneista ja osapuolten kesken jaetuista transaktioista tai digitaalisista tapahtumista. Jokainen tapahtuma lohkoketjussa varmistetaan järjestelmän osallistujien enemmistön konsensuksella. Kun tieto on kerran syötetty lohkoketjuun, sitä ei voida poistaa. (Crosby ym. 2016.) Lohkoketjuteknologian ylläpitoarkkitehtuuri koostuu noodien (engl. nodes) verkostosta, jossa jokainen noodi ylläpitää kopiota koko lohkoketjusta. Tämä hajautettu rakenne tekee järjestelmästä erittäin kestävästä tietomurtoja ja väärinkäytöksiä vastaan, sillä yksittäisen noodin muuttaminen ei vaikuta lohkoketjuun, vaan tietojen muokkaamiseen tarvitaan enemmistön suostumus. Tämän hajautetun rakenteen ja konsensusmekanismin ansiosta lohkoketju on turvallinen, läpinäkyvä ja muuttumaton tietojärjestelmä, joka soveltuu erityisesti transaktioiden ja arvokkaiden tietojen tallentamiseen ja jakamiseen. (Yli-Huumo ym. 2016.)

Tapscott ja Tapscott (2016) määrittelevät lohkoketjun digitaalisena tilikirjateknologiana, jonka avulla voidaan pitää kirjaa kaikista transaktioista, joilla on arvoa – muutakin kuin rahallista. Jokaista tilikirjaan kirjattua ja ”noodien”, eli lohkoketjun ylläpitäjäverkoston vahvistamaa transaktioiden joukkoa kutsutaan lohkoksi. Lohkoon kirjattujen transaktioiden vahvistamisen jälkeen valmis lohko lisätään ketjuun, luoden näin digitaalisen tilikirjan (lohkoketjun), joka on muuttumaton. Yagan ym. (2018) mukaan lohkoketju voidaan määritellä vilpiltä suojatuksi kirjanpitoalustaksi, joka toimii hajautetulla toimintaperiaatteella, ilman keskitettyä hallintoa. Käytännössä lohkoketju mahdollistaa siis verkoston käyttäjien tapahtumien tallentamisen jaettuun tilikirjaan verkoston sisällä siten, että lohkoketjuun kirjattujen transaktioiden muokkaaminen jälkikäteen on mahdotonta ilman verkoston enemmistön suostumusta.

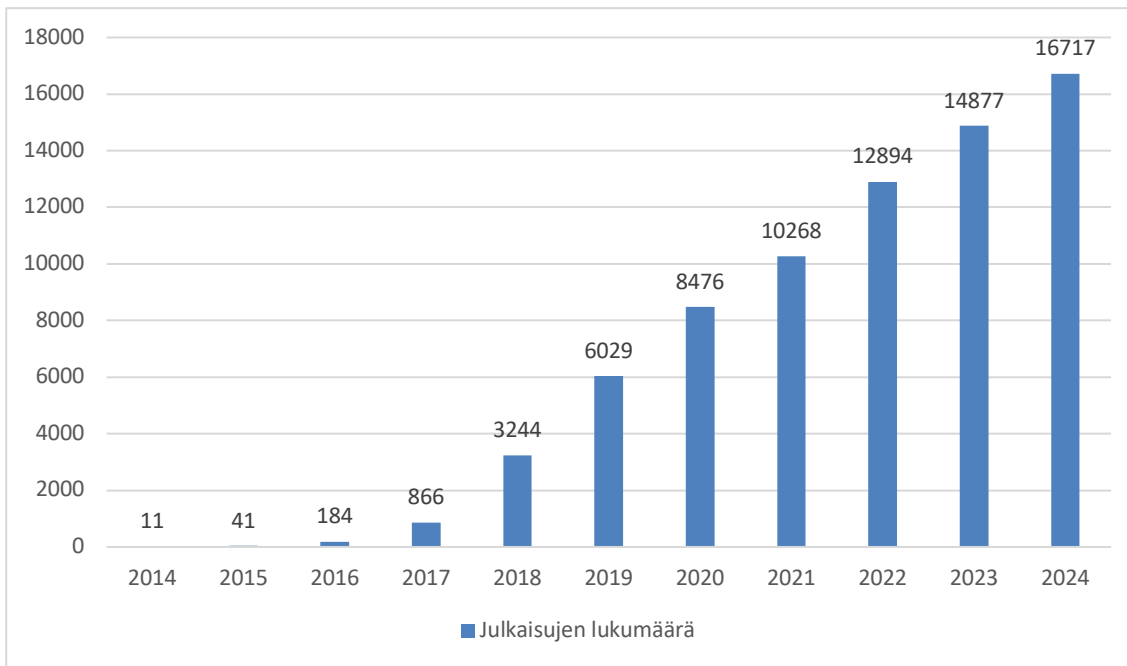
Lohkoketjuteknologian ydin perustuu sen kykyyn varmistaa tietojen eheys ja turvallisuus ilman keskitettyä hallintoa. Tämä hajautettu toimintaperiaate tarjoaa uusia mahdollisuuksia läpinäkyvyyden ja luotettavuuden parantamiseen. Lohkoketjuteknologian hajautettu toimintaperiaate tekee siitä erityisen houkuttelevan ratkaisun monilla aloilla, joissa tietojen eheys, turvallisuus ja muuttumattomuus ovat kriittisiä. Sen avulla voidaan luoda luotettava ja hajautettu tietokanta, joka toimii ilman keskitettyä hallintoa, mikä vähentää yksittäisten tahojen vaikutusvaltaa ja parantaa tietojen saatavuutta kaikille osapuolille. (Nakamoto, 2008.)

2.1 Taustaa ja kehitys

Lohkoketjuteknologian alkuperä juontaa juurensa Bitcoinin, digitaalisen valuutan, kehittämisestä, joka esitteli lohkoketjun ensimmäisen käytännön sovelluksen hajautettuna ja muuttumattomana digitaalisena tilikirjana. Noin 16 vuotta sitten, lokakuussa 2008 internet-käyttäjä(t) nimimerkiltään Satoshi Nakamoto julkaisi 9-sivuisen asiakirjan ”Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, jossa esiteltiin uusi elektronisen rahan konsepti. Järjestelmä toimii hajautettuna tilikirjana ja on käyttäjiensä ylläpitämä. Kyseisen järjestelmän luoja(t) kutsuivat kryptografiaan pohjautuvaa valuutaa Bitcoiniksi, ja sen pohjana toimivaa teknologiaa lohkoketjuksi (blockchain). (Nakamoto, 2008.) Lohkoketjuteknologia itsessään on kuitenkin irrallinen Bitcoinista tai muista kryptovaluutoista ja sen nykyiset sekä potentiaaliset sovellukset ulottuvat paljon Bitcoinia ja muita kryptovaluuttoja laajemmalle.

Lohkoketjuteknologia hajautettuna kirjanpitoalustana tarjoaa innovatiivisen pohjan uudelle, hajautetulle ja läpinäkyvälle transaktiomekanismille eri liiketoiminnan aloilla. Lohkoketjuteknologian perimmäisten ominaisuuksien ansiosta osapuolten välinen luottamus lisääntyy läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden kautta kaikissa tiedon, tavaroiden tai rahan transaktioissa. (McCarthy, 2024.) Viime aikoina teknologiaa kohtaan esitetyistä epäilyistä huolimatta useat hallitukset ja suuryritykset ovat tutkineet lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuuksia eri sovellusaloilla, rahoituksesta tuotanto- ja toimitusketjuverkostoihin. (Abeyratne & Monfared, 2016.)

Lohkoketjuteknologia on herättänyt suurta mielenkiintoa sekä akateemisissa piireissä että yritysmaailmassa viime vuosikymmenen aikana, minkä vuoksi myös lohkoketjuteknologiaa käsittelevien tutkimusten määrä on kasvanut merkittävästi vuodesta 2010 tähän päivään asti. Alla olevassa kuviossa on koottuna Scopus-tietokannasta löytyvien julkaisujen (tieteelliset artikkelit, konferenssipaperit ja kirjat) määrä vuosittain, joiden otsikko, tiivistelmä tai avainsana sisältää sanan *blockchain*.



Kuvio 1: Tieteelliset julkaisut, joissa mainitaan blockchain, 2014–2024 (Scopus, 6.4.2025)

Kuten yllä olevasta kaaviosta nähdään, kiinnostus lohkoketjuteknologiaa kohtaan akateemisessa kirjallisuudessa on kasvanut merkittävästi vuosi vuodelta viimeisen 10 vuoden aikana. Teknologian ainutlaatuiset ominaisuudet, kuten väärentämisen havaittavuus, luotettavuus, läpinäkyvyys, hajautettu luonne ja kyky poistaa tarve kolmansille osapuolille, ovat herättäneet laajaa kiinnostusta. Alun perin Bitcoin-kryptovaluutan perustana toiminut lohkoketjuteknologia on laajentunut nopeasti myös muille toimialoille. Kiinnostuksen kasvu on johtanut suureen määrään akateemisia tutkimuksia, joissa tutkitaan teknologian mahdollisuuksia, haasteita ja tulevaisuuden potentiaalisia sovelluksia. (Alhat, 2024.)

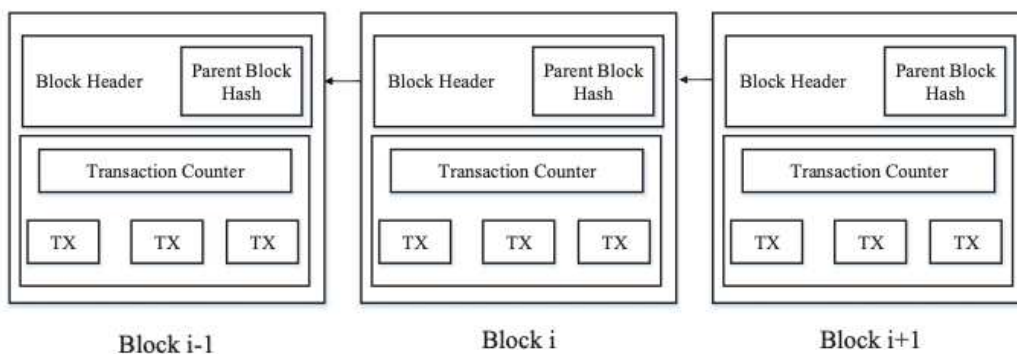
2.2 Lohkoketjuteknologian toimintaperiaatteet ja ominaisuudet

Lohkoketjuteknologia edustaa innovatiivista lähestymistapaa tiedon digitaaliseen tallennukseen ja jakamiseen, tarjoten ainutlaatuisia ominaisuuksia, kuten läpinäkyvyyttä, luotettavuutta ja hajautettua hallintaa. Perustuen hajautettuun kirjanpitomalliin, lohkoketju tallentaa tietoa lohkoiksi kutsuttuihin yksiköihin, jotka on ketjutettu peräkkäin käyttäen monimutkaisia kryptografisia menetelmiä. Tämä rakenne varmistaa, että jokaisen lohkon sisältämät tiedot pysyvät muuttumattomina, kun ne on lisätty lohkoon, tarjoten poikkeuksellisen turvallisuustason sekä datan eheyden. (Yli-Huumo, Ko, Park & Smolander, 2016.)

Yksi lohkoketjun keskeisimmistä ominaisuuksista on sen hajautettu luonne, mikä tarkoittaa, että yksittäisen tahon sijaan tietokanta on jaettu laajan ylläpitäjaverkoston kesken. Lohkoketjuteknologian hajautettu luonne poistaa tarpeen keskitetylle välittäjälle tai kolmannelle osapuolelle, mahdollistaen käyttäjien välisten tapahtumien suorittamisen keskenään ilman välikäsiä tehokkaasti ja luotettavalla tavalla (Beck ym. 2017).

Huolimatta useista lohkoketjuverkkojen vaihtoehdoista ja uusien, lohkoketjuun liittyvien teknologioiden nopeasta kehityksestä, useimmat lohkoketjuverkot toimivat yleisiä peruseriaatteita noudattaen. Lohkoketju on hajautettu lohkoista koostuva tilikirja. Jokainen lohko sisältää lohkon otsikon, joka sisältää metatietoa lohkoista, sekä lohkotiedot, jotka sisältävät joukon transaktioita sekä muita tietoja. Jokaisen lohkon otsikko sisältää kryptografisen linkin edellisen lohkon otsikkoon, muodostaen peräkkäisistä lohkoista koostuvan ketjun - lohkoketjun. Jokainen transaktio koskee yhtä tai useampaa lohkoketjun käyttäjää ja tapahtuman kulusta tehtävää kirjausta, ja se on digitaalisesti allekirjoitettu käyttäjän toimesta, joka on pannut transaktion alulle. (Yaga ym. 2018.) Alla olevassa kuviossa on havainnollistettu lohkoketjun toimintamekanismia.

II. BLOCKCHAIN ARCHITECTURE



Kuvio 2: Kuvaus lohkoketjun arkkitehtuurista (Zheng ym. 2017)

Kuten yllä olevassa kuviossa on havainnollistettu, lohkoketju on peräkkäisistä lohkoista koostuva transaktioiden kokonaisuus, jotka yhdessä muodostavat julkisen tilikirjan. Transaktiot tallentuvat lohkoketjuun, ja niiden muuttaminen jälkikäteen on mahdotonta ilman enemmistön suostumusta lohkoketjua ylläpitävien tahojen (engl. nodes) toimesta. (Zheng ym. 2017.) Tämä muuttumattomuuden ja hajautuksen yhdistelmä tekee

lohkoketjusta erityisen hyödyllisen työkalun luotettavan tiedon säilyttämiseen ja seurantaan.

Lohkoketjuteknologian toimintaperiaatteiden ytimessä on hajautettu järjestelmä, jossa kaikki tiedot tallennetaan samanaikaisesti verkon noodeihin, jotka varmistavat tietojen oikeellisuuden. Näin lohkoketju mahdollistaa tietojen luotettavuuden ja muuttumattomuuden, mikä saavutetaan konsensusmekanismien, kuten Proof of Workin (PoW) tai Proof of Staken (PoS) avulla. (Crosby ym. 2016.)

Erilaisia lohkoketjuverkostoja

Zhengin ym. (2017) mukaan nykyiset lohkoketjuverkostot voidaan jaotella karkeasti kolmeen eri ryhmään: julkinen lohkoketju, yksityinen lohkoketju ja konsortio (engl. consortium) lohkoketju. Julkisessa lohkoketjussa kaikki transaktiot ovat julkisia, ja kaikki noodit voivat osallistua konsensusprosessiin. Yksityisessä lohkoketjussa ainoastaan tietyn lohkoketjun osapuolen noodit voivat osallistua konsensusprosessiin. Konsortiolohkoketjussa konsensusprosessiin voivat osallistua ainoastaan ennalta määritetyt noodit. Yksityinen lohkoketju voidaan näin ollen nähdä olevan keskitetty verkosto, sillä ainoastaan yksi lohkoketjun osapuoli hallitsee lohkoketjun toimintaa. Konsortiolohkoketju on osittain hajautettu, sillä ainoastaan pieni osa noodeista suorittaa konsensusprosessia. Julkinen lohkoketju taas on täysin hajautettu, sillä mikä tahansa noodi voi osallistua lohkoketjuverkoston ylläpitoon. (Zheng ym. 2017.)

Konsensusalgoritmit

Kuten edellä on mainittu, lohkoketjun toiminta pohjautuu hajautettujen toimijoiden kykyyn päästä yhteisymmärrykseen esimerkiksi tietyn transaktion validiteetista. Konsensuksen saavuttaminen hajautetussa ympäristössä on haaste. Lohkoketjussa ei ole yhtä keskitettyä hallintoelintä varmistamassa, että hajautettujen noodien tilikirjat ovat keskenään yhteneväisiä. Näin ollen tarvitaan protokollia varmistamaan, että kaikkien eri noodien digitaaliset tilikirjat pysyvät yhdenmukaisina. (Zheng ym. 2017.) Useimmat nykyisistä lohkoketjuista hyödyntävät joko proof of work (PoW) tai proof of stake (PoS) mekanismeita lohkoketjussa tapahtuvien transaktioiden luotettavuuden varmistamiseen. Seuraavaksi esitellään kummankin konsensusalgoritmin toimintaperiaatteet Zhengin ym. (2017) mukaan:

PoW on lohkoketjuteknologian alkuperäinen konsensusalgoritmi, jota muun muassa Bitcoin hyödyntää lohkoketjuverkoston toiminnan mahdollistamiseksi. Hajautetussa verkossa jonkun verkoston ylläpitäjistä, eli noodeista, täytyy valikoitua tallentamaan transaktiot. Helpoin tapa tähän on satunnainen valinta, mutta satunnaisuus on altis hyökkäyksille. Näin ollen, jos noodi haluaa julkaista transaktioita sisältävän lohkon, sen on tehtävä paljon työtä todistaakseen, ettei se todennäköisesti hyökkää verkkoa vastaan. Yleisesti ottaen tämä työ tarkoittaa tietokoneen laskentatehtäviä. Proof of Work (PoW) -menetelmässä jokainen verkon noodi laskee lohkon otsikon hash-arvoa. Lohkon otsikko sisältää muuttujan nimeltä nonce, ja louhijat muuttavat tätä muuttujaa usein saadakseen erilaisia hash-arvoja. Konsensus vaatii, että laskettu arvo on yhtä suuri tai pienempi kuin ennalta määritelty arvo.

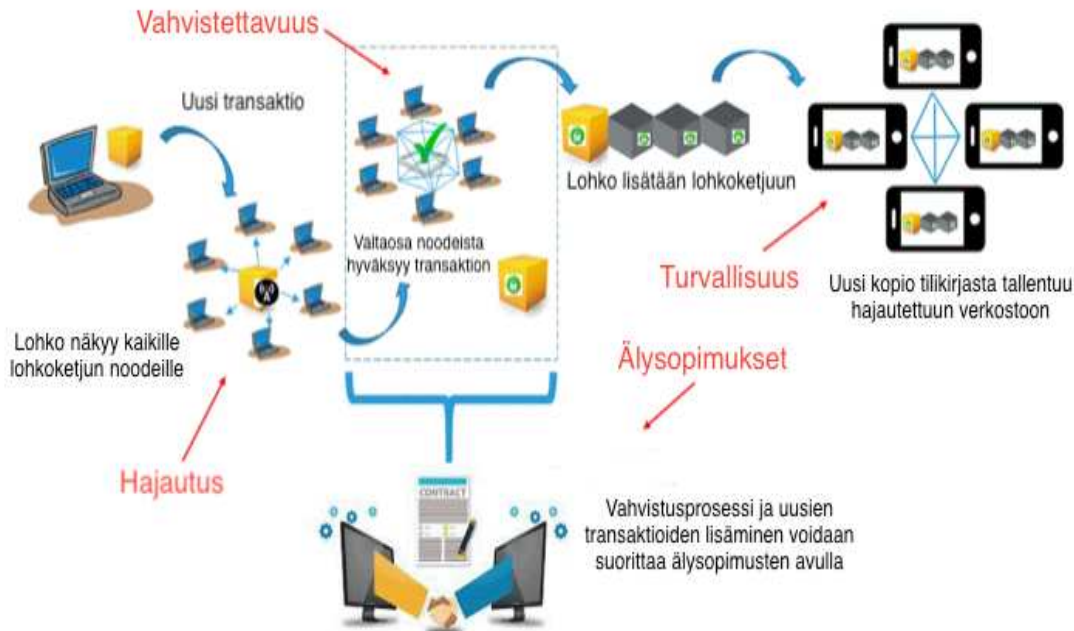
Kun yksi noodi saavuttaa tavoitearvon, se lähettää lohkon muille solmuille, jotka tarkistavat hash-arvon oikeellisuuden keskinäisesti. Jos lohko vahvistetaan oikeaksi, muut louhijat lisäävät tämän uuden lohkon omaan lohkoketjuunsa. Noodeja, jotka laskevat hash-arvoja, kutsutaan louhijoiksi, ja PoW-prosessia kutsutaan louhinnaksi PoW-menetelmään perustuvan lohkoketjuverkoston yhteydessä.

PoS on energiatehokkaampi vaihtoehto PoW:lle. Louhijoiden täytyy PoS-mekanismissa todistaa omistajuutensa kyseisen lohkoketjun valuutan osalta. Toimintaperiaate ja luotettavuuden saavuttaminen pohjautuu uskomukseen siitä, että mitä enemmän valuuttaa tietty noodi omistaa, sitä epätodennäköisempää hyökkäys tai vilpillinen toiminta lohkoketjua vastaan on. Eliminoidakseen tilanteet, joissa ainoastaan eniten kyseessä olevan lohkoketjun valuuttaa omaava noodi valittaisiin vahvistamaan transaktiot, PoS-lohkoketjut käyttävät esimerkiksi seuraavanlaisia menetelmiä:

- Satunnaisuuden hyödyntäminen noodin valintaan; hyödynnetään kaavaa, joka etsii alinta hash-arvoa yhdistettynä noodin omistamien valuuttojen arvoon.
- Valuutan iän perusteella tehtävä valinta; vanhemmilla ja suuremmilla valuutoilla on suurempi todennäköisyys louhia seuraava lohko.

Konsensusmekanismit ovat lohkoketjuteknologian ydin, sillä ne mahdollistavat hajautetun verkoston toiminnan ja varmistavat, että kaikki verkon osallistujat pääsevät yksimielisyyteen transaktioiden oikeellisuudesta ilman keskitettyä hallintoa. Riippumatta

lohkoketjussa hyödynnettävästä konsensusmekanismista tavoite on sama – ylläpitää verkoston luotettavuutta ja varmistaa transaktioiden oikeellisuus ilman kolmansia osapuolia tai keskitettyä hallintoa. (Zheng ym. 2017.)



Kuvio 3. Lohkoketjun toimintaperiaate (mukaillen Saberi ym. 2018).

Kuviossa 3 on havainnollistettu lohkoketjun toimintaperiaatteita. Tapahtumaketju alkaa, kun verkoston jäsen tekee transaktion. Verkostoa ylläpitävät tahot, eli ”noodit”, saavat tiedon uudesta transaktiosta ja tarkistavat sen validiteetin, minkä jälkeen transaktio tallentuu lohkoketjuun, jos ennalta määritetty enemmistö verkostoa ylläpitävistä tahoista on hyväksynyt transaktion. Kun transaktio on lisätty lohkoketjuun, todiste kyseisestä transaktiosta ja kopio uudesta tilikirjasta tallentuu kaikille verkostoa ylläpitäville tahoille. (Saberi ym. 2018.) Lohkoketjun luotettavuus ja turvallisuus perustuu siten toimintaperiaatteeseen, jossa verkostoa ylläpitävillä tahoilla ei ole kannustinta hyväksyä virheellisiä tai korruptoituneita transaktioita. Tämä hajautetun hallinnon rakenne tekee lohkoketjusta luotettavan alustan transaktioiden suorittamiselle ja poistaa tarpeen osapuolten väliselle luottamukselle ja kolmansille osapuolille.

Lohkoketjun toimintaperiaatteesta saa paremman käsityksen, kun tarkastellaan, miten transaktioita suoritetaan lohkoketjuverkostossa. Tämä verkosto koostuu joukosta noodeja (engl. nodes), jotka operoivat samalla lohkoketjulla. Kullakin noodilla on oma kopionsa

lohkoketjusta. Seuraavassa havainnollistetaan lohkoketjuverkon tapahtumaketjua (Christidis & Devetsikiotis, 2016):

1. Käyttäjät ovat vuorovaikutuksessa verkoston kanssa yksityisten ja julkisten avainten avulla. Yksityistä avainta käytetään omien transaktioiden vahvistamiseen. Käyttäjät ovat tunnistettavissa verkostossa julkisten avainten avulla. Jokainen käyttäjän vahvistama transaktio julkistetaan ”viereisille” noodeille.
2. ”Viereiset” noodit vahvistavat transaktion validiteetin ennen sen laittamista eteenpäin, virheelliset transaktiot hylätään. Hyväksytyt transaktiot julkaistaan koko verkostolle.
3. Transaktiot, jotka verkosto on kerännyt ja vahvistanut edellä kuvatun mukaisesti, järjestetään ja paketoidaan aikaleimattuun lohkoon. Tätä prosessia kutsutaan louhinnaksi (engl. mining). Louhinnan suorittava noodi lähettää pakatun lohkon lohkoketjuverkostoon.
4. Noodit vahvistavat, että lohko sisältää ainoastaan kelvollisia transaktioita ja viittaa oikeaan edelliseen lohkoon. Jos näin on, kyseinen lohko lisätään ketjuun ja sen sisältämät transaktiot suoritetaan. Jos näin ei ole, ehdotettu lohko hylätään.
5. Prosessi toistuu.

Ennen syventymistä lohkoketjuteknologian hyödyntämiseen ja potentiaaliin vastuullisuusvaikutuksiin toimitusketjuissa, on tärkeää tuntea lohkoketjun keskeisimmät ominaisuudet ja toimintaperiaatteet, jotka mahdollistavat uusia tapoja hallita toimitusketjuja. Alle on koottu lohkoketjun keskeisiä ominaisuuksia ja toimintaperiaatteita etenkin toimitusketjujen hallinnan kannalta olemassa olevan kirjallisuuden perusteella:

Hajautettu hallinta

Hajautus on yksi lohkoketjuteknologian perustavanlaatuisista ominaisuuksista, ja se tarkoittaa, että tietoja ei tallenneta yhteen keskitettyyn paikkaan, vaan ne jakautuvat verkoston kaikkien ylläpitäjien, eli noodien, kesken. Lohkoketju hyödyntää konsensusmekanismia tapahtumien vahvistamiseen ja lohkojen lisäämiseen ketjuun. Tämä mekanismi varmistaa, että kaikki verkoston jäsenet ovat yhtä mieltä transaktioiden

validiteetista. (Xinyi, Yi & He, 2018.) Lohkoketjuteknologian konsensusmekanismi eliminoi siten riskin yksittäisten osapuolien vilpilliselle toiminnalle lohkaketjuverkostossa. Tämän ansiosta lohkaketju on erittäin kestävä tietomurtoja ja manipulointiyrityksiä vastaan, sillä yhden noodin tietojen muokkaaminen ei vaikuta muihin noodeihin ilman verkoston laajamittaista hyväksyntää (Yli-Huumo ym. 2016). Hajautuksen ansiosta lohkaketju toimii ilman keskitettyä hallintoa, mikä tekee järjestelmästä luotettavamman ja turvallisemman. Hajautettu rakenne myös lisää järjestelmän kestävyyttä ja varmistaa tiedon pysyvyyden, sillä tietojen häviäminen tai muuttaminen vaatisi koko verkoston manipulointia (Zheng ym. 2017).

Läpinäkyvyys

Läpinäkyvyys on yksi lohkaketjuteknologian keskeisistä ominaisuuksista, tarjoten kaikille osapuolille pääsyn ajantasaiseen ja muuttumattomaan tietoon kaikista lohkaketjuun kirjatusta tapahtumista. Kaikkien tapahtumien tallentuminen julkiseen ja jaettuun tilikirjaan lisää lohkaketjun avoimuutta ja mahdollistaa kaikkien osapuolten tarkastella samoja tietoja reaaliaikaisesti, parantaen luottamusta lohkaketjun jäsenten välillä (Crosby ym. 2016). Tämä läpinäkyvyys vähentää petosten ja tietojen manipuloinnin mahdollisuutta, parantaen lohkaketjuun tallennettujen tietojen luotettavuutta. Läpinäkyvyys on erityisen hyödyllinen monimutkaisissa ja globaalisti hajautetuissa toimitusketjuissa, joissa tieto voi muuten olla vaikeasti saatavilla ja alttiina väärinkäytöksille (Zheng ym. 2017).

Jäljitettävyys

Lohkoketjuteknologia mahdollistaa ainutlaatuisen jäljitettävyyden tarjoamalla muuttumattoman ja hajautetun tietokannan, johon kaikki transaktiot tallennetaan pysyvästi ja kronologisessa järjestyksessä. Jokainen uusi tapahtuma liitetään aiempaan lohkokon kryptografisesti, mikä estää tietojen väärentämisen tai muuttamisen jälkikäteen. (Casino, Dasaklis & Patsakis, 2019.) Lohkoketjun avulla voidaan seurata ja todentaa tietojen alkuperä ja koko niiden elinkaari ilman keskitettyä hallintoa, mikä tekee siitä erityisen hyödyllisen ratkaisun aloilla, joissa läpinäkyvä ja luotettava tietojenhallinta on kriittistä (Treiblmaier, 2018).

Lohkoketjuun tallentuva muuttumaton ja aikaleimattu tieto jokaisesta transaktiosta ja tapahtumasta mahdollistaa sen, että kaikki toimitusketjun toimijat voivat nähdä tuotteen

kulun alkuperästä loppukäyttäjälle asti (Saber ym. 2018). Jäljitettävyys on erityisen tärkeä esimerkiksi elintarvike- ja lääkealoilla, joissa turvallisuus ja alkuperän varmistaminen ovat kriittisiä. Lohkoketjun ansiosta yritykset voivat vastata nopeammin laadunvalvontaan liittyviin ongelmiin ja varmistaa tuotteiden aitouden, mikä parantaa koko toimitusketjun luotettavuutta (Kshetri, 2018).

Muuttumattomuus

Muuttumattomuus on yksi lohkoketjuteknologian keskeisimmistä ominaisuuksista, ja se tarkoittaa, että kerran lohkoketjuun tallennettua tietoa ei voi muuttaa tai poistaa ilman koko verkoston hyväksyntää (Chowdhury ym. 2018). Tämä ominaisuus tekee lohkoketjusta erityisen luotettavan tietojärjestelmän, sillä kaikki transaktiot ja tapahtumat tallentuvat pysyvästi ja ovat jäljitettävissä koko ketjun elinkaaren ajan (Nakamoto, 2008). Muuttumattomuuden ansiosta lohkoketju tarjoaa tehokkaan tavan varmentaa tapahtumien aitous ja vähentää tietojen väärentämisen tai manipuloinnin riskiä, mikä parantaa lohkoketjuun tallennettujen tietojen turvallisuutta ja luotettavuutta (Crosby ym. 2016). Tämä ominaisuus on erityisen tärkeä tilanteissa, joissa tiedon tarkkuus ja pysyvyys ovat kriittisiä.

Älysopimukset (engl. smart contracts)

Lohkoketjuteknologia mahdollistaa älysopimusten käytön, jotka ovat itsestään täyttyviä sopimuksia tietyin ehdoin, automatisoiden siten toimitusketjun prosesseja, lisäten tehokkuutta ja vähentäen inhimillisen virheen mahdollisuutta (Kamble ym. 2019). Ennalta määritettyjen ehtojen täytyessä lohkoketjuun koodattu älysopimus suorittaa halutun toimenpiteen automaattisesti lohkoketjuverkoston jokaisessa noodissa (Christidis ym. 2016).

Älysopimusten ohjelmoinnin mahdollistava lohkoketju luo edellytykset monivaiheisten prosessien toteuttamiseen osapuolten välillä, ilman tarvetta osapuolten väliseen luottamukseen. Transaktioon osallistuvat tahot voivat:

- tarkastella koodia ja tunnistaa sen toimintaperiaatteet ja ehdot ennen sitoutumista
- olla varmoja älysopimuksen toimintavarmuudesta, koska koodi on tallennettu lohkoketjuun, jota kumpikaan osapuoli ei yksinään voi hallita

- varmistaa prosessin läpinäkyvyyden, koska kaikki tapahtumat ja transaktiot on digitaalisesti allekirjoitettu. (Christidis ym. 2016.)

Näin ollen älysovimuksilla on kyky eliminoida mahdolliset riitatilanteet ja erimielisyydet, sillä osallistujat eivät voi olla eri mieltä prosessin lopullisesta ja varmennetusta lopputuloksesta, johon he ovat sitoutuneet.

Edellä mainitut lohkoketjuteknologian ominaisuudet muodostavat perustan, jolle teknologian hyödyntämisen potentiaali toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi rakentuu. Lohkoketjuun ohjelmoitujen ominaisuuksien ansiosta lohkoketjun osapuolet voivat luottaa tietojen oikeellisuuteen ja ajantasaisuuteen ilman riippuvuutta kolmansista osapuolista, luoden pohjan läpinäkyvämmille, turvallisemmille ja tehokkaammille prosesseille.

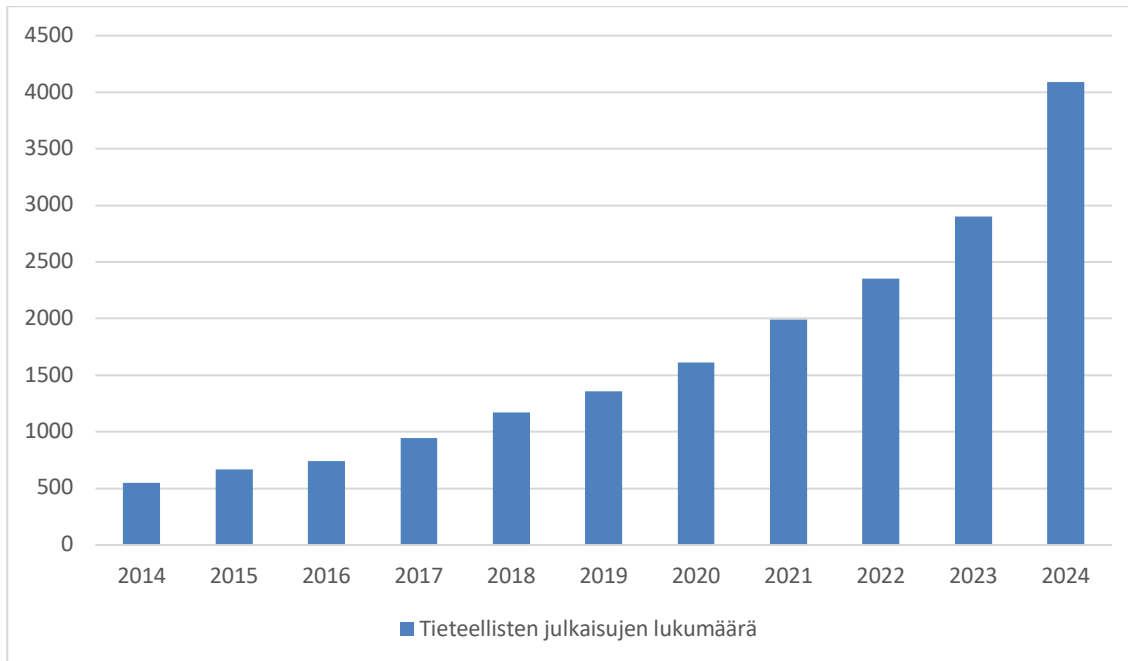
3 Lohkoketjuteknologia toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi

Toimitusketjut ovat keskeisessä roolissa organisaation arvonaluonnissa ja kilpailukykyyn parantamisessa (Mentzer, Flint & Hult, 2001). Yksi toimitusketjun päätavoitteista on varmistaa, että tuotteet ja palvelut toimitetaan oikea-aikaisesti, oikeassa kunnossa ja mahdollisimman kustannustehokkaasti (Flint, 2004). Toimitusketjun suorituskykyä mitataan useilla mittareilla, kuten laadulla, nopeudella, kustannustehokkuudella ja joustavuudella (Rao & Holt, 2005). Näiden lisäksi yhä enemmän korostetaan toimitusketjun kokonaisvaltaista vastuullisuutta suorituskyvyn arvioinnissa (Bowen ym. 2001). Seuring ja Müller (2008) määrittelevät vastuullisen toimitusketjujen hallinnan kokonaisvaltaisena materiaalien, informaation ja pääomavirtojen koordinoituna yritysten välillä, jossa huomioidaan kaikki kolme vastuullisuuden osa-aluetta: taloudellinen, ympäristöllinen ja sosiaalinen vastuullisuus.

John Elkingtonin vuonna 1997 esittelemä Triple Bottom Line (TBL) -malli on merkittävä viitekehys vastuullisuuden arvioimisessa ja sen vaikutuksissa yritystoimintaan. Malli laajentaa vastuullisuuden perinteisestä taloudellisesta näkökulmasta myös ympäristölliseen ja sosiaaliseen vastuullisuuteen (Elkington, 1997). TBL tarjoaa yrityksille viitekehyksen suorituskyvyn mittaamiseen näiden kolmen vastuullisuuden osa-alueen perusteella ja auttaa korostamaan tasapainoista arvonaluontia (Goel, 2010; Lee & Mao, 2015).

Vastuullisuuden huomioiminen toimitusketjuissa on yksi toimitusketjujen johtamisen dynaamisimmista tutkimusaiheista. Toimitusketjujen vastuullisuus on noussut keskeiseksi tutkimusaiheeksi viime vuosina, sillä yritysten, kuluttajien ja lainsäätäjien odotukset vastuullisista liiketoimintakäytännöistä ovat kasvaneet merkittävästi. (Meixell & Luoma, 2015.) Ilmastonmuutoksen torjunta, resurssien kestävä käyttö ja ihmisoikeuksien kunnioittaminen ovat nousseet kriittisiksi kysymyksiksi globaalissa toimitusketjun hallinnassa (Seuring & Müller, 2008). Lisäksi sääntelykehikon, kuten EU:n vastuullisuusraportointidirektiivin (CSRD), tiukentuminen edellyttää yrityksiltä läpinäkyvämpää ja luotettavampaa vastuullisuusraportointia (Euroopan Unioni, 2022). Näiden tekijöiden myötä kiinnostus toimitusketjujen vastuullisuutta kohtaan on kasvanut, mikä näkyy myös aiheeseen liittyvien tutkimusten määrän jatkuvana kasvuna. Alla olevassa kaaviossa on kuvattu Scopus-tietokannasta löytyvien tieteellisten artikkelien,

kirjojen ja konferenssipapereiden julkaisumäärät hakusanoilla ”Supply Chain Sustainability”.



Kuvio 4: Toimitusketjujen vastuullisuutta käsittelevä tutkimus (Scopus, 2025).

Kuten yllä olevasta kaaviosta on selkeästi havaittavissa, motivaatio ja mielenkiinto toimitusketjujen vastuullisuutta kohtaan on kasvanut merkittävästi vuosi vuodelta. Tämä kehitys kuvastaa paitsi akateemisen yhteisön lisääntyntä kiinnostusta aihetta kohtaan myös yritysten ja päätöksentekijöiden kasvavaa tarvetta löytää ratkaisuja kestävän kehityksen haasteisiin toimitusketjujen hallinnassa. Erityisesti globaalien toimitusketjujen ympäristölliset ja sosiaaliset vaikutukset ja haasteet ovat herättäneet laajaa kiinnostusta, mikä on johtanut myös uusien teknologisten ratkaisujen tutkimiseen. Tässä kontekstissa lohkoketjuteknologia on noussut lupaavaksi vaihtoehdoksi, joka voi tarjota läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä ja muuttumatonta dataa toimitusketjujen vastuullisuuden parantamiseksi. (Saberri ym. 2019.) Jatkuvasti kiristyvät sääntelyvaatimukset ja sidosryhmien odotukset luovat entistä suuremman paineen yrityksille kehittää vastuullisempia toimintamalleja, mikä tulee todennäköisesti lisäämään tutkimusta ja innovaatioita tällä alueella tulevaisuudessakin.

Toimitusketjujen monimutkaistuminen ja maantieteellinen hajautuminen ovat lisänneet niiden hallinnan haasteita (Sarkis, Xhu & Lai, 2011). Globalisaatio, maantieteellisesti poikkeavat ja nopeasti muuttuvat lainsäädännöt sekä kulttuurierot tekevät informaation

ja riskien hallinnasta entistä vaikeampaa (Dolgui ym. 2018). Samanaikaisesti sidosryhmien, kuten kuluttajien, sijoittajien ja sääntelyviranomaisten odotukset vastuullisuudesta ja sen raportoinnista ovat kasvaneet merkittävästi (Bocken ym. 2014). Tehottomat transaktioprosessit, petokset ja varkaudet toimitusketjuissa ovat johtaneet luottamuspulaan, mikä on lisännyt tarvetta paremmille tiedonjakamisen ja varmentamisen ratkaisuille (Saber ym. 2018).

Euroopan Unionin lisääntyvän vastuullisuusregulaation, kuten CSRD:n myötä, yritysten on raportoitava toimitusketjunsä vastuullisuudesta entistä yksityiskohtaisemmin. Regulaatio edellyttää kattavaa tietoa toimitusketjun jokaisesta vaiheesta, mukaan lukien alihankkijoiden ja raaka-ainetoimittajien vastuullisuuskäytännöistä. Lisäksi CSRD-direktiivi edellyttää, että yritykset raportoivat kestävyystietonsa Euroopan kestävyysraportointistandardien (European Sustainability Reporting Standards, ESRS) mukaisesti. Nämä standardit on kehitetty yhdenmukaistamaan raportointia ja varmistamaan tietojen vertailukelpoisuus. Ensimmäinen joukko ESRS-standardeja julkaistiin 22. joulukuuta 2023, ja ne koskevat yrityksiä toimialasta riippumatta. (EU Corporate Sustainability Reporting.) Yritysten on näin ollen varmistettava, että niiden koko toimitusketju noudattaa ympäristö- ja sosiaalisia standardeja, mikä saattaa vaatia uusien seurantajärjestelmien käyttöönottoa ja tiiviimpää yhteistyötä toimitusketjun osapuolten kanssa.

CSRD:n tavoitteena on lisätä yritysten toiminnan läpinäkyvyyttä ja vastuullisuutta, mikä puolestaan vaikuttaa positiivisesti koko toimitusketjun kestävyteen. Yritykset, jotka eivät noudata uusia raportointivaatimuksia, voivat kohdata mainehaittoja sekä mahdollisia taloudellisia sanktioita. Siksi on olennaista, että yritykset arvioivat nykyiset vastuullisuuskäytäntönsä ja tekevät tarvittavat muutokset varmistakseen toimitusketjunsä vastuullisuuden ja direktiivin vaatimusten mukaisuuden. (Euroopan Unioni, 2022.)

Lohkoketjuteknologia on noussut potentiaaliseksi ratkaisuksi toimitusketjujen vastuullisuuden haasteisiin sen ainutlaatuisten ominaisuuksien ansiosta. Teknologian keskeisiä etuja ovat läpinäkyvyys, jäljitettävyyys, hajautus ja muuttumattomuus, jotka voivat parantaa toimitusketjun vastuullisuutta eri osa-alueilla (Long, Feng, Fan & Liu, 2022). Lohkoketjuteknologian avulla voidaan esimerkiksi parantaa toimitusketjun

läpinäkyvyyttä ja varmistaa tuotannon vastuullisuus tarjoamalla todennettavaa ja muuttumatonta dataa toimitusketjun eri vaiheista (Saberu ym, 2018).

Lohkoketjuteknologian avulla yritykset voivat paitsi saavuttaa kestävän kehityksen tavoitteitaan, myös parantaa kilpailukykyään markkinoilla, joilla vastuullisuus on yhä merkittävämpi tekijä. Teknologia mahdollistaa reaaliaikaisen datan keräämisen, päästöjen seurannan ja valvonnan sekä ympäristöystävällisempien prosessien kehittämisen, mikä tukee yritysten siirtymistä kohti vastuullisempaa liiketoimintaa. (Bai & Sarkis, 2020; Mora ym. 2021; Saberu ym. 2019.) Seuraavissa luvuissa tarkastellaan, miten lohkaketjun keskeiset ominaisuudet ja toimintaperiaatteet voivat edistää toimitusketjujen ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista vastuullisuutta, ja miten teknologiaa voidaan käytännössä hyödyntää toimitusketjujen eri vaiheissa.

3.1 Lohkoketjuteknologia & toimitusketjun ympäristöllinen vastuullisuus

Ympäristönäkökulman integroimista toimitusketjujen hallintaan kutsutaan vihreäksi toimitusketjujen johtamiseksi (engl. Green supply chain management) (Sarkis, 2012). Toimitusketjun ympäristövastuullisuutta arvioidessa tarkastellaan kaikkia toimitusketjun vaiheita raaka-aineiden hankinnasta tuotantoon ja tuotteiden kuljettamiseen loppukäyttäjille. Luonnon ja talouden vuorovaikutuksessa taloudellinen toiminta voi johtaa luonnonvarojen ehtymiseen ja heikentymiseen, vaarantaen luonnon kantokykyä (Park & Li, 2021). Tässä luvussa tarkastellaan, miten lohkaketjuteknologian keskeiset ominaisuudet voivat edistää toimitusketjujen ympäristöllistä vastuullisuutta ja mahdollistaa tehokkaamman, kestävän kehityksen mukaisen toimitusketjujen hallinnan.

Perinteisesti ympäristövaikutusten hallinta toimitusketjuissa on ollut haasteellista johtuen monimutkaisista toimitusketjurakenteista, joissa eri toimijat käyttävät toisistaan poikkeavia raportointimenetelmiä ja tietojärjestelmiä (Saberu ym. 2019). Tämä on vaikeuttanut esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen, resurssien käytön ja tuotannon ympäristövaikutusten tarkkaa seuranta ja raportointia. Lohkoketjuteknologia tarjoaa ratkaisun näihin haasteisiin mahdollistamalla standardoidun ja hajautetun tiedonhallinnan, jossa data on kaikkien osapuolten saatavilla reaaliaikaisesti ja muuttumattomassa muodossa (Bai & Sarkis, 2020).

Lohkoketjuteknologia on noussut keskeiseksi innovaatioksi, jolla voidaan parantaa toimitusketjujen ympäristöllistä vastuullisuutta eri mekanismien kautta, kuten

läpinäkyvyyden, jäljitettävyyden ja päästötietojen hallinnan avulla (Saber ym. 2019). Ympäristövastuullisuuden näkökulmasta toimitusketjut muodostavat keskeisen päästölähteen, sillä niiden osuus globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä on merkittävä, jopa yli 60 % (Davis ym, 2011). Lohkoketjuteknologia mahdollistaa toimitusketjun eri vaiheiden hiilijalanjäljen tarkan dokumentoinnin sekä päästödatan muuttumattoman tallentamisen, mikä voi auttaa yrityksiä täyttämään kansainväliset ympäristömääräykset ja kestävän kehityksen tavoitteet (Bai & Sarkis, 2020). Lisäksi lohkoketjun hajautettu rakenne voi vähentää tarpeettomia välikäsiä ja optimoida resurssien käyttöä, mikä puolestaan tukee kiertotaloutta ja vähentää jätettä toimitusketjuissa (Yadav & Singh, 2020).

Päästöjen hallinta, seuranta & raportointi

Lohkoketju mahdollistaa tarkemman hiilidioksidipäästöjen seurannan ja laskennan tallentamalla jokaisen toimitusketjun vaiheen tiedot muuttumattomaan lohkoketjuun. Nämä tiedot voivat sisältää muun muassa polttoaineen kulutuksen, energiankäytön ja logistiikkaprosessien päästöt. (Zheng ym. 2020.) Lisäksi lohkoketju mahdollistaa päästötietojen todentamisen ja jakamisen eri sidosryhmien kesken ilman välikäsiä, parantaen datan luotettavuutta ja vähentäen raportointiin liittyviä riskejä (Wang ym. 2019). Reaaliaikainen data antaa yrityksille mahdollisuuden reagoida nopeammin ja optimoida logistiikkaprosessejaan päästöjen vähentämiseksi (Mora ym. 2021).

Lohkoketjuteknologian keskeiset ominaisuudet, kuten hajautettu tiedonhallinta, muuttumattomuus ja läpinäkyvyys, voivat auttaa yrityksiä vastaamaan tiukentuviin ja dynaamisiin sääntelyvaatimuksiin sekä parantamaan ympäristöraportointia. Esimerkiksi CSRD velvoittaa yrityksiä raportoimaan ympäristövaikutuksistaan entistä tarkemmin ja standardoidummin CSRD. Lohkoketjuteknologiaa ja niihin ohjelmoituja älysovimuksia hyödyntämällä voidaan automatisoida ja vahvistaa raportointiprosesseja tallentamalla toimitusketjun ympäristövaikutukset pysyvästi ja luotettavasti, vähentäen tietojen manipuloinnin ja virheiden riskiä (Di Vaio & Varriale, 2020). Moran ym. (2021) mukaan älysovimusten avulla voidaan toteuttaa automatisoituja päästölaskelmia, jotka perustuvat toimitusketjun eri vaiheissa kerättyyn dataan, mahdollistaen tarkemman päästöraportoinnin sekä sidosryhmien, kuten kuluttajien, sääntelyviranomaisten ja sijoittajien, paremman tiedonsaannin yritysten ympäristövaikutuksista.

Luotettavamman ja läpinäkyvämmän päästölaskentaprosessin myötä myös yritysten motivaatio päästöjen laskemiseen todennäköisesti kasvaa. Kokonaisvaltaisemman päästödatan myötä yrityksillä on myös mahdollisuus puuttua ongelmakohtiin toimitusketjuissaan päästöjen osalta, mikä saattaa johtaa entistä tehokkaampiin päästövähennystoimiin. Päästölaskennan varmennettavuuden ja läpinäkyvyyden myötä yritykset voivat myös osoittaa eri sidosryhmilleen, kuten sijoittajille, asiakkaille ja sääntelyviranomaisille, miten vastuullisuustekijät huomioidaan liiketoiminnassa.

Vihreä hankinta

Vihreä hankinta tarkoittaa ympäristöystävällisten ja eettisesti kestävämpien tuotteiden ja palveluiden hankkimista, sisältäen esimerkiksi raaka-aineiden valinnan niin, että ne ovat uusiutuvia tai kierrätettäviä, hiilijalanjäljen minimoinnin sekä toimittajien sitouttamisen vastuullisiin käytäntöihin (Geng & Doberstein, 2008). Tämä tarkoittaa tuotteiden ja palveluiden valintaa siten, että niiden ympäristövaikutukset minimoidaan koko elinkaaren ajalta, mukaan lukien raaka-aineiden hankinta, tuotanto, käyttö ja hävittäminen (Bai & Sarkis, 2020).

Vihreän hankinnan tavoitteena on vähentää resurssien kulutusta, rajoittaa haitallisten päästöjen syntymistä ja edistää ympäristöystävällisten materiaalien käyttöä (Zhu ym. 2013). Tämä voi sisältää esimerkiksi kierrätettävien tai biopohjaisten materiaalien suosimista, energiatehokkaiden teknologioiden käyttöä sekä vastuullisesti hankittujen raaka-aineiden valitsemista (Govindan ym. 2015). Vihreän hankinnan tavoitteena on siten vähentää toimitusketjun aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja edistää kestäväää kulutusta ja tuotantoa.

Lohkoketjun mahdollistaessa tuotteiden alkuperän ja toimitusketjun eri vaiheiden muuttumattoman dokumentoinnin voidaan varmistaa, että tuotteet ja raaka-aineet tulevat vastuullisista lähteistä ja täyttävät kestävyyskriteerit (Saber ym. 2019). Tämä auttaa organisaatioita noudattamaan kestävään kehityksen periaatteita ja vastaamaan kuluttajien ja sidosryhmien kasvaviin vastuullisuusvaatimuksiin. Lohkoketjun avulla voidaan myös automatisoida ja standardoida vastuullisuuskriteereihin perustuvia hankintaprosesseja älysovimusten avulla, mikä vähentää manuaalista tarkastelua ja tuo tehokkuutta vastuullisuuden valvontaan (Kouhizadeh & Sarkis, 2018). Esimerkiksi hankintasopimukseen voidaan ohjelmoida kriteerit, joiden täytyttyä maksu suoritetaan toimittajalle, mikäli toimitetut materiaalit täyttävät tietyt kestävään kehityksen standardit.

Tämä vähentää ihmisten tekemien virheiden mahdollisuutta ja varmistaa vastuullisuusperiaatteiden noudattamisen toimitusketjun jokaisessa vaiheessa. (Wang ym. 2020.)

Viherpesu on merkittävä haaste yritysten vastuullisuusviestinnässä, sillä monet organisaatiot voivat antaa harhaanjohtavaa tietoa tuotteidensa tai toimintansa ympäristövaikutuksista ilman konkreettisia todisteita (de Freitas Netto ym. 2020). Lohkoketjuteknologia voi auttaa torjumaan viherpesua tarjoamalla muuttumattoman ja hajautetun tietokannan, johon vastuullisuuteen liittyvät tiedot, kuten hiilijalanjälki, raaka-aineiden alkuperä ja sertifikaatit, tallennetaan ja todennetaan riippumattomien osapuolten toimesta (Jensen ym. 2019). Koska lohkoketjussa tallennettua tietoa ei voida muokata jälkikäteen ilman kaikkien verkoston osallistujien hyväksyntää, yritykset eivät voi esittää vääriä tai liioiteltuja vastuullisuusväittämiä ilman, että ne voidaan helposti kumota (Saber ym. 2019).

Lohkoketjuteknologian avulla voidaan myös kerätä ja tallentaa tarkkaa dataa vihreän hankinnan tehokkuudesta ja vaikuttavuudesta. Tämä data tarjoaa yrityksille mahdollisuuden seurata ja arvioida vastuullisuustavoitteidensa toteutumista reaaliaikaisesti, mikä on erityisen tärkeää jatkuvan parantamisen ja raportoinnin kannalta (Saber ym. 2019). Lohkoketjun muuttumattomuus takaa, että hankintaprosessiin liittyvät tiedot pysyvät eheinä ja todennettavina, mikä lisää luottamusta sidosryhmien, kuten toimittajien, sääntelyviranomaisten ja kuluttajien, keskuudessa (Kouhizadeh & Sarkis, 2018). Tiedon analysointi voi auttaa organisaatioita optimoimaan hankintaprosessejaan ja tunnistamaan alueita, joilla voidaan parantaa resurssitehokkuutta ja vähentää ympäristövaikutuksia. Lohkoketjun avulla voidaan esimerkiksi seurata hankintaketjun hiilijalanjälkeä, resurssien käyttöä ja energiatehokkuutta, minkä pohjalta voidaan tehdä tietoon perustuvia päätöksiä prosessien kehittämiseksi (Bai & Sarkis, 2020). Tämä mahdollistaa muun muassa kestävien materiaalien käytön lisäämisen, logistiikan päästöjen vähentämisen ja kiertotalouden periaatteiden vahvemman integroinnin hankintaketjuihin (Mora ym. 2021).

Blomen ym. (2014) mukaan hyvin määritellyt hankintaprosessit ja tieto esimerkiksi jätteen ja pakkausmateriaalien vähentämisestä sekä harkitusti suunnitelluista kertakäyttötuotteista voivat ajan myötä laajentaa käytäntöjä, jotka menevät hankinnan ydintehtävien ulkopuolelle. Näitä vihreän kehityksen aloitteita ovat Blomen ym. (2014)

mukaan muun muassa toimittajien kanssa tehtävä yhteistyö, heidän tukemisensa ja tietämyksen jakaminen, säännöllinen ympäristösuoritukseen liittyvä viestintä sekä hyvän ympäristösuorituksen tunnustaminen. Tällaisen yhteistyön aikana vaihdetut resurssit, tiedot ja oivallukset voivat merkittävästi parantaa toimittajien kokonaissuorituskykyä.

Resurssitehokkuuden parantaminen

Resurssitehokkuus on keskeinen osa kestäväen kehityksen periaatteiden mukaista liiketoimintaa. Resurssitehokkuudella tarkoitetaan materiaalien, energian ja muiden resurssien käytön minimointia samalla kun tuotannon tehokkuus säilyy tai paranee (Sitra, 2018). Lohkoketjun hajautettu ja muuttumaton rakenne mahdollistaa läpinäkyvän ja reaaliaikaisen tiedon jakamisen toimitusketjun eri toimijoiden välillä, mikä vähentää tarpeettomia varastoja, minimoi hukkaa ja mahdollistaa kuljetusketjujen optimoinnin (Saber ym. 2019). Lohkoketjun tarjoama jäljitettävyyys on erityisen hyödyllinen resurssitehokkuuden näkökulmasta, sillä sen avulla voidaan seurata raaka-aineiden alkuperää ja niiden käyttöä koko toimitusketjun läpi, mikä auttaa yrityksiä optimoimaan hankintaprosessejaan ja valitsemaan ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja (Yadav & Singh, 2020). Kun kaikki toimitusketjun vaiheet voidaan dokumentoida muuttumattomasti lohkokejuun, voidaan varmistaa, että kierrätettävät materiaalit todella päätyvät uudelleenkäyttöön eikä esimerkiksi kaatopaikoille (Nandi ym. 2021). Tämä auttaa yrityksiä täyttämään yhä tiukemmat ympäristösäädökset sekä edistämään vastuullisempaa resurssienhallintaa.

Lohkoketjuteknologia voi edistää toimitusketjun resurssitehokkuutta myös älysovimuksia hyödyntämällä. Älysovimukset mahdollistavat automaattisten ehtojen täyttymisen esimerkiksi raaka-aineiden tilauksissa ja toimituksissa, mikä vähentää ylivarastointia ja materiaalihukkaa (Wang ym. 2020). Tämän ansiosta yritykset voivat hallita resurssiaan tehokkaammin ja välttää tarpeettomia tuotantokatkoksia tai raaka-aineiden ylikäyttöä. Toinen merkittävä älysovimusten tarjoama etu on toimitusketjun optimointi skaalautuvilla ja hajautetuilla lohkokejuratekniikoilla. Tutkimukset ovat osoittaneet, että älysovimusten tehokas hyödyntäminen voi lisätä lohkokejuna suorituskykyä ja vähentää energiankulutusta, mikä tukee kestävämpiä toimitusketjuratekniikoita (Meneghetti ym. 2019). Lisäksi hajautettu lohkokejunaarkkitehtuuri mahdollistaa sen, että kaikki toimitusketjun osapuolet voivat

reaaliajassa seurata ja hallita tavaroiden liikkeitä, edistäen resurssien tehokasta käyttöä ja vähentäen toimitusviiveistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

Energiatehokkuuden parantaminen on myös keskeinen osa toimitusketjun resurssien tehokasta hyödyntämistä. Bai & Sarkis (2020) ovat osoittaneet lohkoketjuteknologian mahdollistavan toimitusketjun eri vaiheiden energiankulutuksen reaaliaikaisen seurannan, mikä auttaa tunnistamaan energiatehottomia prosesseja ja kohdistamaan parannustoimenpiteitä oikeisiin kohtiin. Energiankulutusta voidaan optimoida ennakoivan analytiikan avulla, jolloin tuotantoprosessit voidaan mukauttaa reaaliaikaiseen kysyntään (Kundavaram, 2022).

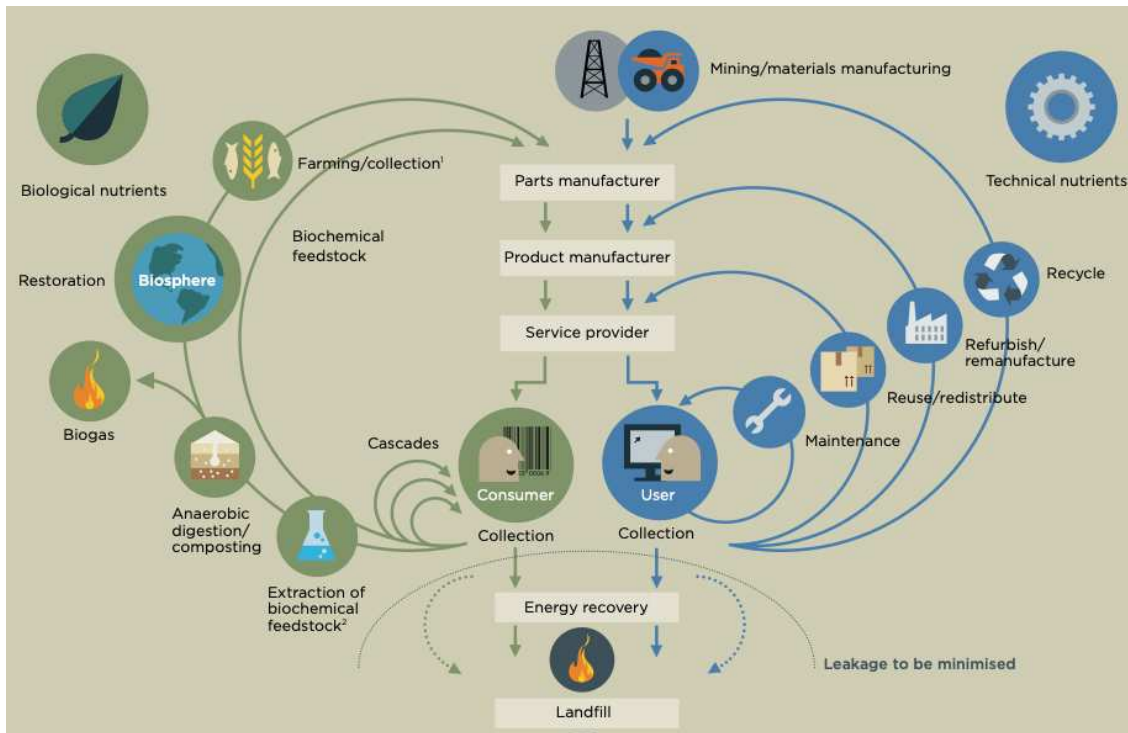
Kiertotalouden periaatteiden integrointi

Kiertotalouden periaatteiden integrointi toimitusketjuun on noussut keskeiseksi osaksi yrityksen pyrkimyksissä vähentää liiketoimintansa ympäristövaikutuksia ja pyrkiessä edistämään vastuullisia toimintatapoja. Toisin kuin perinteisessä, lineaarisessa talousmallissa, jossa resurssit kulutetaan ja muutetaan jätteeksi, kiertotaloudessa keskitytään materiaalien ja tuotteiden arvon säilyttämiseen mahdollisimman pitkään. Lineaarisen mallin on myös todettu lisäävän yritysten alttiutta riskeille, kuten resurssien hintojen nousulle ja toimituskatkoksille. (MacArthur Foundation, 2013.) Geng ja Doberstein (2008) määrittelevät kiertotalouden olevan materiaalien suljetun kierron toteuttamista koko talousjärjestelmässä.

Kiertotalouden periaatteiden soveltaminen toimitusketjussa edellyttää siis muutosta perinteisestä lineaarisesta mallista kohti suljettua järjestelmää, jossa materiaalit ovat käytössä mahdollisimman pitkään. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi kierrätettyjen materiaalien suosimista, tuotteiden suunnittelua uudelleenkäyttöä ja kierrätystä varten sekä jätteen minimoimista toimitusketjun kaikissa vaiheissa. Keskeisinä toimintatapoina pidetään muun muassa tuotesuunnittelua, jossa tuotteiden osia voidaan korjata ja vaihtaa, sekä biopohjaisten ja hajoavien materiaalien käyttöä, jotka vähentävät tuotteiden aiheuttamaa ympäristökuormitusta elinkaarensa lopussa. (MacArthur Foundation, 2013.)

Geissdoerferin ym. (2017) mukaan kiertotalouden periaatteiden integrointi toimitusketjuun vaatii tiivistä yhteistyötä toimitusketjun kaikkien osapuolten välillä.

Esimerkiksi toimittajien kanssa yhteistyössä tehtävä suunnittelu voi varmistaa, että tuotteet ja materiaalit täyttävät halutut kiertotalouden kriteerit.



Kuvio 5: Kiertotalouden viitekehys (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Kuviossa havainnollistetaan kiertotalouden prosessia, joka kattaa materiaalien elinkaaren vaiheet aina raaka-aineiden louhinnasta kierrätykseen ja jätteiden käsittelyyn. Prosessi korostaa kiertotalouden periaatteiden mukaista jatkuvaa resurssien kiertoa, jossa pyritään minimoimaan materiaalien hukkaamista ja edistämään materiaalien hyödyntämisastetta. Kiertotalouden mallissa materiaalien elinkaari ei pääty käyttöön ja hävittämiseen, vaan painopiste on tuotteiden uudelleenkäytössä, korjaamisessa ja kierrättämisessä, mikä vähentää ympäristökuormitusta ja luonnonvarojen kulutusta (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Lohkoketjuteknologian mahdollisuudet kiertotalouden tukemisessa ovat merkittäviä, sillä teknologia tarjoaa uudenlaisia keinoja materiaalien jäljitettävyyden, resurssitehokkuuden ja kestävän kehityksen edistämiseen (Saberri ym. 2019). Kiertotalouden tavoitteena on minimoida jätteen synty ja varmistaa, että materiaalit ja tuotteet pysyvät käytössä mahdollisimman pitkään (Geissdoerfer ym. 2017). Lohkoketjuteknologia voi auttaa tässä pyrkimyksessä tarjoamalla läpinäkyvän, turvallisen ja muuttumattoman tavan seurata materiaalivirtoja ja tuotantoketjuja (Yoo ym. 2020).

Yksi kiertotalouden keskeisistä haasteista on materiaalien ja tuotteiden jäljitettävyyden koko niiden elinkaaren ajan. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa tuotteiden alkuperän ja elinkaaren eri vaiheiden tallentamisen hajautettuun ja muuttumattomaan tietokantaan, mikä parantaa tuotteiden kierrätettävyyttä ja uusiokäyttömahdollisuuksia (Upadhyay ym. 2021). Lohkoketjuteknologian mahdollistama läpinäkyvä raportointi ja datan analysointi tukevat kiertotalouden periaatteiden vahvistamista, sillä niiden avulla voidaan tunnistaa materiaalivirrat, jotka voidaan kierrättää tai uudelleenkäyttää tehokkaammin (Mora ym. 2021).

Jätteenhallinta on yksi kiertotalouden peruspilareista, ja lohkaketjuteknologia voi auttaa tässä luomalla reaaliaikaisen ja läpinäkyvän järjestelmän jätteen syntymisen, käsittelyn ja kierrätyksen seuraamiseksi (Khan ym. 2021). Tämä auttaa yrityksiä ja viranomaisia varmistamaan, että jätteen käsittely tapahtuu säästöjen mukaisesti ja että kierrätettävät materiaalit päätyvät oikeisiin kohteisiin. Lohkoketjuteknologia voi myös edistää kiertotaloutta luomalla taloudellisia kannustimia kierrätykseen ja uudelleenkäyttöön. Howsonin (2021) mukaan esimerkiksi lohkaketjuun ohjelmoidut token-pohjaiset järjestelmät ja älysopimukset voivat mahdollistaa yritysten ja kuluttajien palkitsemisen kiertotaloutta tukevista toimista, kuten tuotteiden palauttamisesta kierrätykseen tai uudelleenkäyttöjärjestelmään.

Useat yritykset ja organisaatiot ovat jo alkaneet hyödyntää lohkaketjuteknologiaa kiertotalouden tukemisessa. Esimerkiksi muovijätteen kierrätykseen erikoistuneet startup-yritykset ovat luoneet lohkaketjuun pohjautuvia järjestelmiä, joissa kuluttajat voivat seurata kierrättämänsä muovin kulkua ja saada palkkioita kierrätystoiminnasta (Sharma ym. 2020). Samoin elektroniikkateollisuudessa lohkaketjun avulla voidaan varmistaa, että harvinaiset maametallit ja muut arvokkaat raaka-aineet palautuvat kiertoon eivätkä päädy sekajätteeksi (Casino ym. 2019).

Kuljetusketjun optimointi ja vähähiiliset kuljetusmuodot

Lohkoketjuteknologian avulla yritykset voivat seurata kuljetuskalustonsa päästöjä reaaliajassa ja varmistaa, että yhteistyökumppanit noudattavat sovittuja ympäristökriteereitä. Tämä läpinäkyvyys mahdollistaa sen, että kuljetuspalvelujen tarjoajat voivat hyödyntää lohkaketjussa varmennettuja päästöraportteja, jotka tukevat vastuullisuusvaatimuksia ja helpottavat ympäristösertifikaattien hankintaa (Yerram, 2022) Esimerkiksi hiilineutraalien kuljetuspalveluiden käyttö voidaan integroida osaksi

toimitusketjun automatisoitua päätöksentekoa, jolloin tilausten käsittely painottaa vastuullisia vaihtoehtoja. Älysopimusten avulla voidaan automatisoida sopimusehtoja, joissa suositaan vähäpäästöisiä kuljetusratkaisuja, kuten sähköajoneuvoja, biopolttoaineita tai intermodaalisia kuljetuksia, joissa yhdistetään esimerkiksi raide- ja merikuljetukset vähentämään hiilidioksidipäästöjä (Jumagaliyeva, 2024).

Lohkoketjun ja älysopimusten avulla voidaan myös luoda taloudellisia kannustimia, jotka ohjaavat yrityksiä ja logistiikkaoperaattoreita suosimaan ympäristöystävällisiä kuljetusmuotoja. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen seuranta ja automaattiset hyvitysjärjestelmät voivat mahdollistaa yrityksille päästökompensointien toteuttamisen reaaliajassa, mikä kannustaa siirtymään kohti vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja (Jumagaliyeva, 2024). Lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää yhdessä muiden kehittyneiden teknologioiden kanssa, kuten tekoälyn ja esineiden internetin (IoT), jolloin toimitusketjun kestävyyttä voidaan edelleen parantaa. Esimerkiksi IoT-antureiden keräämää dataa voidaan hyödyntää lohkoketjussa, jolloin kuljetusten reaaliaikainen seuranta mahdollistaa ennakoivamman ja tehokkaamman logistiikan suunnittelun. (Meneghetti ym. 2019.) Tämä voi johtaa entistä parempiin päätöksiin kuljetusmuotojen valinnassa ja auttaa vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä kuljetusketjuissa.

3.2 Lohkoketjuteknologia & toimitusketjun sosiaalinen vastuullisuus

McKensien (2004) mukaan toimitusketjun sosiaalinen vastuullisuus toteutuu, kun yritykset edistävät nykyisten ja tulevien sukupolvien taitojen ja kyvykkyyksien säilyttämistä ja kehittämistä sekä edistävät terveyttä ja tukevat sekä tasa-arvoista että demokraattista kohtelua niin yrityksen sisällä kuin sen ulkopuolellakin. Sosiaalinen vastuullisuus on keskeinen osa vastuullista toimitusketjujen hallintaa, mutta jää usein vähemmälle huomiolle ympäristölliseen ja taloudelliseen vastuullisuuteen verrattuna (Bubicz ym. 2021). Etenkin sosiaalisen vastuullisuuden mittaamisen vaikeus verrattuna taloudelliseen ja ympäristölliseen suorituskyykyyn tekee siitä TBL-mallin eniten laiminlyödyn osa-alueen (McKensie, 2004).

Sosiaalinen vastuullisuus kattaa muun muassa tekijöitä kuten työntekijöiden oikeudet, turvalliset työolot, työehtojen reilun ja laajemmassa mittakaavassa yhteisöjen hyvinvoinnin tukemisen (Mani ym. 2018). Yhä useammat yritykset pyrkivät sisällyttämään sosiaalisen vastuullisuuden periaatteita toimitusketjujen hallintaan paitsi

eettisten tavoitteiden saavuttamiseksi myös asiakkaiden ja sidosryhmien kasvavien odotusten täyttämiseksi (Alghababsheh & Gallear, 2022) Esimerkiksi työolosuhteiden parantaminen ja lapsityövoiman käytön ehkäiseminen ovat olleet keskeisiä tavoitteita globaalien toimitusketjujen vastuullisuuden kehittämisessä (Hutchins & Sutherland, 2008).

Sosiaalisen vastuullisuuden toteuttaminen toimitusketjuissa on usein monimutkainen ja haastava tehtävä, joka edellyttää tiivistä yhteistyötä yritysten, toimittajien, asiakkaiden ja muiden sidosryhmien välillä. Sosiaalisen vastuullisuuden tavoitteet voivat vaihdella laajuudeltaan ja painopisteiltään, mutta keskeisiä teemoja ovat muun muassa työntekijöiden oikeuksien turvaaminen, turvallisten ja inhimillisten työolojen varmistaminen sekä paikallisyhteisöjen tukeminen toimitusketjun vaikutusalueilla. (Morais & Silvestre, 2018.) Erityisesti globaalit toimitusketjut kohtaavat haasteita, kuten työvoiman hyväksikäyttöä, lapsityövoiman käyttöä ja alihankintaverkostojen heikkoa valvontaa. Näitä ongelmia pahentavat usein puutteelliset läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden mekanismit, mikä vaikeuttaa eettisten standardien noudattamisen valvontaa toimitusketjun kaikilla tasoilla. (Mani ym. 2018.) Esimerkiksi tekstiiliteollisuudessa alihankintaketjut voivat sisältää lukuisia toimittajia, mikä tekee esimerkiksi työolosuhteiden ja palkkaehtojen valvonnasta haastavaa.

Yritykset, jotka omaksuvat sosiaalisen vastuullisuuden periaatteita osaksi toimitusketjujaan, voivat saavuttaa merkittäviä etuja paitsi maineensa myös taloudellisen suorituskykynsä kannalta (Duong, 2022). Tutkimukset ovat osoittaneet, että vastuullisuusaloitteet, kuten työntekijöiden koulutuksen tukeminen, työolosuhteiden parantaminen ja reilun kaupan standardien noudattaminen, voivat johtaa korkeampaan tuottavuuteen ja vahvempaan asiakasuskollisuuteen (Mani ym. 2018). Sosiaalisen vastuullisuuden onnistunut toteutus edellyttää kuitenkin selkeiden standardien, valvontajärjestelmien ja mittareiden luomista, jotta yritykset voivat arvioida omaa ja toimittajiensa vastuullisuutta. Yhteistyö kolmansien osapuolten, kuten kansalaisjärjestöjen ja paikallisyhteisöjen, kanssa voi tarjota arvokasta tukea näiden tavoitteiden saavuttamisessa. (Bubicz ym. 2021.)

Työolojen ja ihmisoikeuksien seuranta

Globaalit toimitusketjut ovat usein monimutkaisia ja hajautettuja, mikä tekee työolojen ja ihmisoikeuksien valvonnasta haastavaa. Monet yritykset kohtaavat vaikeuksia jäljittää

toimitusketjujaan riittävän tarkasti varmistaakseen, että alihankkijat ja toimittajat noudattavat kansainvälisiä työstandardeja. Erityisesti kehittyvissä maissa työvoiman hyväksikäyttö, lapsityövoima ja riittämättömät työolosuhteet ovat jatkuvia ongelmia (LeBaron, 2020).

Lohkoketjuteknologian hajautettu ja muuttumaton luonne tarjoaa mahdollisuuksia edistää toimitusketjujen läpinäkyvyyttä ja mahdollistaa työntekijöiden oikeuksien paremman seurannan. Lohkoketjuteknologian avulla voidaan tallentaa ja seurata työvoiman hyväksikäyttöön ja työoloihin liittyviä tietoja luotettavasti. Koska lohkaketjuun tallennettuja tietoja ei voida muuttaa jälkikäteen, se vähentää mahdollisuuksia manipulointiin ja korrupioon, jotka ovat keskeinen ongelma perinteisissä valvontajärjestelmissä. (Saber ym. 2019.) Tuotantolaitosten työolosuhteista voidaan kerätä tietoa esimerkiksi IoT-laitteilla ja tallentaa ne lohkaketjuun, jolloin tiedot ovat reaaliaikaisia ja varmennettuja (Kouhizadeh & Sarkis, 2018). Lisäksi tiedon jakaminen luotettavasti kolmansille osapuolille, kuten regulaattoreille, helpottuu. Työntekijöiden olosuhteita valvovat riippumattomat sertifiointiorganisaatiot voivat tallentaa auditointiraporttinsa lohkaketjuun, mikä vähentää väärinkäytöksiä ja antaa sidosryhmille mahdollisuuden tarkastella tietoja luotettavasti (Kim & Laskowski, 2018).

Työntekijöiden oikeuksien rikkomuksia, kuten alipalkkausta tai laittomia työoloja, on perinteisesti ollut vaikea tunnistaa toimitusketjuissa (Shbikat, 2021), mutta lohkaketjuteknologia voi tarjota ratkaisuja tähän haasteeseen. Palkanmaksun läpinäkyvyys voidaan varmistaa tallentamalla palkkatiedot lohkaketjuun, jolloin työntekijöille maksettavat palkat ovat oikea-aikaisia, ja heidän ansaitsemansa korvaus ohjautuu suoraan heille ilman välikäsiä tai hyväksikäytön mahdollisuutta (Treiblmaier, 2018). Lisäksi lohkaketjun avulla voidaan tallentaa työntekijöiden työhistoriaa ja työsopimuksia, mikä parantaa rekrytointikäytäntöjen avoimuutta ja estää epäeettiset toimintatavat, kuten pakkotyövoiman käytön (Hughes ym. 2019). Tämän lisäksi lohkaketjupohjaiset sovellukset voivat tarjota turvallisen ja anonyymien tavan ilmoittaa väärinkäytöksistä työpaikoilla, mikä vahvistaa valvontaa ja tuo esiin epäeettisiä käytäntöjä, joita muuten olisi vaikea havaita (Kshetri, 2021).

Edellä mainitut ominaisuudet osoittavat lohkaketjuteknologian potentiaalin toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden edistämisessä. Keskeisimpinä ominaisuuksina

ovat lohkoketjun tarjoama läpinäkyvyys, jäljitettävyys ja muuttumattomuus, jotka edistävät esimerkiksi työntekijöiden oikeuksia ja parantavat tiedon luotettavuutta.

Korruption ja epäeettisten käytäntöjen ehkäisy

Lohkoketjuteknologian hajautettu ja muuttumaton luonne mahdollistaa sen, että kaikki toimitusketjun tapahtumat tallennetaan pysyvästi ja läpinäkyvästi, estäen tietojen manipuloinnin jälkikäteen. Tämä tekee vilpillisestä toiminnasta vaikeampaa ja parantaa vastuuvollisuutta toimitusketjun jokaisessa vaiheessa. (Roy ym. 2019.)

Sulle ja Manjula (2024) osoittivat tapaustutkimuksessaan, että Ugandan puolustusvoimat (UPDF) pystyi vähentämään korruptiota ja parantamaan logistiikan vastuullisuutta ottamalla käyttöön lohkoketjuun perustuvan järjestelmän, jossa jokainen hankinta ja toimitusvaihe kirjattiin muuttumattomasti järjestelmään. Myös tutkimuksessa Ghanan maatalous- ja kaakaosektorilta havaittiin, että lohkoketjuteknologian käyttöönotto lisäsi toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja vähensi epäeettisiä käytäntöjä. Yritykset, jotka hyödynsivät lohkoketjuteknologiaa, osoittivat korkeampaa sitoutumista eettisiin hankintakäytäntöihin ja vastuulliseen toimintaan kuin yritykset, jotka eivät ottaneet teknologiaa käyttöön (Ibrahim ym, 2024).

Sosiaalisen vastuullisuuden raportointi ja sidosryhmien luottamus

Lohkoketjuteknologian avulla raportointitietoa voidaan tallentaa hajautettuun, muuttumattomaan ja julkisesti tarkasteltavissa olevaan tietokantaan, mikä vähentää tietojen manipuloinnin riskiä ja parantaa tiedon aitouden varmistamista. Esimerkiksi Pizzi ym. (2022) ovat osoittaneet, että julkisen lohkoketjun hyödyntäminen sosiaalisen vastuullisuusraportoinnin todentamisessa voi vähentää informaation epäsymmetriaa organisaatioiden ja sidosryhmien välillä, vahvistaen näin sidosryhmien luottamusta raportoituun tietoon. Myös Seretakis ja Mezzanotte (2023) nostavat esiin, että erityisesti CSRD asettaa yrityksille vaatimuksia raportoida sosiaaliseen vastuuseen liittyvistä vaikutuksista myös epäsuorien alihankintaketjujen osalta. Tämä korostaa tarvetta teknologisille ratkaisuille, kuten lohkoketjuteknologialle, joka voi tukea ja tehostaa tiedon keruuta, todentamista ja raportointia monitasoisissa toimitusketjuissa (Seretakis & Mezzanotte, 2023).

Lohkoketjun mahdollistama läpinäkyvä ja jäljitettävä tiedonhallinta voi myös osaltaan vähentää viherpesun riskiä, kun yritysten on entistä vaikeampi antaa harhaanjohtavaa tai

valikoitua kuvaa vastuullisuustoimistaan. Näin ollen lohkoketeknologia ei ainoastaan tehosta raportointia, vaan tukee myös yritysten vastuullisuusviestinnän uskottavuutta sidosryhmien silmissä.

3.3 Lohkoketjuteknologia & toimitusketjun taloudellinen vastuullisuus

TBL-viitekehyksen taloudellinen ulottuvuus viittaa organisaation liiketoimintakäytäntöjen vaikutukseen talousjärjestelmään (Elkington, 1997). Se liittyy talouden kykyyn, yhtenä vastuullisuuden osa-alueista, selviytyä ja kehittyä tulevaisuudessa tukemaan tulevia sukupolvia (Spangenberg, 2005). Taloudellinen ulottuvuus yhdistää organisaation kasvun talouden kasvuun ja siihen, kuinka hyvin se tukee talouden kehittymistä. Toisin sanoen se keskittyy organisaation tarjoamaan taloudelliseen arvoon ympäröivälle järjestelmälle tavalla, joka edistää sen vaurastumista ja tukee sen kykyä palvella tulevia sukupolvia. (Lee & Mao, 2015.)

Lohkoketjuteknologia tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia toimitusketjun prosessien tehostamiseen tarjoamalla hajautetun ja muuttumattoman tilikirjan tavaroiden seurannalle. Lohkoketjuteknologia varmistaa läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden, mahdollistaen reaaliaikaisen näkyvyyden tuotteiden liikkeisiin toimitusketjussa. Automatisoimalla transaktiot ja vähentämällä välikäsien tarvetta lohkoketju pienentää hallinnollisia kustannuksia ja minimoi viiveitä. (Ran, Shi & Geng, 2024.)

Kuljetusketjun optimointi & toimitusketjun prosessien tehostaminen

Kuljetusketjujen optimointi on keskeinen osa toimitusketjun hallintaa. Tavoitteena on parantaa resurssien käyttöä, vähentää kustannuksia ja pienentää ympäristövaikutuksia. Optimoimalla kuljetusketjuja voidaan vähentää tarpeettomia kuljetuksia, parantaa lastauskapasiteetin hyödyntämistä ja lyhentää toimitusaikoja, mikä johtaa tehokkaampaan ja kestävämpään logistiikkaan (McKinnon, 2018). Yksi merkittävä haaste kuljetusketjujen optimoinnissa on toimitusketjun eri osapuolten välinen tiedonkulku, joka on usein hajanaista ja epäluotettavaa, mikä voi johtaa viivästyksiin, ylimääräisiin kustannuksiin ja tehottomuuksiin (Sternberg & Andersson, 2014).

Lohkoketjuteknologia tarjoaa potentiaalisen ratkaisun kuljetusketjujen optimointiin parantamalla tiedon jakamista ja hallintaa hajautetussa ja muuttumattomassa järjestelmässä. Koska lohkoketju mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon tallennuksen ja jakamisen kaikille toimitusketjun osapuolille, se vähentää tietokatkoja ja parantaa

toimitusten ennakoitavuutta (Queiroz ym. 2019). Lohkoketjuun voidaan esimerkiksi kirjata tarkkaa ja luotettavaa tietoa kuljetusten lähtö- ja saapumisajoista, reiteistä, lämpötilaseurannasta ja mahdollisista viivästyksistä, mikä helpottaa reittien ja aikataulujen optimointia (Wang ym. 2020).

Ran ym. (2024) tutki lohkoketjuteknologian potentiaalia kuljetusketjun optimoinnissa. Tutkimuksessa esiin nousseita hyötyjä olivat muun muassa:

- Lohkoketjuteknologian tarjoama mahdollisuus kuljetusketjujen automatisointiin ja hajauttamiseen edistää tehokkuutta ja vähentää hallinnollisia kustannuksia
- Potentiaalia tehostaa tiedonhallintaa
- Lohkoketjuteknologian yhdistäminen muiden teknologioiden, kuten IoT:n kanssa voi edistää toimitusketjun automaatiota ja hajautettua tiedonhallintaa.

Ran ym. (2024) osoittivat tutkimuksessaan lohkoketjuteknologian implementoinnin parantavan toimitusten tehokkuutta 15 %, vähentävän varastohallintavirheitä 12 % ja tehostavan petosten torjuntamekanismeja 20 %. Kuljetusreittien optimointi parani 18 %, mikä johti korkeampiin asiakastyytyväisyysasteisiin ja kokonaisvaltaiseen hallinnolliseen tehokkuuteen. Lisäksi tietoturva kehittyi, vähentäen tietomurtojen esiintymistä 25 %.

Nämä luvut korostavat lohkoketjuteknologian merkittävää potentiaalia toimitusketjun hallinnan ja logistiikan tehostamisessa. Toimitusten tehokkuuden 15 prosentin parannus tarkoittaa nopeampia läpimenoaikoja ja parempaa toimitusvarmuutta, mikä voi vähentää viivästyksistä aiheutuvia kustannuksia ja parantaa asiakaskokemusta. Vastaavasti varastohallintavirheiden väheneminen 12 prosentilla auttaa optimoimaan varastointiprosesseja ja ehkäisemään ylivarastointia tai toimituskatkoksia, mikä tukee kustannustehokkuutta ja resurssien parempaa hallintaa. Petosten torjunnan tehostuminen 20 prosentilla osoittaa, että lohkoketjun muuttumattomuus ja hajautettu tietojen hallinta voivat vähentää väärinkäytöksiä ja lisätä toimitusketjun läpinäkyvyyttä. Reittien optimoinnin 18 prosentin parannus puolestaan vähentää turhia ajokilometrejä, pienentää polttoainekustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä, mikä tukee sekä taloudellista että ympäristöllistä vastuullisuutta.

Lohkoketjuun ohjelmoiduilla älysovimuksilla voidaan automatisoida monia toimitusketjun hallintaan liittyviä prosesseja, kuten maksujen suorittamista, tulliselvityksiä ja toimitusvahvistuksia, mikä vähentää hallinnollisia kuluja ja nopeuttaa toimituksia (Kshetri, 2018). Lisäksi lohkaketjuteknologian avulla voidaan varmistaa, että toimitusketjun eri toimijat noudattavat ympäristömääräyksiä, esimerkiksi seuraamalla hiilidioksidipäästöjä reaaliajassa ja optimoimalla reittejä niin, että ne kuluttavat mahdollisimman vähän polttoainetta (Saber ym. 2019). Myös Zhu ym. (2024) osoittivat älysovimusten hyödyntämisen mahdollistavan kuljetusyhteistyön automatisoinnin ja ohjelmitavuuden, parantaen luottamusta ja tehokkuutta osapuolten välillä sekä vähentää yhteistyön aikana syntyviä kiistoja ja erimielisyyksiä.

Lohkoketjun hyödyntäminen kuljetusketjujen optimoinnissa ei siis ainoastaan mahdollista parempaa tehokkuutta ja kustannussäästöjä, vaan saattaa myös edistää toimitusketjun vastuullisuutta tarjoamalla tarkkaa, läpinäkyvää ja varmennettua tietoa kuljetusprosessien ympäristövaikutuksista. Tämä mahdollistaa paremman päätöksenteon niin yrityksille kuin sidosryhmillekin, edistäen samalla kestävästä kehitystä ja ympäristötavoitteiden saavuttamista.

Välikäsien eliminointi ja transaktiokustannusten pienentäminen

Lohkoketjuteknologian yksi merkittävimmistä potentiaalisista vaikutuksista toimitusketjuissa on sen kyky vähentää välikäsien tarvetta ja pienentää transaktiokustannuksia (Schmidt & Wagner, 2019). Perinteiset toimitusketjumallit nojaavat usein useisiin kolmansien osapuolten palveluihin, kuten pankkeihin, varmentajiin ja muihin välittäjiin, jotka takaavat transaktioiden turvallisuuden ja luotettavuuden (Xu, 2009). Tämä voi kuitenkin lisätä kustannuksia, monimutkaistaa prosesseja ja aiheuttaa viivästyksiä. Lohkoketju tarjoaa hajautetun ja muuttumattoman kirjanpitolatologian, joka mahdollistaa suorat ja luotettavat transaktiot osapuolten välillä ilman, että ulkopuolinen toimija on tarpeen varmentamaan transaktioiden eheyttä. (Schmidt & Wagner, 2019.)

Lohkoketjun kyky tallentaa tietoa muuttumattomasti ja läpinäkyvästi on erityisen hyödyllinen toimitusketjujen hallinnassa, sillä se voi vähentää tiedon väärentämisen riskiä ja parantaa luottamusta eri toimijoiden välillä. Wu & Yu (2024) osoittavat tutkimuksessaan, että lohkaketjuteknologian käyttöönotto voi merkittävästi vähentää informaation epäsymmetriaa, mikä puolestaan vähentää tarvetta kolmansille osapuolille

varmennus- ja tarkastustehtävissä. Kun kaikki toimitusketjun osapuolet voivat tarkastella reaaliaikaista ja muuttumatonta dataa, transaktioihin liittyvä epävarmuus pienenee ja liiketoimintaprosessit voidaan automatisoida tehokkaammin.

Älyopimukset ovat keskeinen mekanismi, jonka avulla lohkoketju voi vähentää transaktiokustannuksia ja välikäsien tarvetta. Arshadin ym. (2023) tutkimus osoittaa, että älyopimukset mahdollistavat automaattisen kaupankäynnin ilman erillisiä rahoituslaitoksia tai oikeudellisia välikäsiä, mikä nopeuttaa prosesseja ja vähentää kustannuksia. Perinteisesti sopimusten toteutus toimitusketjuissa vaatii monivaiheisen tarkastusprosessin, joka sisältää useita osapuolia ja manuaalista työtä. Älyopimuksilla voidaan automatisoida nämä vaiheet ja varmistaa, että maksut, toimitukset ja tavaravaihdot toteutuvat ainoastaan ennalta määritettyjen ehtojen täytyessä. (Raj ym. 2022.)

Toimitusketjun rahoitus on yksi alue, jossa lohkoketjun potentiaali välikäsien eliminoinnissa on merkittävä. Yaksickin (2019) tutkimus käsittelee, kuinka toimitusketjun rahoituksen haasteita voidaan ratkaista lohkoketjuteknologian avulla. Perinteisesti toimitusketjun rahoitus vaatii useiden osapuolten – kuten pankkien, vakuutusyhtiöiden ja tilintarkastajien – osallistumista varmistamaan, että rahoitus myönnetään oikeille osapuolille oikeaan aikaan. Lohkoketjun avulla rahoitustransaktiot voidaan tehdä suoraan osapuolten välillä ilman tarvetta keskitetyille välittäjälle, mikä vähentää kustannuksia ja parantaa tehokkuutta. (Yaksickin, 2019.) Schmidtin ja Wagnerin (2019) mukaan lohkoketjun käyttöönotto voi myös vähentää hallinnollisia kuluja toimitusketjun hallinnassa. Perinteiset transaktiot vaativat usein moninkertaisia asiakirjatarkastuksia ja manuaalisia varmennuksia, jotka lisäävät byrokratiaa ja pidentävät toimitusaikoja. Lohkoketjun muuttumattomuus ja hajautettu tietovarasto mahdollistavat dokumenttien välittömän tarkistuksen ja varmentamisen kaikille toimitusketjun osapuolille, mikä nopeuttaa prosesseja ja vähentää virheiden määrää. (Schmidt & Wagner, 2019.)

Lohkoketjuteknologian kyky tarjota läpinäkyvä, muuttumaton ja reaaliaikainen tietojärjestelmä mahdollistaa paremman päätöksenteon, vähentää manuaalista työtä ja siten tehostaa prosesseja sekä poistaa tarpeen useille välikäsille. Tämä ei ainoastaan alenna kustannuksia ja nopeuta toimitusketjun prosesseja, vaan tukee myös kestäväää

kehitystä mahdollistamalla resurssitehokkuuden ja ympäristövaikutusten tarkemman hallinnan.

3.4 Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä

3.4.1 Jäljitettävyys

Jäljitettävyydellä tarkoitetaan kykyä seurata ja jäljittää tietoa tai tuotteita. Toimitusketjujen kontekstissa jäljitettävyydellä tarkoitetaan kykyä päästä käsiksi yksityiskohtaiseen tietoon kaikesta, mikä kuuluu osaksi toimitusketjua. Tarkemmin, jäljitettävyys toimitusketjussa voidaan määritellä kyvyksi tarkastella mitä, miten, missä, miksi ja milloin jokin tuote liikkuu toimitusketjussa. (Aung & Chang, 2014.) Jäljitettävyuden parantaminen lisää toimitusketjun läpinäkyvyyttä. Perinteiset, keskitetyt jäljitettävyysratkaisut eivät kuitenkaan ole ihanteellisia toimitusketjuissa, sillä ne altistuvat monille eri ongelmille, kuten tietojen manipuloinnille. Lisäksi keskitetyt jäljitettävyysratkaisut ovat yhden toimijan varassa. (Sunny ym. 2020.)

Perinteiset jäljitettävyysjärjestelmät kärsivät usein tiedon hajanaisuudesta, epäluotettavuudesta ja läpinäkyvyyden puutteesta, mikä tekee vastuullisuuden ja eettisten standardien noudattamisen valvomisesta haastavaa (Khairunnisa ym. 2024). Lohkoketjun hajautettu ja muuttumaton tietorakenne tarjoaa potentiaalisen ratkaisun näihin haasteisiin. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa koko toimitusketjun tapahtumien dokumentoinnin, varmentamisen ja reaaliaikaisen seurannan yhdellä alustalla, mikä lisää sekä tiedon läpinäkyvyyttä että luotettavuutta. (Hald & Kinra, 2019.) Lisäksi lohkoketju voi parantaa toimitusketjun riskienhallintaa ja ehkäistä petoksia luomalla pysyvän tallenteen tuotteiden alkuperästä, siirroista ja käsittelystä (Morkunas ym. 2019). Näiden ominaisuuksiensa ansiosta lohkoketjuteknologia edistää muun muassa toimitusketjun sosiaalista vastuullisuutta tarjoamalla luotettavan alustan esimerkiksi tuotteiden alkuperän tarkasteluun.

Lohkoketjuteknologian avulla voidaan myös luoda saumaton tiedon jakamisen infrastruktuuri toimitusketjun eri toimijoiden välillä. Tämä lisää toimitusketjun kokonaisvaltaista näkyvyyttä ja mahdollistaa vastuullisuuden valvonnan kaikissa toimitusketjun vaiheissa, aina raaka-aineiden hankinnasta valmiiden tuotteiden jakeluun. (Sunny ym. 2020.)

3.4.2 Läpinäkyvyys

Toimitusketjun läpinäkyvyydellä tarkoitetaan sitä, missä määrin kaikki toimitusketjun sidosryhmät jakavat yhteisen ymmärryksen ja pääsyn pyytämäänsä tietoon ilman tietojen katoamista, häiriöitä, viiveitä tai vääristymiä (Hofstede, 2007). Läpinäkyvyyden merkitys korostuu erityisesti monimutkaisissa globaaleissa toimitusketjuissa, joissa tuotteiden alkuperän ja tuotantoketjun selvittäminen voi olla haastavaa. Perinteiset järjestelmät, kuten yritysten omat tietokannat tai keskitetyt toimitusketjun hallintajärjestelmät, ovat alttiita tietojen manipuloinnille ja väärentämiselle (Casino ym. 2019). Lohkoketjuteknologian avulla voidaan pyrkiä vastaamaan näihin haasteisiin, sillä kaikki toimitusketjun tapahtumat voidaan kirjata hajautettuun ja muuttumattomaan pääkirjaan, jolloin tietojen manipulointi tai hävittäminen jälkikäteen on käytännössä mahdotonta.

Lohkoketjuteknologian avulla voidaan varmistaa, että tuotteet on valmistettu vastuullisesti ja että ne täyttävät kansainväliset vastuullisuusstandardit ja sertifikaatit (Kshetri, 2021). Esimerkiksi reilun kaupan tuotteiden alkuperän todentaminen voi olla haasteellista, jos toimitusketjun eri vaiheiden tietoja ei voida helposti yhdistää. Lohkoketju mahdollistaa kaikkien toimitusketjun osapuolten pääsyn samoihin tietoihin, mikä helpottaa eettisten ja vastuullisten hankintakäytäntöjen todentamista. Lohkoketjuteknologian avulla voidaan myös parantaa toimitusketjun sidosryhmien välistä luottamusta ja yhteistyötä. Koska kaikki toimitusketjun osapuolet voivat tarkastella samaa, muuttumatonta tietoa, epäluottamus ja tiedon vääristymisestä johtuvat erimielisyydet vähenevät. Tämä voi helpottaa sopimusneuvotteluja, toimitusketjun optimointia ja resurssien tehokkaampaa kohdentamista. (Wang ym. 2020.)

Toimitusketjun parempi läpinäkyvyys voi auttaa vastaamaan yhä tiukentuviin sääntelyvaatimuksiin. Esimerkiksi EU:n vastuullisuusraportointidirektiivi (CSRD) edellyttää yrityksiä raportoimaan entistä yksityiskohtaisemmin toimintansa ympäristöllisistä ja sosiaalisista vaikutuksista (European Commission, 2022). Lohkoketju voi helpottaa tätä prosessia tarjoamalla automaattisesti vahvistettavan ja jäljitettävän tietopohjan yritysten raportointivaatimusten täyttämiseksi.

Lohkoketjuteknologian mahdollistama läpinäkyvyys edistää myös kuluttajien mahdollisuuksia tehdä vastuullisempia valintoja. Kun kuluttajat voivat helposti tarkistaa tuotteen alkuperän, valmistusolosuhteet ja vastuullisuuteen liittyvät sertifikaatit lohkoketjussa, heillä on paremmat mahdollisuudet tehdä tietoon perustuvia

kulutus päätöksiä (Francisco & Swanson, 2018). Tämä lisää yritysten motivaatiota investoida vastuullisuuteen ja varmistaa toimitusketjun läpinäkyvyys.

Paremmalla toimitusketjun läpinäkyvyydellä voidaan ehkäistä epäeettisiä liiketoimintakäytäntöjä, kuten lapsityövoiman käyttöä, epäinhimillisiä työoloja ja harmaata taloutta. Kun tuotantoprosesseista ja toimitusketjun vaiheista tallennetaan tietoa lohkoketjuun, yritysten on vaikeampi piilotella mahdollisia vastuuttomia käytäntöjä. Tämä voi myös kannustaa yrityksiä kehittämään kestävämpiä ja eettisempiä toimintamalleja, koska kuluttajilla, sijoittajilla ja sääntelyviranomaisilla on parempi pääsy toimitusketjun tietoihin.

3.4.3 Muuttumattomuus

Muuttumattomuus luo pohjan vastuulliselle ja luotettavalle toimitusketjulle, jossa jokainen toimija voi toimia avoimessa ja todennettavassa ympäristössä (Chowdhury ym 2018). Kun tapahtumat tallennetaan pysyvästi hajautettuun tietokantaan, niiden manipulointi jälkikäteen on käytännössä mahdotonta ilman koko verkoston hyväksyntää. Tämä parantaa merkittävästi toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä, koska jokainen toimitusketjun vaihe voidaan tarkastaa luotettavasti ja reaaliaikaisesti. Tällainen järjestelmä estää tietojen väärentämisen ja helpottaa esimerkiksi alkuperän ja eettisten standardien noudattamisen todentamista. (Roy ym. 2019.) Tämä lisää toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja vähentää riskiä esimerkiksi väärennöksille, petoksille tai eettisten sääntöjen rikkomiselle.

3.4.4 Hajautettu hallinta

Hajautettu hallinta on yksi lohkoketjuteknologian keskeisimmistä ominaisuuksista, ja sillä on merkittävä rooli toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi. Hajautetulla hallinnalla tarkoitetaan sitä, että lohkoketjussa ei ole yhtä keskitettyä hallintoelintä tai keskusviranomaista, joka valvoisi tai hallinnoisi tietoja, vaan kaikki verkoston jäsenet ylläpitävät ja validoivat transaktiot yhdessä (Casino ym. 2019). Tämä tekee järjestelmästä läpinäkyvän, turvallisen ja vastustuskykyisen väärinkäytöksille, sillä yksittäinen taho ei voi yksin manipuloida tai muuttaa tietoja ilman verkoston yhteistä hyväksyntää.

Hajautetun hallinnan keskeinen hyöty toimitusketjujen kontekstissa on se, että se voi vähentää perinteisten toimitusketjujärjestelmien keskitettyihin toimijoihin liittyviä ongelmia, kuten tietojen manipulointia, yksipuolisia päätöksiä ja hallinnollisia

tehottomuuksia (Saberu ym. 2019). Perinteisissä toimitusketjuissa tieto on usein yhden tai muutaman toimijan hallussa, mikä voi johtaa siihen, että muut toimitusketjun jäsenet joutuvat luottamaan näiden tahojen tarjoamaan tietoon ilman varmuutta sen oikeellisuudesta. Lohkoketjuteknologia puolestaan varmistaa, että kaikki verkoston jäsenet voivat tarkastella ja validoida tietoja reaaliajassa, mikä parantaa luottamusta ja tiedonkulun avoimuutta. (Waikar ym. 2022.)

Hajautettu hallinta myös vähentää toimitusketjujen haavoittuvuutta kyberhyökkäyksille ja järjestelmävioille. Keskitetyt tietokannat ja hallintajärjestelmät ovat alttiita yksittäisiin vikaisteisiin (single point of failure), jolloin järjestelmän kaatuessa tai joutuessa hyökkäyksen kohteeksi kaikki toimitusketjun toimijat voivat menettää pääsyn kriittisiin tietoihin (Wang ym. 2020). Lohkoketjuteknologiassa tieto on hajautettu useille eri noodeille, jolloin yhden järjestelmän kaatuminen ei vaaranna koko verkoston toimintaa. Tämä lisää toimitusketjujen resilienssiä ja auttaa varmistamaan toimitusketjun jatkuvuuden myös häiriötilanteissa.

Hajautettu hallinta voi myös vähentää transaktiokustannuksia ja tehdä toimitusketjun toiminnasta tehokkaampaa. Koska lohkoketjuteknologia mahdollistaa tiedon säilyttämisen ja validoinnin ilman kolmansia osapuolia, kuten välittäjiä tai keskitettyjä viranomaisia, monia hallinnollisia kuluja voidaan leikata (Queiroz ym. 2019). Esimerkiksi rahtikirjat, tulliasiakirjat ja muut toimitusketjun asiakirjat voidaan tallentaa lohkoketjuun, jolloin ne ovat kaikkien osapuolten nähtävissä ja validoinnin voi suorittaa automaattisesti lohkoketjun mekanismien kautta. Tämä vähentää byrokratiaa ja nopeuttaa toimitusketjun prosesseja.

Hajautetun hallinnan ansiosta kaikki toimitusketjun sidosryhmät voivat osallistua ja seurata toimitusketjun tapahtumia ilman, että heidän täytyy luottaa yhteen keskitettyyn toimijaan. Tämä mahdollistaa esimerkiksi sen, että viranomaiset, sertifiointielimet ja kansalaisjärjestöt voivat valvoa toimitusketjun vastuullisuutta ilman, että heidän täytyy pyytää tietoja yksittäisiltä yrityksiltä (Francisco & Swanson, 2018). Tämä voi auttaa paljastamaan vastuuttomia liiketoimintakäytäntöjä ja kannustaa yrityksiä kehittämään kestävämpiä toimintamalleja.

Hajautettu hallinta voi myös parantaa yritysten kilpailukykyä ja vastuullisuusraportointia. Esimerkiksi EU:n Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) edellyttää yrityksiä raportoimaan entistä tarkemmin vastuullisuuskäytännöistään (European

Commission, 2022). Lohkoketjun hajautettu ja muuttumaton tietokanta mahdollistaa raportointitietojen tallentamisen ja jakamisen ilman välikäsiä, mikä voi nopeuttaa raportointia ja vähentää siihen liittyviä kustannuksia (Yu, 2022).

3.4.5 Älysopimukset

Älysopimusten avulla voidaan automatisoida toimitusketjun prosesseja, kuten maksuja ja varmistuksia, ja ne suorittavat automaattisesti ennalta määritetyt toiminnot, kun sopimuksen ehdot täyttyvät. (Dolgui ym. 2020.) Älysopimukset mahdollistavat toimitusketjun tarpeiden mukaisten ehtojen automatisoinnin, kuten maksujen suorittamisen, tavarantoimituksen vastaanoton ja toimitusehtojen seurannan, ilman kolmansien osapuolten väliintuloa, mikä voi vähentää transaktiokustannuksia ja lisätä toimitusketjun tehokkuutta. (Agrawal ym. 2022.) Tämä tekee toimitusketjun prosesseista tehokkaampia ja vähentää manuaalisen työn tarvetta, mikä voi kehittää transaktioiden nopeutta ja luotettavuutta sekä parantaa prosessien läpinäkyvyyttä ja turvallisuutta (Christidis ym. 2016). Seuraavaksi tarkastellaan esimerkkien kautta, miten älysopimukset voivat edistää ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista vastuullisuutta toimitusketjuissa.

Ympäristöllinen vastuullisuus

Älysopimuksia voidaan hyödyntää reaaliaikaiseen päästöjen seurantaan ja vähentämiseen toimitusketjuissa. Älysopimuksilla voidaan esimerkiksi automatisoida energiatehokkuuteen ja päästöjen hallintaan liittyvä raportointi. (Groschopf ym. 2021.) Elintarvikeketjuissa älysopimukset mahdollistavat ympäristöystävällisten viljelymenetelmien ja toimitusstandardien valvonnan koko arvoketjun ajan (Viji ym. 2022), mikä saattaa johtaa kestävämpiin tuotanto- ja toimitusratkaisuihin läpinäkyvyyden parantuessa.

Sosiaalinen vastuullisuus

Älysopimukset voivat auttaa eettisten standardien, kuten reilun kaupan ja työolosuhteiden, noudattamisen valvonnassa. Niillä voidaan automatisoida tarkastukset ja varmistaa, että toimittajat noudattavat asetettuja vaatimuksia (Bottoni ym. 2020). Esimerkiksi työntekijöiden oikeuksien valvonnassa älysopimukset voivat varmistaa reilujen palkkojen maksamisen ja työaikojen noudattamisen (Prause, 2019). Älysopimuksilla voidaan siis eliminoida tarve esimerkiksi työntekijän ja työnantajan väliselle luottamukselle palkanmaksuun ja työaikoihin liittyvissä asioissa. Kummankin

osapuolen hyväksyessä älysovimukseen määritetyt ehdot, molemmat osapuolet voivat olla varmoja kyseisten ehtojen toteutumisesta.

Taloudellinen vastuullisuus

Älysovimuksilla voidaan vähentää hallinnollisia kuluja automatisoimalla sopimusprosessit ja varmistamalla nopeaa maksuliikenne sopimusehtojen täytyessä, parantaen toimitusketjun taloudellista tehokkuutta ja luotettavuutta (Onu ym. 2024). Vastaavan kaltaiset esimerkit tehostavat toimitusketjun prosesseja ja vähentävät manuaalisen työn tarvetta.

3.5 Lohkoketjuteknologian käyttöönotto toimitusketjuissa

Lohkoketjuteknologian integrointi toimitusketjuihin on herättänyt merkittävää kiinnostusta sekä akateemisissa piireissä että yritysmaailmassa. Useat julkaisut ovat listanneet joukon potentiaalisia hyötyjä, joita voitaisiin saavuttaa toimitusketjujen hallinnassa lohkaketjuteknologiaa hyödyntämällä. Nämä hyödyt kattavat laajan kirjon alkaen läpinäkyvyyden ja turvallisuuden parantamisesta aina toimitusketjun tehokkuuden ja luotettavuuden lisäämiseen. Näiden potentiaalisten hyötyjen perusteella lohkaketju näyttää potentiaalisena teknologiana, jota hyödyntämällä voidaan uudistaa toimitusketjun hallintaa perusteellisesti. (Dobrovnik ym. 2018; Kim & Laskowski, 2018; Kamble, Gunasekaran, & Arha, 2019.) Lohkoketjuteknologian potentiaali toimitusketjujen hallinnassa on merkittävä, mutta todellinen lohkaketjuteknologian käyttöönotto toimitusketjuissa on vielä alkuvaiheessa (Ahluwalia ym. 2020).

Case: Walmart

Vuonna 2016 yhdysvaltalainen ruokakauppajätti Walmart aloitti pilottihankkeen, jonka pyrkimyksenä oli parantaa ruuan toimitusketjujen jäljitettävyyttä. Tarkemmin, Walmart aloitti projektin implementoimalla lohkaketjuteknologiaa mangojen toimitusketjuun. Lähtötilanteessa pyrittiin jäljittämään mangon alkuperä niin nopeasti kuin mahdollista, ilman lohkaketjun hyödyntämistä. Mangojen alkuperän jäljittäminen kesti yhteensä lähes 7 päivää. Vaikka kaikki tarvittava tieto oli jo olemassa järjestelmissä, sen saaminen kesti pitkään. Walmartin aloitettua yhteistyö IBM:n lohkaketjuteknologiaan pohjautuvan ruuanjäljitysjärjestelmän kanssa, yhdysvalloissa myytävien mangojen alkuperän jäljittäminen kesti 2,2 sekuntia. (Walmart Global Tech, 2021.)

Case: TradeLens

Maersk, globaalisti toimiva varustamoyhtiö, käynnisti pilottihankkeen lohkoketjuteknologian hyödyntämiseksi toimitusketjujen läpinäkyvyyden parantamiseksi. Yhteistyössä IBM:n kanssa he perustivat lohkoketjupohjaisen TradeLens-alustan logistiikka-alalle joulukuussa 2018. Maerskin tavoitteena oli parantaa globaalin toimitusketjunsä läpinäkyvyyttä mahdollistamalla kansainvälisen kaupan sujuvuus TradeLens-alustan avulla. Tämä lohkoketjuteknologiaan perustuva järjestelmä mahdollistaa kaupankäynnin yksinkertaisessa, turvallisessa ja reaaliaikaisessa ympäristössä. (Park & Li, 2021.)

Vuoden 2019 jälkeen tätä alustaratkaisua hyödynsivät yli 60 verkostoon kuuluvaa toimijaa, mukaan lukien valtamerikuljetusten ja sisämaan kuljetusten tarjoajat, satamat ja terminaalit sekä tulliviranomaiset ympäri maailmaa. Maerskin vuoden 2019 kestävän kehityksen raportin mukaan (Maersk Sustainability Report) lohkoketjupohjaisen järjestelmän yksinkertaistamat kauppaprosessit vähensivät kokonaiskäyttökustannuksia. Erityisesti Mumbain vienti- ja tuontitoimijat pystyivät vähentämään kustannuksiaan noin 15 % aiempiin kuluihin verrattuna siirtyessään lohkoketjuteknologiaan. Westergaard-Kabelmann (2019) toteaa, että myös dokumentaation keskimääräinen käsittelyaika lyheni merkittävästi uuden järjestelmän myötä. Lohkoketjun tarjoama "turvallinen ja muuttumaton digitaalinen työnkulku" yksinkertaisti tiedonvaihtoa kaikkien toimitusketjun osapuolten välillä (Park & Li, 2021).

3.6 Teoreettinen viitekehys

Teoreettinen viitekehys tarjoaa rakenteen ja perustan tutkimusongelman käsittelylle. Sen avulla yhdistetään tutkimuksen keskeiset käsitteet ja niiden väliset suhteet aikaisempaan tieteelliseen kirjallisuuteen niin, että viitekehys muodostaa tutkimuksen teoreettisen selkärangan ja varmistaa, että tutkimus pohjautuu olemassa olevaan tietoon eikä ilmesty "tyhjältä". (Creswell, 2014.) Teoreettisen viitekehysten keskiössä ovat lohkoketjuteknologiaan sisänrakennetut ominaisuudet ja mekanismit, joiden on aiemmissa tutkimuksissa todettu omaavan potentiaalia edistää toimitusketjun vastuullisuutta.

Alla olevassa taulukossa on koottuna tieteelliseen kirjallisuuteen pohjautuvia lohkoketjuteknologian tarjoamia mahdollisuuksia toimitusketjun vastuullisuuden

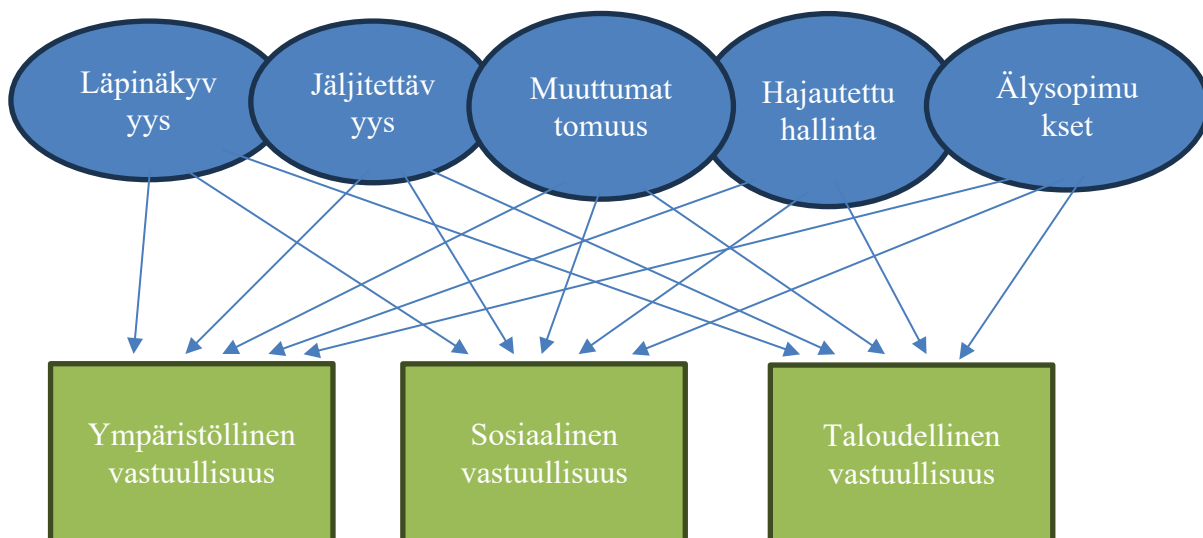
edistämiseen, sisältäen lohkoketjuteknologian ominaisuuden, sen aikaansaamat vastuullisuusvaikutukset sekä lähdeviittaukset. Taulukko helpottaa saamaan kattavan käsityksen lohkoketjuteknologian potentiaalisista mahdollisuuksista edistää toimitusketjun vastuullisuutta nykyisen tutkimuksen valossa.

Taulukko 1: Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä

Lohkoketjuteknologian ominaisuus	Kuvaus & vastuullisuusvaikutus	Lähteet
Läpinäkyvyys	Kaikilla osapuolilla on pääsy samoihin, ajantasaisiin tietoihin, edistäen sidosryhmien luottamusta ja parantaen vertailumahdollisuuksia.	Saberim ym. (2019); Queiroz ym. (2019)
Jäljitettävyys	Mahdollistaa tuotteen koko elinkaaren seuraamisen lohkoketjussa. Auttaa alkuperäisen tiedon varmentamisessa ja vastuullisten hankintakäytäntöjen todentamisessa.	Bai & Sarkis, (2019); Saberim ym. (2019)
Hajautettu hallinta	Ei keskitettyä kontrollia – tietoa jaetaan ja ylläpidetään verkoston toimesta. Vähentää väärinkäytöksiä ja parantaa tiedon eheyttä. Tukee toimitusketjun läpinäkyvää yhteistyötä ja lisää toimijoiden yhdenvertaisuutta.	Zhang ym. (2022); (Queiroz ym. 2019)
Muuttumattomuus	Tietoa ei voida muokata jälkikäteen ilman konsensuksen saavuttamista ja jäljen jättämistä. Parantaa tiedon luotettavuutta, estää jälkikäteistä manipulointia sekä tukee muun muassavastuullisuusraportointia ja auditointia.	Zhu ym. (2024); Zheng ym. (2017); Saberim ym. (2018)

Älysopimukset	Edistää prosessien automatisointia parantaen tehokkuutta ja vastuullisuustekijöiden valvontaa sekä eliminoi luottamuksen tarpeen osapuolten välillä.	Duan ym. (2024); Ran ym. (2024)
---------------	--	------------------------------------

Edellä mainitut ominaisuudet muodostavat perustan lohkoketjuteknologian toiminnalle ja ovat keskeisiä teknologian hyödyntämisessä toimitusketjun vastuullisuuden edistämisessä. Aiemman aihetta käsittelevän tutkimuksen perusteella tunnistetuista lohkoketjuteknologian ominaisuuksista sekä niiden vaikutuksista toimitusketjujen vastuullisuuteen on muodostettu teoreettinen viitekehys:



Kuvio 6: Teoreettinen viitekehys

Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys ovat kriittisiä toimitusketjun hallinnassa, sillä ne mahdollistavat koko arvoketjun vaiheiden avoimen seurannan. Tämä on erityisen tärkeää esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, jossa kuluttajat ja sääntelyviranomaiset vaativat yhä enemmän tietoa tuotteiden alkuperästä ja tuotantoprosesseista (Saber ym. 2018). Varmistamalla, että kaikki toimitusketjun vaiheet ovat jäljitettävissä, yritykset voivat paitsi varmistaa tuotteidensa laadun ja turvallisuuden myös vähentää vilpillistä toimintaa ja harmaata taloutta. Lohkoketjun avulla voidaan esimerkiksi varmentaa, että reilun

kaupan sertifioidut tuotteet todella täyttävät kyseiset standardit ja että niitä ei ole väärinkäytetty toimitusketjun aikana (Varma ym. 2024).

Muuttumattomuus on toinen keskeinen tekijä toimitusketjun vastuullisuuden edistämisessä, sillä se takaa, että toimitusketjun tapahtumat ja tietovirrat pysyvät luotettavina ja muuttumattomina. Kun tiedot tallennetaan lohkoketjuun, niitä ei voida muokata jälkikäteen ilman koko verkoston hyväksyntää, mikä estää väärinkäytöksiä ja manipulointia (Nguyen & Ali, 2023). Tämä ominaisuus on erityisen arvokas toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden näkökulmasta, sillä se varmistaa, että tiedot esimerkiksi työolosuhteista tai eettisestä tuotannosta ovat luotettavia ja todennettavissa.

Hajautettu hallinta poistaa yhden keskitetyn toimijan tarpeen, mikä vähentää korruption ja vallan väärinkäytön riskiä toimitusketjuissa. Tämä voi olla erityisen hyödyllistä kehittyvillä markkinoilla, joissa perinteiset toimitusketjun valvontajärjestelmät voivat olla alttiita manipulaatiolle tai epäluotettaville toimijoille (Nwariaku ym, 2024). Hajautuksen ansiosta toimitusketjun eri osapuolet voivat varmentaa ja hallita tietoja ilman, että ne joutuvat luottamaan yhteen ainoaan keskusjärjestelmään.

Älysopimukset mahdollistavat automaattisten ehtojen täyttämisen ilman välikäsiä, mikä lisää toimitusketjun tehokkuutta ja vähentää kustannuksia (Bai & Sarkis, 2020). Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa älysopimusten avulla voidaan automatisoida varastojen hallintaa ja maksujärjestelyjä, jolloin varmistetaan, että maksut suoritetaan vain, kun tuotteet ovat saapuneet perille ja tarkastettuja. Samalla ne voivat auttaa ympäristövastuullisuuden edistämisessä esimerkiksi päästöjen seurannan ja raportoinnin kautta, jolloin yritykset voivat varmistaa, että ne noudattavat ympäristölainsäädäntöä ja vähentävät hiilijalanjälkeään. (Varma ym. 2024.)

Teoreettista viitekehystä hyödynnetään empiirisen osion tulosten analysoinnissa. Lohkoketjuteknologian kirjallisuudesta tunnistettuja keskeisimpiä ominaisuuksia toimitusketjun vastuullisuuden kannalta käsitellään tulokset-osiossa kattavasti, peilaten asiantuntijahaastattelujen näkemyksiä aiempaan kirjallisuuteen.

4 Menetelmät

4.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusta voidaan tehdä useilla tieteellisillä menetelmillä, joista yleisimmät ovat kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen. Suurin ero näiden kahden välillä on se, että kvantitatiivista lähestymistapaa käytetään pääasiassa tutkimuksissa, jossa voidaan hyödyntää mitattavaa aineistoa, kuten dataa. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa käsitellään mittaamatonta dataa. (Fisher & Buglear, 2010.) Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään lohkoketjuteknologian tarjoamia mahdollisuuksia toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi, joten numeerista tai muuten mitattavaa aineistoa on hankalaa kerätä. Näin ollen kvalitatiivinen lähestymistapa aineistonkeruuseen oli tässä tapauksessa sopivin valinta.

Tämä tutkimus on luonteeltaan eksploratiivinen ja sen tarkoitus on antaa lukijalle kattava käsitys lohkoketjuteknologian potentiaalista toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi. Eksploratiivinen tutkimus auttaa selvittämään, mitä tapahtuu, etsimään uusia näkökulmia, esittämään kysymyksiä ja arvioimaan ilmiöitä uudessa valossa (Saunders ym. 2009). Eksploratiivisen tutkimusotteen valinta on perusteltua, sillä lohkoketjuteknologian soveltaminen toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseen on suhteellisen uusi tutkimusalue, jossa tarvitaan syvällisempää ymmärrystä lohkoketjuteknologian mahdollisuuksista ja haasteista.

Haastattelut ovat sopiva toimintatapa, kun tarkastellaan epämääräisesti määriteltyjä ongelmia ja pyritään syventämään ymmärrystä niistä (Saunders ym. 2009). Haastattelut auttavat keräämään olennaista tietoa ensisijaisista lähteistä ja dokumentoimaan tätä tietoa tulevaa käyttöä varten. Lisäksi haastattelut tarjoavat mahdollisuuden syvällisempiin keskusteluihin osallistujien kanssa annetusta aiheesta, mikä puolestaan mahdollistaa tutkimuksen kannalta merkityksellisemmän aineiston keruun (Minhat, 2015).

Tutkimuksen empiirisen aineiston keräämiseksi haastatellaan alan asiantuntijoita, joilla on syvällistä ymmärrystä ja kokemusta lohkoketjuteknologian hyödyntämisestä toimitusketjuissa. Haastattelut tarjoavat mahdollisuuden yksityiskohtaisiin ja monipuolisiin näkemyksiin aiheesta. Kvalitatiivisena aineistonkeruumenetelmänä käytetään puolistrukturoituja haastatteluja, mikä mahdollistaa sekä tarkoin rajattujen

kysymysten esittämisen että joustavan keskustelun, jolloin haastateltavat voivat vapaasti tuoda esiin omia havaintojaan ja kokemuksiaan. Haastattelut tallennetaan ja litteroidaan myöhempää analyysiä varten.

4.2 Aineistonkeruu

Empiirisen aineiston keruu on toteutettu puolistrukturoitujen haastattelujen avulla. Yhteensä haastatteluja tehtiin neljä. Aineistonkeruun kohderyhmänä oli henkilöitä, jotka ovat työskennelleet lohkoketjuteknologian parissa teknisen puolen kehittäjinä, teknologian hyödyntäjinä sekä neuvonantajina. Yleistettävyyden vuoksi haastateltavien kokemus lohkoketjuteknologiasta hajautettiin useille eri toimialoille. Sopivat haastateltavat löytyivät henkilökohtaisten verkostojen, suorien suositusten sekä internetistä löydettyjen, aiheeseen liittyvien artikkelien avulla.

Haastateltavat valittiin tarkoituksenmukaisella otannalla, mikä mahdollisti erityisesti sellaisten henkilöiden tavoittamisen, joilla on kokemusta lohkoketjuteknologian hyödyntämisestä toimitusketjujen hallinnan kontekstissa.

Haastateltava 1: Ensimmäinen haastateltava on toiminut teknisen puolen lohkoketjuehittäjänä ja arkkitehtinä projektissa, jossa tarjottiin yrityksille lohkoketjuun pohjautuva alusta, johon käyttäjät voivat muun muassa tallentaa toimitusketjuihin liittyviä dokumentteja. Haastateltava pystyi taustansa vuoksi tarjoamaan arvokasta tietoa lohkoketjun teknisistä ominaisuuksista ja toimintaperiaatteista sekä niiden vaikutuksista toimitusketjun vastuullisuuteen.

Haastateltava 2: Toinen haastateltava on pitkän linjan lohkoketjuammattilainen, joka on toiminut muun muassa neuvonantajana lohkoketjuteknologiaan liittyvissä asioissa. Haastateltava on ollut mukana aloittamassa, suunnittelemassa, konsultoimassa ja johtamassa lohkoketjuteknologiaan ja toimitusketjuihin liittyviä projekteja. Haastateltavan nykyiset tehtävät sisältävät lohkoketjuteknologiapalveluiden soveltamista ja tuottamista kuljetusketju- ja logistiikkapuolella, etenkin arkkitehtuuritason suunnittelun osalta.

Haastateltava 3: Kolmas haastateltava on toiminut projektipäällikön roolissa suunnittelijana ja lohkoketjuarkkitehtinä projektissa, jossa implementoitiin lohkoketjuteknologiaa yritysten toimitusketjuihin. Haastateltavan vastuualueisiin kyseisessä projektissa kuului muun muassa lohkoketjuarkkitehtuurin suunnittelu ja

lohkoketjuun ohjelmoitavien ominaisuuksien ja älysovimusten toteutus yhdessä kollegoiden kanssa.

Haastateltava 4: Neljäs haastateltava on työskennellyt elintarvikealan suuryrityksessä johtavassa roolissa lohkoketjuhankkeen parissa. Haastateltavalla on näkemystä etenkin lohkoketjuteknologian hyödyistä asiakasnäkökulmasta – eli siitä, miten lohkoketjuteknologian hyödyntäminen käytännössä edistää kuluttajan mahdollisuuksia muun muassa tuotteiden alkuperän seurannassa ja vertailussa.

Haastatteluun suostumisen mahdollisuuksien parantamiseksi sekä käytännöllisyyden vuoksi haastattelut toteutettiin sähköisesti videopuheluita hyödyntäen. Haastattelut tallennettiin haastateltavien suostumuksella aineiston analysoinnin helpottamiseksi.

Kaikki haastattelut aloitettiin kertomalla haastateltaville tutkimuksen taustoista, motivaatiosta ja tavoitteista. Haastateltavilta kysyttiin lupa haastattelun tallentamiseen ja kerrottiin, että haastateltavan henkilöllisyys sekä organisaatio anonymisoidaan tutkimuksessa niin, ettei henkilöllisyyden tai organisaation tunnistaminen ole mahdollista. Valmis tutkimus ja keskeisimmät tulokset lähetetään haastateltaville tutkimuksen valmistuttua.

Kerätty aineisto sisälsi haastateltavien henkilökohtaisia näkemyksiä, kokemuksia ja havaintoja sekä tietoa konkreettisista keinoista, joiden avulla toimitusketjujen vastuullisuutta on pyritty edistämään lohkoketjuteknologiaa hyödyntäen. Koska tutkimuskysymyksissä painotetaan konkreettisia mekanismeja ja keinoja, joiden avulla lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseen, myös haastattelukysymykset oli rakennettu tähän tavoitteeseen pohjautuen. Haastatteluissa pyrittiin paneutumaan syvällisesti konkreettisiin lohkoketjuteknologian tarjoamiin ominaisuuksiin ja toimintaperiaatteisiin, jotka haastateltavien kokemusten perusteella ovat keskeisimpiä toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen kannalta.

Haastattelua varten luotiin haastattelurunko, joka sisälsi olennaisia kysymyksiä tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi ja tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Keskustelua ei kuitenkaan rajattu ainoastaan esitettyihin kysymyksiin, vaan pyrkimyksenä oli saada kokonaisvaltainen ymmärrys haastateltavien näkemyksestä lohkoketjuteknologiasta sekä sen potentiaalista toimitusketjun vastuullisuuden hyödyntämisessä.

4.3 Aineiston luokittelu ja analyysi

Kaikki asiantuntijahaastatteluista kerätty aineisto valmisteltiin analysointia varten. Haastattelutallenteita tarkasteltiin toistuvien teemojen, yhtäläisyyksien ja eroavaisuuksien tunnistamiseksi, minkä jälkeen aineisto järjesteltiin selkeisiin kategorioihin. Tämä luokittelu toimi perustana tutkimuskysymyksiin vastaamiselle, erityisesti lohkoketjuteknologian keskeisten ominaisuuksien tunnistamiselle, jotka voivat edistää toimitusketjun vastuullisuutta.

Aineiston analyysi toteutettiin teemallisen luokittelun avulla, jossa haastatteluaineistoa tarkasteltiin sekä ennalta määritettyjen teemojen pohjalta että uusien esiin nousseiden aiheiden kautta. Luokittelun tavoitteena oli muodostaa systemaattinen ja johdonmukainen kokonaiskuva siitä, miten haastateltavat näkevät lohkoketjuteknologian roolin toimitusketjuissa ja millaisia käytännön kokemuksia heillä on sen soveltamisesta. Tulosten analysoinnissa huomioidaan myös haastatteluista esiin nousseet uudet teemat, jotka laajentavat ymmärrystä teknologiasta ja sen vaikutuksista vastuullisuuden eri osa-alueisiin.

Tulosten analysointivaiheessa haastatteluaineistosta poimittiin keskeisiä lainauksia, jotka kuvaavat asiantuntijoiden näkemyksiä ja tuovat esiin olennaisia havaintoja tutkimusaiheesta. Näiden lainauksien avulla pyrittiin lisäämään analyysin läpinäkyvyyttä ja tukemaan esitettyjä johtopäätöksiä konkreettisilla esimerkeillä. Tämä lähestymistapa auttaa varmistamaan, että tutkimuksen tulokset perustuvat suoraan aineistosta saatuihin havaintoihin ja tukevat tutkimuskysymyksiin vastaamista.

4.4 Tulosten esittäminen

Tutkimuksen tulokset esitetään analysoimalla asiantuntijahaastatteluista kerättyä aineistoa sekä vertaamalla sitä aiempaan kirjallisuuteen. Tulosten esittämisessä pyritään tarjoamaan kattava ja selkeä kuva siitä, miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä ja mitkä teknologian keskeiset mekanismit tukevat tätä tavoitetta. Tulosten esittäminen perustuu laadulliseen lähestymistapaan, jossa haastatteluaineistosta poimitaan keskeisiä lainauksia, jotka heijastavat tutkimuskysymysten kannalta olennaisia teemoja. Haastateltavien näkemyksiä tulkitaan suhteessa aiempaan tutkimuskirjallisuuteen, jotta voidaan tunnistaa yhtäläisyyksiä, eroavaisuuksia sekä uusia näkökulmia lohkoketjuteknologian mahdollisuuksista ja haasteista toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä.

Tulokset on jäsennetty tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti kolmeen pääteemaan: lohkoketjuteknologian rooli toimitusketjun ympäristöllisen, sosiaalisen ja taloudellisen vastuullisuuden edistämässä. Lisäksi tarkastellaan asiantuntijoiden näkemyksiä lohkoketjuteknologian tarjoamista keskeisimmistä ominaisuuksista toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen kannalta. Kunkin teeman yhteydessä esitetään sekä asiantuntijahaastattelusta nousevia näkemyksiä että aiemman kirjallisuuden tukemia havaintoja. Näin pyritään muodostamaan kokonaisvaltainen kuva siitä, kuinka lohkoketjuteknologia voi vastata toimitusketjujen vastuullisuuteen liittyviin haasteisiin.

Tuloksia esitettäessä tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset ohjaavat esitettävien asiantuntijalainauksen valintaa ja analyysiä. Pyrkimyksenä on painottaa asiantuntijoiden omia kokemuksia ja näkemyksiä lohkoketjuteknologian roolista toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä.

4.5 Tutkimuksen validiteetti ja luotettavuus

4.5.1 Kirjallisuuden lähteiden valinta

Empiirisesti kerätyn aineiston täydentämiseksi tutkimuksessa on hyödynnetty merkittävä määrä kirjallisuutta, kattaen kaikki tämän tutkimuksen monitieteiset aihealueet. Kirjallisuutta etsittiin, luettiin, analysoitiin ja tutkimuksen kannalta keskeisimmät tulokset esitettiin kirjallisuuskatsausluvussa. Aineisto kerättiin useiden kanavien kautta pääosin verkosta. Keskeiset tieteelliset hakukoneet ja akateemiset tietokannat, kuten Web of Science, SCOPUS, EBSCO ja Google Scholar olivat tärkeimmät tietokannat, joista etsittiin tutkimuksen kannalta relevantteja ja luotettavia julkaisuja.

Tutkimuksessa hyödynnetty kirjallisuus sisälsi muun muassa tieteellisiä artikkeleita, konferenssijulkaisuja, lehtiartikkeleita ja muita julkaisuja. Kirjallisuuden valinnassa painotettiin erityisesti vertaisarvioituja, tieteellisiä artikkeleita. Lisäksi lähteinä on käytetty muun muassa kansainvälisten järjestöjen, kuten EU:n julkaisuja ja asetuksia.

4.5.2 Tutkimuksen toistettavuus

Tutkimuksen validiteettia tukee se, että tutkimusmenetelmät ja analyysit on kuvattu yksityiskohtaisesti, mikä mahdollistaa tutkimuksen toistettavuuden. Koska tutkimus on kvalitatiivinen ja perustuu asiantuntijahaastatteluihin, sen yleistettävyyden on kuitenkin rajallinen. Tulokset tarjoavat kuitenkin arvokasta tietoa siitä, miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä

eri toimialoilla. Lisäksi tutkimuksen eksploratiivinen luonne mahdollistaa uusien näkökulmien ja jatkotutkimusaiheiden tunnistamisen.

Kokonaisuudessaan tutkimuksen validiteetti ja luotettavuus on pyritty varmistamaan huolellisella kirjallisuuskatsauksella, systemaattisella aineiston analyysillä ja selkeällä tutkimusprosessin dokumentoinnilla. Näiden toimenpiteiden avulla pyritään varmistamaan, että tutkimuksen tulokset ovat paikkansapitäviä ja tarjoavat arvokasta tietoa lohkoketjuteknologian soveltamisesta toimitusketjujen vastuullisuuden edistämiseen.

5 Tulokset

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen keskeisimmät tulokset, jotka on muodostettu asiantuntijahaastatteluiden pohjalta analysoimalla heidän näkemyksiään lohkoketjuteknologian roolista toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä. Haastatteluaineiston analyysivaiheessa ilmaantui useita toistuvia teemoja ja näkökulmia. Tulokset on jaoteltu teemoittain, jotta lukija saa kattavan käsityksen tutkimuksen keskeisistä löydöksistä ja niiden merkityksestä toimitusketjujen vastuullisuuteen. Haastateltavien näkemysten esittämisen lisäksi tarkastellaan, miten kyseiset näkemykset tukevat tai haastavat aiempaa tutkimuskirjallisuutta aiheesta.

Havaintoja esitettäessä tutkimuskysymykset on pidetty tarkasti mielessä tutkimuksen tavoitteiden kannalta relevantin tiedon esittämiseksi. Tutkimuskysymysten huomioiminen on ohjannut havaintojen valintaa ja jäsentelyä, jotta tulokset tarjoaisivat mahdollisimman kattavan vastauksen tutkimuskysymyksiin. Näin varmistetaan, että esitetyt havainnot liittyvät suoraan tutkimuksen tavoitteisiin ja vastaavat tutkimuskysymyksiin:

Miten lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan edistää toimitusketjun vastuullisuutta?

Mitkä lohkoketjuteknologian ominaisuudet ja toimintaperiaatteet ovat keskeisimpiä toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen kannalta?

5.1 Lohkoketjuteknologia toimitusketjun ympäristöllisen vastuullisuuden edistämässä

Teoreettisessa osuudessa on todettu lohkoketjuteknologian tarjoavan ainutlaatuisia mahdollisuuksia edistää ympäristövastuuta muun muassa prosessien tehostamisen, resurssien optimoinnin ja energiatehokkuuden parantamisen kautta. Asiantuntijahaastatteluissa nousi esille, että lohkoketjuteknologia voi vähentää ympäristövaikutuksia esimerkiksi logistiikan optimoinnin, läpinäkyvyyden lisäämisen ja tarpeettomien järjestelmien karsimisen avulla. Tässä osiossa tarkastellaan haastateltavien näkemyksiä siitä, miten lohkoketjun tarjoamat mekanismit voivat konkreettisesti tukea ympäristöllistä vastuullisuutta toimitusketjuissa.

H1: ”Tottakai, jos saadaan parannettua sitä, että esimerkiksi laivat ovat vähemmän aikaa satamissa paikallaan ja saadaan tehostettua sitä, miten kontteja siirretään laivaan ja missäkin järjestyksessä. Myös jos saadaan vähennettyä järjestelmiä,

mitä asiakkaila on käytössä, sitä vähemmän servereitä pyörii ja sillä on varmasti vaikutusta ympäristöhaittoihin.”

Haastateltava nostaa esiin kaksi keskeistä näkökulmaa: ensinnäkin logististen prosessien tehostaminen, kuten satama-aikojen lyhentäminen ja konttien optimoitu lastausjärjestys, voi vähentää turhaa energiankulutusta ja päästöjä. Toiseksi lohkoketju voi vähentää monimutkaisten, päällekkäisten järjestelmien tarvetta eri toimijoilla, mikä pienentää energiankulutusta esimerkiksi palvelinresurssien osalta. Näin ollen lohkoketjuteknologia voi tukea ympäristövastuullisuutta sekä suoraan logistiikan päästövähennyksillä että välillisesti IT-infrastruktuurin tehostamisen kautta.

H2: ”Jos esimerkiksi lohkoketjuun kirjataan, että tämän kuljetuksen CO2-päästöt ovat tämän verran, perustuen lohkoketjuun tallennettuihin dokumentteihin, se on kiistämätön totuus. Riippumattomat osapuolet ovat tallentaneet dokumentit lohkoketjuun ja päästölaskelma on tehty älysovimuksella, jota ajetaan läpinäkyvästi niin, että kaikki voivat nähdä miten laskelma on tehty ja laskentatapa on kaikille sama.”

Haastateltavan näkemys korostaa lohkoketjuteknologian potentiaalia toimitusketjun ympäristöllisen vastuullisuuden edistämiseksi erityisesti päästölaskennan ja -raportoinnin näkökulmasta. Lohkoketjun hajautettu ja muuttumaton luonne mahdollistaa esimerkiksi CO2-päästöjen seurannan ja dokumentoinnin tavalla, joka vähentää tietojen manipuloinnin ja väärentämisen riskiä. Keskeisessä asemassa on lohkoketjun tarjoama tietojen muuttumattomuus, joka lisää tallennetun tiedon luotettavuutta ja jäljitettävyyttä. Päästöraportointi on perinteisesti ollut haasteellista, sillä toimitusketjujen monimutkaisuus ja eri toimijoiden välillä vaihtelevat raportointikäytännöt ovat vaikeuttaneet tarkkojen ja vertailukelpoisten päästölaskelmien tekemistä (Saber ym. 2019). Lohkoketjuteknologia voi auttaa yhdenmukaistamaan raportointia ja varmistamaan, että päästölaskelmat perustuvat todelliseen, vahvistettuun dataan. Läpinäkyvämmän ja luotettavamman tiedon myötä myös yritysten motivaation vastuullisiin toimenpiteisiin voidaan olettaa kasvavan, kun kuluttajat, sijoittajat ja muut sidosryhmät saavat yhä kattavampaa ja luotettavampaa tietoa yritysten ja toimitusketjujen vastuullisuusdatasta.

H3: ”Ympäristönäkökulmaan liittyen, jos lohkoketjuun annettaisiin pääsy esimerkiksi valvovalle taholle, niin sitä kautta se tuo hyötyjä, kun voidaan varmaksii todeta, että kukaan ei ole tätä dataa päässyt peukaloimaan jälkikäteen.”

Lohkoketju mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonjaon eri sidosryhmille, kuten valvoville tahoille, sertifioijille ja kuluttajille. Tämä voi vähentää perinteisten ympäristösertifikaattien ja manuaalisten auditointien tarvetta, sillä kaikki toimitusketjun ympäristötiedot ovat avoimesti tarkasteltavissa ja vahvistettavissa ilman keskitettyä hallintoa. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen, uusiutuvan energian käytön ja luonnonvarojen kulutuksen seuranta voidaan toteuttaa lohkoketjupohjaisesti, jolloin yritykset tai muut tahot eivät voi jälkikäteen muuttaa raportoimiaan tietoja peitelläkseen epäeettisiä käytäntöjä.

EU:n vastuullisuusdirektiivit, kuten CSRD, edellyttävät yrityksiä raportoimaan ympäristövaikutuksistaan tarkasti ja yhdenmukaisesti. Lohkoketjuteknologia voi helpottaa näiden vaatimusten noudattamista, sillä raportointitiedot voidaan tallentaa automaattisesti lohkoketjuun, ja ne ovat luotettavasti valvontaviranomaisten saatavilla ilman mahdollisuutta tietojen manipulointiin. Näin yritykset voivat välttää sääntelyrikkomukset, pienentää vastuullisuusraportointiin vaadittavia resursseja sekä parantaa mainettaan vastuullisina toimijoina.

Lohkoketjuun ohjelmoitujen älysopimusten roolin merkitys nousi myös haastatteluissa esille. Esimerkiksi päästölaskennan voisi toteuttaa älysopimuksella tarkoittaen, että päästölaskenta voidaan suorittaa ennalta määritetyin kriteerein tiettyjen ehtojen täytyessä. Toimiessaan kyseisen kaltaiset älysopimukset edistäisivät merkittävästi esimerkiksi päästölaskennan luotettavuutta sekä raportoinnin tehokkuutta, pienentäen myös yritysten vastuullisuusraportointiin uhraamia resursseja.

5.2 Lohkoketjuteknologia toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden edistämisessä

Toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden edistäminen on keskeinen osa-alue, jossa lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan aiemman tutkimuksen valossa saavuttaa merkittäviä edistysaskeleita. Lohkoketju mahdollistaa esimerkiksi työolosuhteiden läpinäkyvyyden parantamisen, eettisten toimittajien valvonnan tehostamisen sekä työntekijöiden oikeuksien paremman seurannan globaaleissa ja monimutkaisissa toimitusketjuissa. Asiantuntijahaastatteluissa korostettiin, että lohkoketju voi auttaa tunnistamaan ja ehkäisemään epäeettisiä käytäntöjä, kuten lapsityövoiman käyttöä tai työehtojen rikkomuksia, tarjoamalla luotettavaa ja läpinäkyvää tietoa kaikille toimitusketjun osapuolille.

Sosiaalisesti vastuullisessa toimitusketjussa eettisen kaupan toteutuminen on keskeisessä roolissa. Vastuullisten toimintaperiaatteiden varmentaminen edellyttää kuitenkin läpinäkyvyyttä ja luotettavia mekanismeja, joiden avulla voidaan varmistaa, että esimerkiksi tuotteet ja raaka-aineet on hankittu vastuullisesti. Perinteisesti alkuperätodistukset ovat olleet keskeinen keino todentaa tuotteen alkuperä, mutta niiden aitouden varmistaminen on ollut haasteellista. Paperiset asiakirjat ja jopa sähköiset tietokannat voivat olla alttiita väärennöksille, virheellisille merkinnöille tai tiedon manipuloinnille. Tämä tekee eettisen kaupan valvonnasta monimutkaista, sillä ilman luotettavaa seurantajärjestelmää on vaikea varmistaa, että toimitusketjun eri toimijat todella noudattavat vastuullisuusperiaatteita.

H4: ”Kyllä pyrkimyksenä oli herättää kuluttajissa luottamusta sitä kautta, että esimerkiksi QR-koodin avulla kuluttaja saa helposti käsiinsä tiedon ruuan alkuperästä. QR-koodin skannaamalla pääsee siis tarkastelemaan kyseessä olevan tuotteen alkuperää ja sertifikaatteja.”

Lohkoketjuteknologia tarjoaa ratkaisun tähän haasteeseen, sillä se mahdollistaa alkuperätodistusten tallentamisen muuttumattomasti hajautettuun järjestelmään. Tällöin tieto tuotteen alkuperästä on kaikkien toimitusketjun osapuolten tarkasteltavissa, ja kolmannet osapuolet, kuten sertifiointitahot tai sääntelyviranomaiset, voivat valvoa tiedon oikeellisuutta reaaliajassa. Tämä vähentää petosten mahdollisuutta ja lisää organisaatioiden vastuullisuutta, sillä riski jäädä kiinni epäeettisistä hankinnoista kasvaa merkittävästi. Haastateltavan nostamassa esimerkkitapauksessa asiakas pääsi tuotteen QR-koodin skannaamalla käsiksi lohkoketjuun kirjattuun tietoon muun muassa tuotteen raaka-aineiden alkuperästä ja sertifikaateista, edistäen kuluttajien luottamusta tuotteen vastuullisesta tuotannosta.

H2: ”Eettisen kaupan valvontaan liittyen tulee mieleen alkuperätodistukset. Se, että jokin erä on oikeasti hankittu vastuulliselta toimittajalta tai tuottajalta. Alkuperätodistukset voidaan kirjata lohkoketjuun, josta niitä voidaan kolmansien osapuolten toimesta puolueettomasti valvoa. Poikkeamat ja eroavaisuudet tiedossa voidaan nopeasti, jopa automatisoidusti tunnistaa ja viedä ne ihmisten tarkastettavaksi. Organisaatiot eivät toimi vastuuttomasti, jos tietävät jäävänsä siitä kiinni. Sellaisia riskejä kukaan ei ota.”

Myös toisen haastateltavan nostama näkökulma korostaa lohkoketjuteknologian potentiaalia eettisen kaupan ja vastuullisten hankintakäytäntöjen valvonnassa toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden edistämiseksi. Lohkoketjun muuttumattomuus, hajautus ja läpinäkyvyys mahdollistavat

alkuperätodistusten tallentamisen tavalla, joka parantaa jäljitettävyyttä ja estää tietojen väärentämisen. Tämä on erityisen merkittävää reilun kaupan tuotteiden, vastuullisesti hankittujen raaka-aineiden ja sertifioitujen toimittajien tunnistamisessa ja valvonnassa.

H4: ”Etenkin ruokaväärennösten osalta lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voitaisiin vähentää ruokaväärennöstapauksia, kun kuluttaja ja muut toimijat saavat helposti tiedon ruuan alkuperästä ja pääsevät näkemään muun muassa sertifikaatit ja tuotteiden toimittajien muut tiedot. Esimerkiksi luomutuotteita väärennetään maailmassa todella paljon, niin jos yritys pystyy todentamaan luomutuottajat, niin onhan se valtava etu. Etuna siinä on, että hyvin helposti kuluttaja pääsee tuotannon alkulähteille.”

H3: ”Keskeistä on alkuperän todentaminen ilman että sitä voidaan muuttaa. Se on ainakin eettisen kaupan valvonnan kannalta merkittävä asia. Sillä voidaan eliminoida ne pyrkimykset mitä joillain tahoilla saattaa olla piilotella joitain sosiaaliseen vastuullisuuteen liittyviä asioita.”

Haastateltavien mukaan tuotteiden alkuperän todentaminen muuttumattomalla ja luotettavalla tavalla on keskeistä eettisen kaupan valvonnassa. Koska lohkoketjun perusominaisuuksiin kuuluu muuttumattomuus ja jäljitettävyys, toimitusketjussa tapahtuvat transaktiot voidaan tallentaa niin, että niitä ei voida jälkikäteen muuttaa ilman, että muut sidosryhmät näkevät ja hyväksyvät muutokset. Lohkoketjuteknologian avulla voidaan siten varmistaa, että tuotteen alkuperätiedot ovat aitoja, tarkkoja ja kaikkien osapuolten vahvistamia, mikä tekee esimerkiksi työolojen, raaka-aineiden alkuperän ja epäeettisten käytäntöjen piilottamisesta ja väärentämisestä haastavaa. Kun tiedot ovat läpinäkyvästi nähtävissä ja muuttumattomia, yritysten on vaikeampi piilottaa epäeettisiä käytäntöjä, mikä voi myös lisätä kuluttajien ja sidosryhmien luottamusta yrityksen vastuullisuuteen.

Lohkoketju mahdollistaa siten avoimen, muuttumattoman ja helposti tarkastettavan tietojärjestelmän alkuperätodistusten ja muiden sertifikaattien hallintaan. Tämä parantaa toimitusketjun sosiaalista vastuullisuutta ja auttaa yrityksiä täyttämään muun muassa EU:n kestävän kehityksen sääntelyn (kuten CSDDD ja CSRD) sekä kuluttajien ja sidosryhmien kasvavat vastuullisuusvaatimukset.

Yksi keskeinen sovelluskohde lohkoketjuteknologialle toimitusketjun sosiaalisen vastuullisuuden edistämiseksi on työntekijöiden oikeuksien ja työolojen valvonta toimitusketjujen eri tasoilla. Esimerkiksi kuljetusalan työehdot, kuten työtuntien rajoitukset ja työajan seuranta, saattavat jäädä puutteellisen valvonnan varaan.

H3: *”Esimerkiksi kuljettajien osalta, jos ajotunnit kirjattaisiin lohkoketjuun ja järjestelmä hälyttäisi automaattisesti työtuntien ylittämisestä, niin se helpottaisi aika paljon valvontaa.”*

Asiantuntijan näkemyksen mukaan lohkoketjuteknologia voisi helpottaa esimerkiksi kuljettajien työaikojen valvontaa ja parantaa heidän työolojaan. Työtuntien tallentaminen lohkoketjuun mahdollistaisi automaattisen seurannan, joka varoittaisi heti, jos ajotunnit ylittävät sallitut rajat. Tämä ei ainoastaan vähentäisi työntekijöiden ylikuormitusta ja väsymyksen aiheuttamia turvallisuusriskejä, vaan myös varmistaisi, että työaikalainsäädäntöä ja muita säädöksiä noudatetaan johdonmukaisesti. Lohkoketjun muuttumattomuuden ansiosta tietoja ei voisi jälkikäteen muokata, mikä vähentäisi mahdollisia väärinkäytöksiä, kuten työaikojen manipulointia tai epävirallisia ylityötunteja ilman asianmukaista korvausta.

H2: *”On toki tärkeää myös huomata, että itsestään lohkoketju ei takaa vastuullisuutta, vaan se edellyttää, että lohkoketjuun tietoa syöttävät henkilöt toimivat vastuullisesti ja syöttävät lohkoketjuun oikeaa tietoa.”*

Haastateltavan näkökulma korostaa yhtä lohkoketjuteknologian keskeisistä haasteista: teknologia itsessään ei takaa vastuullisuutta, vaan se on ainakin joissain tilanteissa riippuvainen sinne syötetyn tiedon oikeellisuudesta ja käyttäjien vastuullisesta toiminnasta. Vaikka lohkoketjun muuttumattomuus ja hajautus tekevät siitä tehokkaan työkalun tiedon manipuloinnin estämiseksi, se ei pysty automaattisesti varmistamaan, että syötetty tieto on alkujaan luotettavaa.

Tähän haasteeseen on kuitenkin olemassa ratkaisuja - esimerkiksi älysopimuksia voidaan hyödyntää automatisoimaan tietojen syöttöä ja estämään virheellisten tietojen päätymistä lohkoketjuun. Lisäksi tietojen syöttämiseen voidaan yhdistää IoT-laitteita ja sensoreita, joita hyödyntämällä voidaan tallentaa esimerkiksi hiilijalanjälkitietoja, tuotanto-olosuhteita tai työntekijöiden turvallisuuskäytäntöjä ilman kolmansien osapuolien väliintuloa. Älysopimusten roolia toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä käsitellään tarkemmalla tasolla myöhemmin.

5.3 Lohkoketjuteknologia toimitusketjun taloudellisen vastuullisuuden edistämässä

Lohkoketjuteknologialla on merkittävä potentiaali taloudellisen vastuullisuuden parantamisessa tarjoamalla tarkkaa ja reaaliaikaista tietoa toimitusketjun eri vaiheista. Asiantuntijahaastatteluuissa nostettiin esiin esimerkiksi lohkoketjun kyky vähentää turhia

kustannuksia automatisoimalla prosesseja, tehostamalla resurssien hallintaa ja vähentämällä välikäsien tarvetta. Samalla lohkoketju voi parantaa toimitusketjun häiriönsietokykyä, mikä tukee pitkän aikavälin taloudellista kestävyyttä.

H2: *”Lohkoketjuteknologian hyöty toimintojen tehostamisessa perustuu siihen, että tieto on reaaliaikaista ja ehdottoman luotettavaa. Se tarkoittaa, että voit perustaa omia liiketoimintapäätöksiä siihen tietoon, jonka löydät lohkoketjusta.”*

Haastateltavan näkemys korostaa lohkoketjuteknologian merkitystä toimitusketjun toiminnan tehostamisessa. Reaaliaikainen ja luotettava tieto mahdollistaa nopeamman päätöksenteon ja vähentää virheelliseen tai vanhentuneeseen tietoon perustuvia riskejä. Kun kaikki toimitusketjun osapuolet voivat luottaa siihen, että lohkoketjussa tallennettu tieto on oikeaa ja ajantasaista, voidaan vähentää tarpeetonta viivettä, manuaalisia tarkistuksia ja hallinnollista taakkaa. Tämä voi näkyä muun muassa varastonhallinnan optimoinnissa, toimitusaikojen lyhentymisessä ja resurssien tehokkaammassa käytössä, mikä puolestaan tukee sekä taloudellista että ympäristöllistä vastuullisuutta.

H2: *”Lohkoketjun avulla saat luotettavaa tietoa siitä, mitä esimerkiksi laivassa on ja koska se puretaan, koska se perustuu reaaliaikaiseen, luotettavaan tietoon. Jo ennen laivan lähtöä tiedät, mitä tavaroita laivassa kuljetetaan, koska lähtösatamassa lohkoketjuun on kirjattu tieto siitä, mitä tavaroita laivaan on lastattu.”*

Kun esimerkiksi laivakuljetuksiin liittyvä tieto on reaaliaikaista ja kaikkien osapuolten vahvistamaa, voidaan vähentää epävarmuutta ja parantaa toimitusprosessin tehokkuutta. Ennakoitavuus kasvaa, sillä tavaroiden kuljetuksesta ja purusta on tarkka, muuttumaton ja ajantasainen tieto saatavilla koko toimitusketjun ajan. Tämä auttaa logistiikan suunnittelussa, varastonhallinnassa ja resurssien käytön optimoinnissa, mikä voi vähentää viiveitä ja tarpeettomia päästöjä sekä tehostaa toimitusketjun toimintaa kokonaisuudessaan.

H3: *”Varmasti juuri reaaliaikaisuuden avulla pystyttäisiin tehostamaan toimintoja. Reaaliaikaisen datan avulla pystytään tarjoamaan muille toimitusketjun osapuolille se tieto siitä, missä tavara liikkuu, minkä kautta muut toimijat pystyvät varautumaan ja ohjaamaan omaa toimintaansa.”*

H2: *”Just-in-Time logistiikka mahdollistuu reaaliaikaisella ja luotettavalla tiedolla. Eli omat resurssit saadaan oikeaan paikkaan oikeaan aikaan oikean suhtaisina, minimoiden tyhjäkäynnin ja odotusajan.”*

Asiantuntijoiden näkemysten mukaan lohkoketjuteknologia voi merkittävästi parantaa toimitusketjujen taloudellista vastuullisuutta muun muassa tukemalla Just-In-Time (JIT) logistiikkaa, jossa resurssit kohdennetaan tarkasti tarpeen mukaan. JIT-malli perustuu reaaliaikaiseen tiedonhallintaan, ja lohkoketjun hajautettu ja muuttumaton tietokanta mahdollistaa sen, että kaikki toimitusketjun osapuolet voivat luottaa tietojen oikeellisuuteen ja ajantasaisuuteen. Tämä parantaa resurssitehokkuutta, minimoi varastointikustannuksia ja ehkäisee tarpeetonta odotusaikaa, tehostaen sekä yksittäisten yritysten että koko toimitusketjun toimintaa.

H2: *”Lohkoketju toimii massamittakaavassa satamissa, ratapihoilla ja lentokentillä viimeisen mailin logistiikassa. Se toimii myös pitkissä toimitusketjuissa, kun rahtia käsittelee lukuisat eri osapuolet eri rooleissa matkan varrella, ja kaikkien tulee tietää, missä resurssien tulee kulloinkin olla kiinni. Lohkoketju pystyy tarjoamaan tämän tiedon aukottomasti.”*

Haastateltavan kommentti korostaa lohkoketjuteknologian potentiaalia monimutkaisissa ja laajamittaisissa logistiikkaverkostoissa, joissa tavaraa liikkuu useiden eri toimijoiden ja kuljetusmuotojen kautta. Satamat, ratapihat ja lentokentät ovat esimerkkejä logistisista solmukohdista, joissa tehokas koordinointi on välttämätöntä toimitusketjun sujuvuuden ja taloudellisen vastuullisuuden varmistamiseksi. Lohkoketjun tarjoama hajautettu ja muuttumaton tietokanta mahdollistaa sen, että kaikki osapuolet voivat nähdä reaaliaikaisesti, missä tavara on ja minne sen tulee seuraavaksi siirtyä. Tämä poistaa tarpeen manuaalisille tarkistuksille ja vähentää toimitusten viivästyksiä, jotka voivat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia menetyksiä ja resurssien tehottomuutta.

H3: *”Tietysti jos pystytään eliminoimaan välikäsiä tai kolmansia osapuolia, niin sillähän voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Tyypillisestihän joku kolmas osapuoli hoitaa toimitusketjuohjelmistoa, niin lohkoketjun avulla voitaisiin poistaa kolmas osapuoli, kun kaikki toimitusketjun jäsenet voivat luottaa lohkoketjussa näkyvään dataan.”*

Perinteisesti toimitusketjut nojaavat kolmansien osapuolten hallinnoimiin ohjelmistoihin, jotka välittävät ja varmistavat tietoa eri toimijoiden välillä. Tämä lisää sekä kustannuksia että mahdollisia viiveitä, sillä tiedon kulku riippuu välikäsien toimintakyvystä ja järjestelmien yhteensopivuudesta. Lohkoketju tarjoaa vaihtoehdon tälle mallille, sillä sen hajautettu ja muuttumaton tietokanta mahdollistaa sen, että kaikki toimitusketjun osapuolet voivat itse tarkastella ja hyödyntää tietoa ilman tarvetta keskitetylle tiedonhallinnolle. Tämä voi johtaa merkittäviin kustannussäästöihin, sillä kolmansien

osapuolten palvelumaksut voidaan eliminoida ja prosessien automatisointi vähentää hallinnollista työtä.

Lisäksi välikäsien poistaminen ja tiedon eheys voivat parantaa yritysten luottamusta yhteistyökumppaneihin, sillä lohkoketjun läpinäkyvyys varmistaa, että kaikki osapuolet noudattavat sovittuja ehtoja ilman tarvetta ulkopuoliselle valvonnalle. Tämä tekee toimitusketjusta paitsi kustannustehokkaamman myös joustavamman ja paremmin reagoivan muuttuviin olosuhteisiin, mikä on keskeinen tekijä taloudellisesti vastuullisen toimitusketjun kehittämisessä.

H3: *”Lohkoketjulla pystyttiin parantamaan toimitusvarmuutta ja sitä, että tieto oikeasti tulee perille.”*

Asiantuntijan mukaan lohkoketjun käyttö on jo osoittanut kykynsä parantaa toimitusvarmuutta, sillä se eliminoi tietokatkoksia ja varmistaa, että toimitusketjun eri osapuolet toimivat saman, luotettavan ja ajan tasalla olevan datan perusteella. Kun toimitusvarmuus paranee, yritykset voivat ennustaa toimitusaikataulujaan tarkemmin, mikä puolestaan vähentää tuotantokatkoksia ja varastointikustannuksia.

H4: *”Olisihan se älyttömän kätevää, jos kaikki toimijat käyttäisivät samaa lohkoketjua, ja aina olisi tietyt tiedot tallennettuna, eikä niitä tarvitsisi aina erikseen kysyä. Siinä on valtava työtaakka kysellä, varmistaa, päivittää ja hoitaa sitä informaatiota. Ihan ehdottomasti siinä olisi toiminnan tehostamisen mahdollisuus poistamalla päällekkäisyyksiä.”*

Kun kaikki toimitusketjun tapahtumat kirjataan lohkoketjuun reaaliaikaisesti, varmistetaan, että tieto todella saavuttaa kaikki osapuolet reaaliaikaisesti ilman tietojen manipulointia. Tämä on erityisen tärkeää monimutkaisissa toimitusketjuissa, joissa tieto voi kulkea useiden järjestelmien ja manuaalisten käsittelyvaiheiden kautta.

H3: *”Kuljetusketjun optimointia voidaan parantaa lohkoketjun avulla, eli kerätään paljon tietoa ja pystytään sen perusteella päättämään esimerkiksi, miten satamissa kontteja organisoidaan. Sellaisiin asioihin lohkoketjua voisi käyttää, jos olisi yhtenäinen tieto siitä koko historiasta, jonka kautta voidaan oppia mitä on tapahtunut.”*

Asiantuntijan näkemyksen mukaan lohkoketjuteknologian tarjoama datan kerääminen ja analysointi voi merkittävästi parantaa kuljetusketjun optimointia ja siten edistää toimitusketjun taloudellista vastuullisuutta. Yksi keskeinen etu on kyky hyödyntää historiallista dataa päätöksenteossa. Kun lohkoketjuun tallennetaan kaikki aiemmat tapahtumat muuttumattomana tietokantaan, voidaan niistä oppia ja tehdä ennakoivia

ratkaisuja esimerkiksi satamien konttien organisoinnissa. Tämä on erityisen tärkeää laajoissa logistisissa solmukohtissa, joissa tehokkuuden parantaminen voi tuottaa merkittäviä taloudellisia säästöjä ja vähentää resurssien hukkaa.

Lohkoketjuteknologian avulla kaikki toimitusketjun osapuolet voivat hyödyntää yhtenäistä ja ajantasaista dataa, mikä vähentää muun muassa inhimillisten virheiden, viivästysten ja väärinkäsitysten riskiä. Satamien konttien hallinnassa tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi konttien siirtelyä ja varastointia voidaan optimoida reaaliaikaisen tiedon perusteella, jolloin ylimääräisiä käsittelyvaiheita ja logistisia pullonkauloja voidaan vähentää. Lisäksi lohkoketju voi auttaa tunnistamaan ja ratkaisemaan toistuvia ongelmia, kuten viivästyksiä tai resurssien epätasaista jakautumista, sillä se mahdollistaa tiedon pitkäaikaisen hyödyntämisen kuljetusketjujen optimoimiseksi.

Alla olevaan taulukkoon on koottu keskeisiä tuloksia siitä, miten lohkoketjuteknologia voi edistää toimitusketjujen ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista vastuullisuutta.

Taulukko 2: Lohkoketjuteknologian mahdollistamat vastuullisuusvaikutukset

Vastuullisuuden osa-alue	Mekanismi	Vaikutus
Ympäristöllinen	Läpinäkyvä tieto kaikille halutuille toimitusketjun osapuolille	-Resurssien tehokkaampi hyödyntäminen → vähemmän tyhjäkäyntiä & organisoidummat prosessit
	Reaaliaikainen data	-Just-In-Time-logistiikka
	Järjestelmien / servereiden vähäisempi määrä	-Pienemmät ympäristöhaitat
Sosiaalinen	Työtuntien automaattinen tallennus lohkoketjuun & hälytys työtuntien ylityksistä	-Valvonnan helpottuminen -Työolojen & turvallisuuden parantuminen
	Pääsy tietoihin ruuan / tuotteiden alkuperästä	-Luottamus luomutuotteiden alkuperään -Kuluttajien luottamuksen kasvu paremman läpinäkyvyyden myötä

Taloudellinen	Reaaliaikainen & luotettava tieto	-Liiketoimintapäätösten perustaminen lohkoketjussa olevaan luotettavaan tietoon -Toimintojen tehostaminen esim. minimoimalla tyhjäkäynti & odotusaika - Just-In-Time-logistiikka
	Välikäsien eliminointi	-Kustannussäästöt

5.4 Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä

Lohkoketjuteknologian kyky edistää toimitusketjun vastuullisuutta perustuu sen keskeisiin ominaisuuksiin; läpinäkyvyyteen, jäljitettävyyteen, hajautettuun hallintaan, muuttumattomuuteen ja älysovimuksiin. Näiden ominaisuuksien ansiosta lohkoketju voi tarjota ratkaisuja toimitusketjujen vastuullisuuteen liittyviin haasteisiin, kuten epäluotettaviin tietoihin, petoksiin, tehottomiin hallintaprosesseihin sekä ympäristöllisten ja sosiaalisten vaikutusten arvioinnin vaikeuteen.

Haastateltavilta kysyttiin heidän näkemyksiään siitä, mitkä ovat lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen kannalta. Haastatteluissa asiantuntijat toivat esiin, että lohkoketjuteknologian potentiaali toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä liittyy erityisesti tiedon avoimuuden lisäämiseen ja prosessien automatisointiin. Lisäksi teknologian hajautettu toimintamalli voi vähentää väärinkäytöksiä ja varmistaa, että toimitusketjun eri osapuolilla on yhteneväinen ja luotettava näkymä keskeisiin tietoihin.

5.4.1 Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys

Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys ovat keskeisiä tekijöitä toimitusketjun vastuullisuuden edistämässä, sillä ne mahdollistavat toimitusketjun eri vaiheiden tarkastelun reaaliaikaisesti ja luotettavasti. Seuraavat asiantuntijahaastatteluista poimitut lainaukset valottavat, kuinka läpinäkyvyys ja jäljitettävyys voivat edistää toimitusketjun vastuullisuutta lohkoketjuteknologian avulla.

H4: *”Kyllä ehdottomasti läpinäkyvyys ja jäljitettävyys on niitä keskeisimpiä lohkoketjun ominaisuuksia toimitusketjun vastuullisuuden edistämisen kannalta. Eli jos kuluttajille pystytään luotettavasti osoittamaan, mistä tuotteet tulee, niin kyllähän kuluttajien luottamus kasvaa valtavasti.”*

H1: *”Läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden avulla voidaan kasvattaa luottamusta eri toimijoiden välillä”*

Näkemykset korostavat läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden keskeistä roolia toimitusketjun vastuullisuuden edistämisessä. Kun kaikki toimitusketjun osapuolet voivat tarkastella tietoja avoimesti ja reaaliaikaisesti, syntyy luottamusta eri toimijoiden välille. Tämä vähentää epäselvyyksiä, väärinkäytöksiä ja petosten mahdollisuutta, sillä lohkoketjuun tallennettu data on muuttumatonta ja kaikkien osapuolten vahvistamaa. Luottamuksen lisääntyminen voi puolestaan parantaa yhteistyötä ja vastuullisuustoimenpiteiden toteutumista koko toimitusketjussa, sillä yritykset voivat varmistua siitä, että kumppanit noudattavat vastuullisuusvaatimuksia ja sovittuja standardeja.

H3: *”Kyllä jäljitettävyys ja muuttumattomuus on varmaan ne keskeisimmät ominaisuudet. Tiedät että kuka tiedon on syöttänyt, eikä tietoa käytännössä pysty väärentämään lohkoketjussa.”*

Jäljitettävyyden avulla voidaan seurata tuotteen alkuperää ja kaikkia toimitusketjussa tapahtuneita vaiheita, mikä lisää vastuullisuutta erityisesti eettisessä hankinnassa ja päästöraportoinnissa. Muuttumattomuus puolestaan varmistaa, että kerran lohkoketjuun tallennettu tieto on pysyvää eikä sitä voida muokata jälkikäteen, mikä ehkäisee tietojen manipulointia ja lisää toimitusketjun luotettavuutta. Tämä vähentää petosten ja epäeettisten käytäntöjen riskiä sekä mahdollistaa tarkemman ja luotettavamman vastuullisuusraportoinnin.

5.4.2 Muuttumattomuus

Muuttumattomuudella tarkoitetaan sitä, että tiedon tallennuttua lohkoketjuun, sitä ei voida muuttaa tai poistaa ilman verkoston konsensusta, mikä varmistaa tietojen eheyden ja vähentää petosten ja manipuloinnin riskiä (Yuan & Wang, 2018). Muuttumattomuuden ominaisuus on erityisen arvokas toimitusketjuissa, jossa tietojen väärentäminen, esimerkiksi tuotteiden alkuperän, päästöraportoinnin tai työolosuhteiden osalta, voi olla merkittävä haaste (Saber ym. 2019).

H3: *”Perinteisiin järjestelmiin verrattuna muuttumattomuus on se keskeisin hyöty mitä lohkoketjuteknologia tarjoaa.”*

H2: *”Lohkoketjutietokantaan tallennetulla tiedolla on sellaisia ominaisuuksia, joita tavalliseen tietokantaan tallennetulla tiedolla ei ole. Se on ensinnäkin 100 prosenttisen ehyttä, eli kukaan ei ole voinut muuttaa sitä tietoa millään tavalla. Lohkoketju on ainut tietokanta, joka mahdollistaa tämänkaltaisen muuttumattomuuden.”*

Toisin kuin monet perinteiset tietokannat, joissa tietoja voidaan muokata, poistaa tai manipuloida jälkikäteen, lohkoketjuteknologian rakenteeseen kuuluu kryptografisesti suojattu ja hajautetusti ylläpidetty pääkirja, joka estää tietojen luvattoman muuttamisen. Edellä mainittu ominaisuus parantaa toimitusketjujen luotettavuutta erityisesti vastuullisuusraportoinnissa, sillä kaikki tapahtumat ja tallennetut tiedot pysyvät eheinä ja jäljitettävänä koko toimitusketjun elinkaaren ajan. Muuttumattomuus vahvistaa myös toimitusketjun osapuolten välistä luottamusta, sillä se estää tehokkaasti petoksia ja tietojen manipulointia.

H1: *”Sinne (lohkoketjuun) jää jälki, että alkuperäinen dokumentti on tämä, siihen on tehty tällaisia muutoksia tänä ajankohtana. Eli sinne jää se historiajälki kaikista tapahtumista. Se on ehkä jopa väärinymmärrettyä lohkoketjuissa, eli pystyt kyllä muokkaamaan tietoa tarvittaessa, mutta siitä jää aina jälki, että mitä on tehty mihinkin kohtaan.”*

H2: *”Riippumatta siitä, onko rooli arvoketjussa pysyvä vai muuttuva, siihen tietoon, jota jäsen lohkoketjuun tuottaa, voidaan luottaa.”*

Muuttumattomuuden rooli korostuu asiantuntijoiden kommentteissa siten, että kaikki tapahtumat ja muokkaukset tallentuvat pysyvästi ja ovat jäljitettävissä. Tämä edistää toimitusketjun vastuullisuutta, sillä se estää tietojen manipuloinnin ja mahdollistaa kattavan ja luotettavan tietojen tarkastuksen. Vaikka tietoja voidaan päivittää, lohkoketjun rakenne takaa, että alkuperäinen sisältö säilyy ja muutokset dokumentoidaan läpinäkyvästi. Lohkoketjuteknologian muuttumattomuus parantaa luottamusta toimitusketjun osapuolten välillä ja tukee vastuullisuuden varmistamista esimerkiksi eettisen hankinnan ja päästöraportoinnin osalta.

5.4.3 Hajautettu hallinta

Lohkoketjuteknologian hajautettu hallinta on yksi sen keskeisimmistä eroavaisuuksista perinteisiin keskitettyihin järjestelmiin verrattuna. Hajautetussa järjestelmässä tietoa ei hallinnoi yksi keskitetty taho, vaan se on jaettu kaikkien verkoston osallistujien kesken,

mikä vähentää yhden keskeisen osapuolen hallintavaltaa ja haavoittuvuutta. Hajautus mahdollistaa merkittäviä etuja toimitusketjun vastuullisuuteen liittyen, kuten läpinäkyvyyden lisääntymisen, tietojen eheämmän säilyttämisen ja vähentyneen manipulointiriskin kautta (Saber ym. 2019). Hajautettu hallinta varmistaa, että toimitusketjun eri osapuolilla on pääsy samaan, muuttumattomaan tietoon, mikä lisää luottamusta ja tehostaa yhteistyötä (Casino ym. 2019). Seuraavissa lainauksissa asiantuntijat kuvaavat hajautetun hallinnan merkitystä toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi.

H2: *”Lohkoketju on tietokantamuotona hajautettu. Tarkoittaen sitä, että lohkoketjun käyttäjät nauttivat sellaisesta tiedon läpinäkyvyydestä, joka ei tavallisessa tietokannassa ole mahdollista. Kun tieto on hajautettu ja konkreettisesti omistat oman palan lohkoketjutietokantaa, voit olla varma siitä, että lohkoketjuun tallennettu tieto on synkronoitu muilla käyttäjillä olevan tiedon kanssa. Eli läpinäkyvyys syntyy sitä kautta ja tämä on se mahdollistava tekijä.”*

Haastateltavan mukaan jokainen lohkoketjun käyttäjä omistaa osan lohkoketjun tiedosta, mikä tekee järjestelmästä aidosti yhteisöllisen ja läpinäkyvän. Koska tiedot ovat automaattisesti synkronoituna kaikilla osapuolilla, voidaan varmistaa, että kaikki toimijat työskentelevät saman, ajan tasalla olevan ja muuttumattoman tiedon pohjalta. Tämä tukee vastuullisuuden tavoitteita esimerkiksi toimitusketjun tapahtumien luotettavassa dokumentoinnissa ja auditoinnissa.

Lisäksi hajautettu hallinta mahdollistaa sen, että eri toimitusketjun osapuolet voivat seurata ja tarkastella tietoa ilman, että heidän täytyy luottaa yksittäiseen keskitettyyn tietolähteeseen. Näin lohkoketju vahvistaa luottamusta eri toimijoiden välillä ja tukee avoimuuteen perustuvaa vastuullista toimintakulttuuria, mikä on keskeinen osa erityisesti ympäristö- ja sosiaalisten vaikutusten seurantaan globaalissa toimintaympäristössä.

H1: *”Kun yhteen lohkoketjun noodiin lisätään tietoa, se valuu automaattisesti myös muille osapuolille. Näin ollen syötetty tieto on kaikille sama, ja voidaan tarkistaa, onko historiaa muutettu tai yritetty muuttaa”*

Tämä varmistaa, että kaikilla toimijoilla on käytössään sama, ajan tasalla oleva tieto, mikä lisää järjestelmän luotettavuutta ja vähentää väärinymmärrysten tai virheellisen datan riskiä. Tietojen automaattinen synkronointi tarkoittaa myös, että mahdolliset yritykset muuttaa historiaa, kuten tuotteen alkuperää, toimitusaikoja tai päästötietoja, voidaan havaita välittömästi. Tämän ansiosta lohkoketju voi toimia myös sisäänrakennettuna tarkastusmekanismina, joka vahvistaa tietojen eheyden ja vähentää petosten tai tietojen

manipuloinnin mahdollisuutta. Näin lohkoketjun hajautettu arkkitehtuuri tukee toimitusketjun vastuullisuutta tarjoamalla läpinäkyvän ja muutoshistorian säilyttävän tietorakenteen, jota kaikki verkon osapuolet voivat valvoa ja hyödyntää.

5.4.4 Älysopimukset

Aiemmassa kirjallisuudessa älysopimukset on tunnistettu keskeiseksi lohkoketjuteknologian ominaisuudeksi vastuullisuuden edistämisen ja toimintojen tehostamisen kannalta, ja älysopimusten rooli nousi esille myös asiantuntijahaastatteluissa.

H1: ”Kun esimerkiksi uusi tilaus syötettiin, sama älysopimus käytetään jokaisella noodilla. Jos noodit saavat saman tuloksen aikaiseksi, tieto menee lohkoketjuun. Älysopimuksella määritetään ehdot, joiden pitää täytyä jokaisella noodilla.”

Edellä mainitun kaltainen prosessi varmistaa sen, että lohkoketjuun syötetty tieto ei ole virheellistä. Näin voidaan välttää virheellisten, manipuloitujen tai korruptoituneiden tietojen leviäminen lohkoketjussa, säästäten vaivaa ja lisäten lohkoketjuun tallennetun tiedon luotettavuutta.

H2: ”Älysopimukset ovat lohkoketjun keskeinen ominaisuus, joka puuttuu perinteisistä tietokannoista kokonaan. Ne mahdollistavat useita asioita yhdistettynä teknologian läpinäkyvyyteen. Voidaan esimerkiksi toimitusketjuissa täsmäyttää lähetys- ja vastaanottoilmoitukset, jonka jälkeen älysopimuksia hyödyntämällä voidaan automatisoida laskutusprosessi”

Haastateltava korostaa älysopimusten poikkeuksellisuutta perinteisiin tietokantamenetelmiin nähden. Keskeisenä käytännön sovelluksena haastateltava näkee esimerkiksi prosessien automatisoinnin, mikä edistää prosessien luotettavuutta ja tehokkuutta.

H2: ”Älysopimuksen sisältö voi olla lähes mitä tahansa algoritmista ohjetta siitä, miten ja milloin jokin asia toteutetaan. Se mahdollistaa sen, että esimerkiksi kuljetusketjuissa pääsy rahtikirjoihin voidaan helposti antaa viranomaisille älysopimuksen avulla. Laaditaan siis sellainen älysopimus, joka poimii rahtikirjoista sen tiedon, joka viranomaisia kiinnostaa, ja jätetään kaikki muu liikesalaisuuksien alainen tieto poimimatta.”

Haastateltavan näkemyksessä korostuu älysopimusten rooli tietojen hallinnan tarkkuuden ja valikoituvuuden mahdollistajana toimitusketjuissa. Haastateltava tuo esiin, että älysopimukset voivat toimia automatisoituina sääntöinä, jotka määrittävät, mitä tietoa toimitetaan ja kenelle. Tämä on erityisen merkittävää viranomaisyhteistyön ja sääntelyn

näkökulmasta. Näkemyksen perusteella älysovimuksia voidaan hyödyntää viranomaisten tiedonsaannin helpottamiseen ilman, että yritysten liiketoimintakriittiset tai luottamukselliset tiedot vaarantuvat. Tällainen rajattu ja kontrolloitu pääsy lohkoketjun sisältämään tietoon voi tukea sääntelyn noudattamista, esimerkiksi EU:n kestävyysraportoinnin vaatimusten täyttämistä, säilyttäen kuitenkin kilpailusalaisuudet ja muut tiedot, joiden ei haluta joutuvan väärin käsiin.

H2: ”Viranomaisten tieto kuljetusketjusta muuttuu älysovimuksen myötä täysin läpinäkyväksi sen tiedon osalta, mikä heille kuuluu. Esimerkiksi EU:n kestävyysraportointilainsäädännön mukaiset ilmoitusvelvollisuudet voitaisiin automatisoida lohkoketjun avulla.”

Etenkin EU:ssa, mutta myös globaalisti, lisääntyvä vastuullisuussääntely aiheuttaa yrityksille merkittäviä haasteita tuottaa ja julkaista regulaation määrittelemiä vastuullisuusraportteja. Keskeisinä haasteina ovat muun muassa datan saatavuus, luotettavuus ja yhteneväisyys. Lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä vastuullisuusdatan kerääminen voidaan automatisoida. Esimerkiksi lohkoketjuun kirjatut kuljetussuoritteet ja vastuullisuussertifikaatit voidaan älysovimusten avulla ohjelmoida siirtymään reaaliajassa tietokantaan, josta kyseistä dataa tarvitsevat voisivat poimia tarvitsemansa tiedot.

H2: ”Älysovimukset ovat todella hyviä havaitsemaan poikkeamia. Niiden avulla pystytään havaitsemaan laajemmassa mittakaavassa ja aikaisemmassa vaiheessa huijaus- ja välistävetoyritykset, jotka liittyvät esimerkiksi lastin manipulointiin. Kun koko kuljetusketjun tapahtumat kirjataan lohkoketjuun, petosten tekeminen hankaloituu huomattavasti.”

Asiantuntijan mukaan älysovimuksilla on keskeinen rooli toimitusketjun turvallisuuden parantamisessa erityisesti petosten ja väärinkäytösten ehkäisyssä. Älysovimukset mahdollistavat poikkeamien havaitsemisen paitsi aikaisemmassa vaiheessa myös laajemmassa mittakaavassa kuin perinteiset järjestelmät. Lohkoketjuteknologia ei siis ainoastaan reagoi ongelmiin jälkikäteen, vaan kykenee automaattisesti tunnistamaan epänormaalia toimintaa ennalta määritettyjen ehtojen perusteella. Erityisesti kuljetuksiin liittyvien huijausyritysten, kuten lastin manipuloinnin, ennaltaehkäisy tehostuu, kun koko kuljetusketjun tapahtumat kirjataan lohkoketjuun pysyvästi ja läpinäkyvästi. Tämä ei ainoastaan lisää toimitusketjun luotettavuutta, vaan myös kasvattaa osapuolten välistä luottamusta. Älysovimukset voivat siis toimia aktiivisena valvontamekanismina, joka tuo uuden ulottuvuuden toimitusketjun riskienhallintaan ja vastuullisuuden varmistamiseen.

Taulukko 3: Lohkoketjuteknologian keskeisimmät ominaisuudet toimitusketjun vastuullisuuden edistämiseksi

Ominaisuus	Mekanismi	Vaikutus
Läpinäkyvyys	Reaaliaikainen tiedonjako eri sidosryhmille	-Tietojen luotettavuus -Luottamus eri toimijoiden välillä
	Alkuperätodistusten valvonta	-Poikkeamien ja eroavaisuuksien tunnistaminen -Eettisen kaupan valvonnan tehostuminen
	Väärinkäytösten tunnistaminen	-Kannustin vastuullisempiin toimintamalleihin
Jäljitettävyys	-Lohkoketjuun tallennettujen tietojen luotettavuus	-Ruuan luomutuottajien todentaminen & ruokaväärennöstapausten vähentyminen
Hajautettu hallinta	Useiden nooidien ylläpitämä, hajautettu hallinta → Sama reaaliaikainen tieto tallentuu jokaiselle lohkoketjun käyttäjälle	-Tiedon luotettavuus -Historiatietojen tarkastelu luotettavasti
Muuttumattomuus	Tiedon muuttumattomuus ja säilyvyys lohkoketjussa	-Yhtenäinen & luotettava historiadata sekä siitä oppiminen
Älysopimukset	Päästölaskelmat	-Laskentatavan & sisällön läpinäkyvyys sekä saatavuus
	Älysopimukset poikkeamien tunnistajana	-Poikkeamien havaitseminen & petosten tekemisen haastavuus

6 Johtopäätökset ja keskustelu

Tutkimuksen tulokset tarjosivat uusia näkökulmia aiempiin tutkimuksiin nähden sekä suurelta osin myös tukivat aiempia tutkimustuloksia lohkoketjuteknologian potentiaalista toimitusketjujen vastuullisuuden edistämiseksi. Tässä luvussa kootaan yhteen keskeisimmät havainnot tuloksista sekä verrataan tuloksia aiempaan kirjallisuuteen.

6.1 Ympäristöllinen vastuullisuus

Tulosten perusteella lohkoketjuteknologia tarjoaa uudenlaisia mahdollisuuksia toimitusketjun ympäristövastuullisuuden edistämiseen. Tutkimuksessa havaittiin, että lohkoketjuteknologia tukee ympäristöllistä vastuullisuutta erityisesti logistiikan optimoinnin, päästöjen seurannan ja resurssien käytön tehokkuuden kautta. Haastateltavat korostivat esimerkiksi satama-aikojen lyhentämisen ja prosessien koordinoinnin merkitystä päästöjen vähentämisessä. Näkemys linkittyy myös aiempaan kirjallisuuteen - Chrysostomou ym. (2019) ovat todenneet, että satamakäyntien synkronointi ja koordinointi laivojen ja sataman välillä voivat vähentää sekä odotusaikoja että päästöjä, tukien ympäristövastuullisuuden lisäksi taloudellista vastuullisuutta.

Tuloksissa korostuu lisäksi toimitusketjun tehokkuuden parantaminen sekä jäljitettävyyden ja läpinäkyvyyden. Näiden lohkoketjuteknologian mahdollistamien ominaisuuksien avulla esimerkiksi päästöjen seuranta voidaan toteuttaa tarkemmin ja reaaliajassa, mikä mahdollistaa tehokkaamman raportoinnin ja päästövähennystoimenpiteiden kohdentamisen. Tulos tukee aiempia tutkimuksia, joissa on osoitettu lohkoketjun mahdollistavan luotettavan ja standardoidun päästötiedon hallinnan (Saberin ym. 2019; Bai & Sarkis, 2020). Lohkoketjun avulla voidaan myös esimerkiksi automatisoida päästölaskenta älysovimusten avulla mahdollistaen sen, että päästölaskelmat tehdään johdonmukaisesti ennalta määritetyin kriteerein, vähentäen inhimillisiä virheitä ja manipulointimahdollisuuksia sekä vähentäen vastuullisuusraportointiin käytettäviä resursseja. Tämä on merkittävä etu erityisesti tilanteissa, joissa sidosryhmät, kuten viranomaiset ja kuluttajat, vaativat tarkkaa ja läpinäkyvää ympäristöraportointia.

Lisäksi vastuullisuusraportointiin liittyen ilmeni, että lohkoketjuteknologia voi auttaa organisaatioita täyttämään kansainvälisiä vastuullisuusstandardeja, kuten CSRD:n asettamia vaatimuksia. Reaaliaikainen ja muuttumaton data mahdollistaa sen, että ympäristövaikutuksia koskevat raportit voidaan laatia tehokkaammin ja luotettavammin. Tämä voi myös vahvistaa sidosryhmien luottamusta yrityksen vastuullisuuteen.

Lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä voidaan edistää myös kuljetusketjujen optimointia muun muassa kuljetusprosessien tehostamisen, satamakäyntien synkronoinnin ja resurssien parempaan kohdentamiseen liittyvien toimintojen kautta. Kun kaikilla osapuolilla on sama, luotettava ja reaaliaikainen tieto esimerkiksi kuljetussuoritteiden etenemisestä ja historiasta, toimintojen ja prosessien parempi optimointi mahdollistuu. Nämä näkemykset tukevat Chrysostomou ym. (2019) tutkimusta, jonka mukaan logistiikkaprosessien parantaminen voi vähentää odotusaikoja ja päästöjä merkittävästi.

Tulokset lohkoketjuteknologiasta toimitusketjun ympäristöllisen vastuullisuuden edistäjänä tukevat myös aiempaa kirjallisuutta, jonka mukaan lohkoketjun keskeiset ominaisuudet – läpinäkyvyys, muuttumattomuus, jäljitettävyyys ja älysovimukset – voivat tarjota ratkaisuja ympäristövaikutusten hallintaan toimitusketjuissa (Saber ym. 2019; Bai & Sarkis, 2020).

6.2 Sosiaalinen vastuullisuus

Sosiaalisen vastuullisuuden näkökulmasta lohkoketjuteknologian keskeiset edut liittyvät jäljitettävyyteen, muuttumattomuuteen ja hajautettuun hallintaan. Tuloksissa nousi esille, että lohkoketjun avulla voidaan lisätä toimitusketjujen läpinäkyvyyttä erityisesti työolosuhteiden ja alkuperätietojen osalta. Tulokset tukevat myös Saber ym. (2019) ja Casino ym. (2019) havaintoja, joiden mukaan lohkoketjuteknologia voi vähentää sosiaalisen vastuun laiminlyöntejä. Lohkoketjun muuttumaton tietorakenne mahdollistaa sen, että esimerkiksi alkuperätodistukset ja työntekijöiden oikeuksia koskevat tiedot voidaan säilyttää ehjinä ja jäljitettävänä. Näin voidaan estää väärinkäytöksiä, kuten tietojen manipulointia tai sertifikaattien väärentämistä. Kun tietoja ei voida muuttaa jälkikäteen ilman koko verkoston hyväksyntää, tiedon luotettavuus parantuu.

Lohkoketjun hajautettu hallintamalli mahdollistaa sen, että valvonta ja auditointi voidaan toteuttaa ilman keskitettyä viranomaista. Tämä voi olla erityisen arvokasta kehittyvissä maissa tai vaikeasti valvottavissa toimitusketjuissa, joissa sosiaalisen vastuullisuuden rikkomukset ovat yleisempiä. Esimerkiksi lapsityövoiman ja epäinhimillisten työolojen tunnistaminen helpottuu, kun tiedot tuotantopaikoista ja työehdoista ovat avoimesti saatavilla kaikille toimitusketjun osapuolille sekä halutuvin osin myös kolmansille osapuolille, kuten viranomaisille.

Potentiaalisten positiivisten vastuullisuusvaikutusten lisäksi lohkoketjun hyödyntäminen edellyttää kuitenkin luotettavaa tietojen syöttämistä järjestelmään. Näkökulma tukee Kouhizadeh & Sarkis (2018) argumenttia siitä, että teknologian vaikutus perustuu sen käyttötapaan ja siihen, kuinka luotettavaa ja objektiivista syötetty tieto on.

6.3 Taloudellinen vastuullisuus

Tutkimustulosten perusteella taloudellisen vastuullisuuden osalta lohkoketjuteknologian merkittävimmät hyödyt liittyvät transaktiokustannusten vähentämiseen, prosessien automatisointiin ja toimitusvarmuuden parantamiseen. Reaaliaikainen ja läpinäkyvä tieto tukee parempaa päätöksentekoa ja resurssien kohdentamista, vähentäen varastointitarvetta, päällekkäistä työtä ja viivästyksiä.

Erityisesti älysovimusten rooli nähtiin keskeisenä kustannustehokkuuden parantamisessa. Älysovimusten avulla voidaan automatisoida esimerkiksi laskutus, sovimusten valvonta ja tietojen täsmäytys, mikä vähentää manuaalista hallinnollista työtä ja mahdollistaa prosessien nopeuttamisen. Nämä havainnot ovat linjassa Duan ym. (2024) esittämien tulosten kanssa.

Tuloksissa korostuu myös lohkoketjuteknologian potentiaali välikäsien poistamisessa. Perinteisesti toimitusketjut ovat usein riippuvaisia kolmansista osapuolista, kuten logistiikkaoperaattoreista tai tietojärjestelmätoimittajista. Lohkoketju mahdollistaa sen, että kaikki toimitusketjun osapuolet voivat jakaa ja tarkastella tietoa samassa verkostossa ilman välikäsiä, mikä saattaa vähentää kustannuksia ja lisätä toimitusketjun joustavuutta.

Toimitusvarmuuden parantaminen nousi tuloksissa keskeisenä hyötynä esille, sillä lohkoketjun avulla voidaan varmistaa, että oikea tieto saavuttaa oikeat toimijat oikeaan aikaan. Tämä mahdollistaa muun muassa Just-in-Time-logistiikan paremman toteutuksen, mikä voi johtaa resurssitehokkuuden ja kustannussäästöjen lisäksi myös päästöjen vähenemiseen.

6.4 Yhteenveto, tieteelliset kontribuutiot ja jatkotutkimus

Lohkoketjuteknologia tarjoaa monipuolisia ja laajasti sovellettavia ratkaisuja toimitusketjujen vastuullisuuden edistämiseen. Sen teknologiset ominaisuudet – kuten läpinäkyvyys, muuttumattomuus, jäljitettävyys, hajautettu hallinta ja älysovimukset – mahdollistavat tehokkaamman, läpinäkyvämmän ja reilumman toimitusketjun hallinnan.

Edellä mainitut ominaisuudet tukevat sekä yritysten sisäisiä vastuullisuustavoitteita että ulkoisia raportointi- ja sääntelyvaatimuksia.

Tutkimuksen keskeisimpänä tieteellisenä kontribuutiona on lohkoketjuteknologian ominaisuuksien yhdistäminen toimitusketjujen vastuullisuuden kolmeen ulottuvuuteen empiiristen havaintojen pohjalta. Tutkimus tarjoaa kokonaisvaltaista näkemystä lohkoketjuteknologian roolista toimitusketjujen vastuullisuuden edistämässä ympäristöllisestä, sosiaalisesta ja taloudellisesta näkökulmasta.

Tutkimuksen tulosten rajoitteena voidaan pitää aineiston kvalitatiivista luonnetta ja haastateltavien rajallista määrää, mikä saattaa heikentää tulosten yleistettävyyttä. Haastateltavien näkemykset perustuivat heidän henkilökohtaisiin kokemuksiinsa lohkoketjuteknologiasta ja sen hyödyntämisestä toimitusketjuissa, minkä vuoksi toistettavuus saattaa kärsiä. Jatkotutkimuksessa olisi hyödyllistä tehdä kvantitatiivisia analyyseja, joilla voidaan arvioida lohkoketjuteknologian vaikutuksia eri vastuullisuusindikaattoreihin eri toimialoilla. Lisäksi olisi keskeistä tarkastella tarkemmin, miten lohkoketju voidaan integroida muihin teknologioihin, kuten IoT:hen tai tekoälyyn, vastuullisuuden edistämiseksi.

Lohkoketjuteknologia ei yksin ratkaise nykyajan toimitusketjujen vastuullisuuden haasteita, mutta se tarjoaa tehokkaita ja läpinäkyviä välineitä niiden hallintaan. Teknologian vaikuttavuus on kuitenkin osittain riippuvainen siitä, kuinka luotettavasti ja vastuullisesti sitä käytetään toimitusketjun eri vaiheissa.

Lähteet

- Abeyratne, S. & Monfared, R. (2016) Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger. *Journal of Research in Engineering and Technology*. Vol. 5, No. 9.
- Accenture (2023), *How supply chain sustainability helps unlock resilience and growth*. <https://www.accenture.com/fi-en/insights/supply-chain-operations/supply-chains-key-unlocking-net-zero-emissions>, haettu 5.3.2025.
- Agrawal, T., Angelis, J., Khilji, W. A., Kalaiarasan, R., & Wiktorsson, M. (2022). Demonstration of a blockchain-based framework using smart contracts for supply chain collaboration. *International Journal of Production Research*, Vol. 61 (7), 1497–1516.
- Ahluwalia, S. - Mahto, R. - Guerrero, M. (2020). Blockchain technology and startup financing: A transaction cost economics perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 151
- Alghababseh, M., & Gallear, D. (2022). Social sustainability in the supply chain: A literature review of the adoption, approaches and (un)intended outcomes. *Management & Sustainability: An Arab Review*.
- Alhat, P. (2024). *Blockchain technology*. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*. 8(4), 1–5.
- Amaeshi, K. M., Osuji, O. K., & Nnodim, P. (2006). Corporate social responsibility in supply chains of global brands: A boundaryless responsibility? *Journal of Business Ethics*, 81(1), 223–234.
- Arshad, A., Shahzad, F., Ur Rehman, I., & Sergi, B. S. (2023). A systematic literature review of blockchain technology and environmental sustainability: Status quo and future research. *International Review of Economics & Finance*, 88, 1602–1622.
- Aung, M. & Chang, Y. (2014) Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, Vol. 39, 172–184.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2020). A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2142–2162.
- Beck, R., Avital, M., Rossi, M., Thatcher, J. B. (2017) Blockchain Technology in Business and Information Systems Research. *Business & Information Systems Engineering*. 59(6), 381-384.
- Blome, C., Hollos, D., Paulraj, A. (2014) Green procurement and green supplier development: antecedents and effects on supplier performance. *International Journal of Production Research*. Vol. 52 (1), 32–49.
- Bocken, N., Short, S., Rana, P., Evans, S., (2014) A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, (65), 42-56.
- Bottoni, P., Gessa, N., Massa, G., Pareschi, R., Selim, H., & Arcuri, E. (2020). Intelligent smart contracts for innovative supply chain management. *Frontiers in Blockchain*, 3.
- Bowen, F., Cousins, P., Lamming, R., Faruk, A. (2001). The role of supply management in green supply. *Production and Operations Management*, Vol. 10 (2), 174–189.
- Bubicz, M. E., Dias Barbosa-Póvoa, A. P. F., & Carvalho, A. (2021). Social sustainability management in the apparel supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 280.

- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Status, classification, and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81.
- Centobelli, P., Cerchione, R., Del Vecchio, P., & Oropallo, E. (2022). Blockchain technology for bridging trust, sustainability and quality in operations management. *Journal of Operations Management*, 68(2), 234–258.
- Chen, H., Daugherty, P. & Landry, T. (2009) Supply Chain Process Integration: A Theoretical Framework. *Journal of Business Logistics*, Vol. 30, No. 2.
- Chowdhury, M., Colman, A., Kabir, M. A., Han, J., & Sarda, P. (2018). Blockchain versus database: A critical analysis. *2018 IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, 1348–1353.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016) Blockchain and smart contracts for the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, (4) 2292-2303.
- Creswell, J. (2014) *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed method approaches* (4. painos). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Crosby, M., Nachiappan., Pattanayak, P., Verma, S., Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain Technology: Beyond Bitcoin. *Applied Innovation Riview*, issue 2.
- Davis, S. J., Peters, G. P., & Caldeira, K. (2011). The supply chain of CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(45), 18554–18559.
- de Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: A systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 1-12.
- Deloitte (2022). *Using blockchain to drive supply chain transparency: Use cases and future outlook on blockchain in supply chain management*. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/articles/blockchain-supply-chain-innovation.html>
- Di Vaio, A., & Varriale, L. (2020). Blockchain technology in supply chain management for sustainable performance: Evidence from the airport industry. *International Journal of Information Management*, 52.
- Dobrovnik, M., Herold, D. M., Fürst, E., & Kummer, S. (2018). Blockchain for and in logistics: What to adopt and where to start. *Logistics*, 2(3), 18.
- Dolgui, A., Ivanov, D., Sokolov, B. (2018) Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 414-430.
- Duong, N. (2022). Relationship of Social Sustainability, Operational Performance and Economic Performance in Sustainable Supply Chain Management. *Global business and finance review*, Vol. 27, 47–65.
- Elkington, J. (1998). The triple bottom line: Sustainability's accountants. In *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. (49–65). New Society Publishers.
- European Commission Corporate sustainability reporting. https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en, haettu 10.3.2025.
- European Commission. (2022). *Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>, haettu 15.3.2025.
- Fawcett, S., Magnan, G. (2002) The Rhetoric and Reality of Supply Chain Integration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics*. Vol. 32, No. 5.

- Flint, D. (2004). Strategic marketing in global supply chains: Four challenges. *Industrial Marketing Management*, Vol. 33, 45–50.
- Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1).
- Fransoo, J., Günther, H.O., Jammernegg, W. (2013) Environmental sustainability in supply chains. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. Vol. 26, 1–4.
- Friedman, N., & Ormiston, J. (2022). Blockchain as a sustainability-oriented innovation? Opportunities for and resistance to Blockchain technology as a driver of sustainability in global food supply chains. *Technological Forecasting and Social Change*.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., Hultink, E. (2017) The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, 757–768.
- Geng, Y., & Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 231–239.
- Goel, P. (2010) Triple Bottom Line Reporting: An Analytical Approach for Corporate Sustainability. *Journal of Finance, Accounting & Management* 1(1).
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66–83.
- Groschopf, W., Dobrovnik, M., & Herneth, C. (2021). Smart contracts for sustainable supply chain management: Conceptual frameworks for supply chain maturity evaluation and smart contract sustainability assessment. *Frontiers in Blockchain*, 4.
- Hald, K. S., & Kinra, A. (2019). How the blockchain enables and constrains supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 49(4), 376-397.
- Hofstede, G. J. (2007). Trust and transparency in supply networks: A contradiction?
- Howson, P. (2021). Distributed degrowth technology: Challenges for blockchain beyond the green economy. *Ecological Economics*, 184.
- Hughes, A., Chin, S., & Zhang, X. (2019). Blockchain and Labour Rights: New potentials for worker empowerment in global supply chains? *New Technology, Work and Employment*, 34(3), 1-18.
- Hutchins, M. J., & Sutherland, J. W. (2008). An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1688–1698.
- Jensen, M., Hedman, J., & Henningsson, S. (2019). How blockchain technology supports supply chain transparency. *Journal of Management Information Systems*, 37(1), 85-111.
- Jumagaliyeva, A. M., Tulegulov, A. D., Murzabekova, G. E., & Muratova, G. K. (2024). Application of smart contracts in electronic systems based on blockchain technologies. 2, 23–357.
- Kamble, S., Gunasekaran, A., Arha, H., (2019) Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains – Indian context. *International Journal of Production Research*, Vol. 57(7), 2009-2033.
- Khairunnisa, N., Christiani, F., & Prawiyogi, A. G. (2024). Supply chain transparency: Exploring blockchain solutions for enhanced traceability and efficiency. *Blockchain Frontier Technology*. 4(1).

- Khan, S. A. R., Godil, D. I., Jabbour, C. J. C., Shujaat, S., Razzaq, A., & Yu, Z. (2021). Green data analytics, blockchain technology for sustainable development, and sustainable supply chain practices: Evidence from small and medium enterprises. *Annals of Operations Research*.
- Kim, H. M., & Laskowski, M. (2018). Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 25(1), 18-27.
- Klassen, R. & Vereecke, A. (2012) Social issues in supply chains: Capabilities link responsibility, risk (opportunity), and performance. *International Journal of Production Economics*, 140 (1), 103–115.
- Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains. *Sustainability*, 10(10), 3652.
- Kshetri, N. (2018) Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*. Vol. 39, 80-89.
- Kshetri, N. (2021). Blockchain and labor-related challenges in global supply chains. *Journal of Business Research*, 124, 535-544.
- Kumar, R., & Chandrakar, R. (2012). Overview of green supply chain management: Operation and environmental impact at different stages of the supply chain. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 1(3).
- Kundavaram, R. R. (2022). Integrating Blockchain and AI to enhance supply chain transparency in energy sectors. *Asia Pacific Journal of Energy and Environment*.
- LeBaron, G. (2020). Combatting modern slavery: Why labour governance is failing and what we can do about it. *Polity Press*.
- Lee, K.-H., & Mao, G. (2015). Development of a strategic framework for the integration of sustainability performance indicators and business strategy. *International Journal of Production Research*, 53(2), 647–664.
- Lintukangas, K., Hallikas, J., & Kähkönen, A.-K. (2015). The role of green supply management in the development of sustainable supply chain. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(6), 321–333.
- Long, Y., Feng, T., Fan, Y. & Liu, L. (2022) Adopting blockchain technology to enhance green supply chain integration: The moderating role of organizational culture. *Business Strategy and the Environment*. Vol. 32, No. 6.
- Mani, V., Gunasekaran, A., & Delgado, C. (2018). Enhancing supply chain performance through supplier social sustainability: An emerging economy perspective. *International Journal of Production Economics*, 195, 259–272.
- Mani, V., Gunasekaran, A., Delgado, C. (2018) Enhancing supply chain performance through supplier social sustainability: An emerging economy perspective. *International Journal of Production Economics*, Vol. 195, 259–272.
- Martins, C. L., Pato, M. V. (2019) Supply chain sustainability, A tertiary literature review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 225, 995–1016.
- McCarthy, S., & Piers, M. (2024) Transforming Arbitration – Exploring the Impact of AI, Blockchain, Metaverse and Web3.
- McKenzie, S. (2004) *Social Sustainability: towards some definitions*. Hawke Research Institute, University of South Australia, Magill (2004).
- McKenzie, S. (2004). *Social sustainability: Towards some definitions* (Working Paper No. 27). Hawke Research Institute, University of South Australia.
- McKinnon, A. C. (2018). *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World*. Kogan Page.

- McKinsey & Company (2021) *Making supply-chain decarbonization happen*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/making-supply-chain-decarbonization-happen>, haettu 2.3.2025.
- Meixell, M. J., & Luoma, P. (2015). Stakeholder pressure in sustainable supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(1/2), 69–89.
- Meneghetti, A., Parise, T., Sala, M., & Taufer, D. (2019). A survey on efficient parallelization of blockchain-based smart contracts. *Contracts & Commercial Law eJournal*, 5, 1–12.
- Mentzer, J., Flint, D., Hult, G. (2001). Logistics service quality as a segment-customized process. *Journal of Marketing*, Vol. 65 (4), 82–104.
- Minhat, H. (2015). An overview on the methods of interviews in qualitative research. *International Journal of Public Health and Clinical Sciences*, 2(6), 210–214.
- Mora, H., Morales-Morales, M. R., Pujol-López, F. A., & Mollá-Sirvent, R. (2021). Social cryptocurrencies as model for enhancing sustainable development. *Kybernetes*, 50(10).
- Morais, D. O. C., & Silvestre, B. S. (2018). Advancing social sustainability in supply chain management: Lessons from multiple case studies in an emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 199, 222–235.
- Morkunas, V. J., Paschen, J., & Boon, E. (2019). Blockchain technology in supply chain management: Applications, challenges, and future research directions. *International Journal of Information Management*, Vol. 49, 308-317.
- Nakamoto (2008) Bitcoin: a Peer-to-Peer Electronic Cash System. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, haettu 25.11.2024.
- Nandi, S., Sarkis, J., Hervani, A. A., & Helms, M. M. (2021). Redesigning supply chains using blockchain-enabled circular economy and COVID-19 experiences. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 10–22.
- Nguyen, N. D. K., & Ali, I. (2023). Blockchain technology for sustainable supply chain. In *Proceedings of the Second Australian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Melbourne, Australia, November 14–16, 2023. Central Queensland University.
- Nwariaku, H., Fadojutimi, B., Larteley Lawson, L. G., Agbelusi, J., Adigun, O. A., Udom, J. A., & Olajide, T. D. (2024). Blockchain technology as an enabler of transparency and efficiency in sustainable supply chains. *International Journal of Science and Research Archive*, 12(2).
- Onu, P., Mbobwa, C., Pradhan, A., & Madonsela, N. S. (2024). The potential of smart contracts in blockchain-based supply chain management for automation and sustainable manufacturing: An in-depth analysis and perspectives. *Proceedings of the 2024 International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals*.
- Park, A., Li, H. (2021) The Effect of Blockchain Technology on Supply Chain Sustainability Performances. *Information Systems and Digital Business Strategy*, Vol. 13.
- Pizzi, S., Caputo, A., Venturelli, A., & Caputo, F. (2022). Embedding and managing blockchain in sustainability reporting: a practical framework. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*.
- Prause, G. (2019). Smart contracts for smart supply chains. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13).

- Queiroz, M. M., & Wamba, S. F. (2019). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82.
- Raj, P., Jauhar, S., Ramkumar, M., & Pratap, S. (2022). Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts. *Computers & Industrial Engineering*, 167
- Ran, L., Shi, Z., & Geng, H. (2024). Blockchain Technology for Enhanced Efficiency in Logistics Operations. *IEEE Access*, 12, 1–12.
- Rao, P., Holt, D. (2005). Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 (9), 898–916.
- Roy, S. K., Ganguli, R., & Goswami, S. (2019). Transformation of supply chain provenance using blockchain—A short review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*.
- Saberi, S. - Kouhizadeh, M., Sarkis, J., Shen, L. (2018). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, Vol. 57, No. 7, 2117–2135.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135.
- Sarkis, J., Zhu, Q., & Lai, K.-h. (2011). An organizational theoretic review of green supply chain management literature. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 1–15.
- Sarpong, S. (2014) Traceability and supply chain complexity: confronting the issues and concerns. *European Business Review*, 26(3), 271–284.
- Saxena, S., Nagpal, A., Prashar, T., Shravan, M., Al-Hilali, A., & Alazzam, M. B. (2023). Blockchain for Supply Chain Traceability: Opportunities and Challenges. *3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering*.
- Schmidt, C. G., & Wagner, S. M. (2019). Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(4).
- Seretakis, A., & Mezzanotte, F. E. (2023). Corporate Sustainability Reporting and Blockchain. *European Company Law*.
- Seuring, S. & Müller, M. (2008) From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, No. 15, 1699–1710.
- Sharma, P. K., Kumar, N., & Park, J. H. (2020). Blockchain technology toward green IoT: Opportunities and challenges. *IEEE Network*, 34(4), 20–25.
- Shbikat, N. (2020). *Labor rights violation in global supply chains: A multi-stakeholder approach*. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co.
- Sitra, <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/> , haettu 1.3.2025.
- Soundararajan, V. & Brown, J. (2016) Voluntary Governance Mechanisms in Global Supply Chains: Beyond CSR to a Stakeholder Utility Perspective, *Journal of Business Ethics*, 134, 83–102.
- Spangenberg, J. H. (2005). Economic sustainability of the economy: Concepts and indicators. *International Journal of Sustainable Development*, 8(1–2), 47–64.
- Sternberg, H., & Andersson, M. (2014). *Decentralized intelligence in freight transport—A critical review*. *Computers in Industry*, 65(2), 306–313.

- Sunny, J., Undralla, N., & Pillai, V. (2020). Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 150
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.
- Thorlakson, T., Zegher, J. & Lambin, E. (2018) Companies' contribution to sustainability through global supply chains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 115, No. 9, 2072–2077.
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(6), 545-559.
- Tseng, Ming-Lang., Islam, M., Karla, N., Fauzi, F., Afrin, S. (2019) A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 141, 145–162.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2018). *UN supports blockchain technology for climate action*.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2019). *UN Climate Change Annual Report 2018*. United Nations.
<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UN-Climate-Change-Annual-Report-2018.pdf>
- Upadhyay, A., Mukhoty, S., Kumar, V., & Kazancoglu, Y. (2021). Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. *Journal of Cleaner Production*, 293.
- Varma, A., Dixit, N., Ray, S., & Kaur, J. (2024). Blockchain technology for sustainable supply chains: A comprehensive review and future prospects. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3).
- Viji, C., Kuntal, A., Bhardwaz, A., & Bandari, D. (2022). Blockchain based traceability in supply chain using smart contracts. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 10.
- Waikar, A., Nikam, Y., Chaudhari, N., & Pansare, D. J. R. (2022). Blockchain and supply chain management: The future of trust and transparency. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. Vol. 10.
- Walmart Global Tech. Blockchain in the food supply chain. Walmart. https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/blockchain-in-the-food-supply-chain.html , haettu 11.12.2024.
- Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, 211, 221–236.
- Wang, Z., Wang, T., Hu, H., Gong, J., Ren, X., & Xiao, Q. (2020). Blockchain-based framework for improving supply chain traceability and information sharing in precast construction. *Automation in Construction*, 111.
- Webster. K. (2015) The Circular Economy: a Wealth of Flows. *Ellen MacArthur Foundation, Isle of Wight*.
- Wu, D., & Yu, Y. (2024). Blockchain for finance: A survey. *IET Blockchain*, 3(1), 1–18.
- Xinyi, Y., Yi, Z., He, Y., (2018) Technical Characteristics an Model of Blockchain. *10th International Conference on Communication Software and Networks*.

- Xu, G. (2009). Study of supply chain procurement collaboration based on the third-party capital provider. *Industrial Engineering and Management*.
- Yadav, S., & Singh, S. P. (2020). Blockchain critical success factors for sustainable supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 152.
- Yaga, D., Mell, P., Roby, N. & Scarfone, K. (2018) Blockchain Technology Overview. *National Institute of Standards and Technology, Internal Report 8202*.
- Yaksick, R. (2019). Overcoming supply chain finance challenges via blockchain technology. *Disruptive Innovation in Business and Finance in the Digital World*, 20.
- Yerram, S. R. (2022). Smart contracts for efficient supplier relationship management in the blockchain. *American Journal of Trade and Policy*, 9(3), 45–67.
- Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., Smolander, K. (2016) Where Is Current Research on Blockchain Technology? — A Systematic Review.
- Yoo, H., & Ko, N. (2020, October). Blockchain based data marketplace system. In *2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. IEEE.
- Yu, L. (2022). Financial data sharing mechanism based on blockchain technology. *Proceedings of the International Conference on Information Economy, Data Modeling and Cloud Computing (ICIDC 2022)*.
- 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.
- Zhu, Q., Duan, Y., & Sarkis, J. (2024). Supply chain carbon transparency to consumers via blockchain: does the truth hurt? *The International Journal of Logistics Management*, 35(3).
- Zhu, Q., Geng, Y., & Sarkis, J. (2013). Motivating green public procurement in China: An individual level perspective. *Journal of Environmental Management*, 126, 85–95.
- Zorzini, M., Hendry, L. C., Huq, F. A., & Stevenson, M. (2015). Socially responsible sourcing: Reviewing the literature and its use of theory. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(1), 60–109.

Liitteet

Liite 1. Haastattelurunko

Taustaa tutkimukselle: Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen toimitusketjujen hallinnassa vastuullisuuden edistämiseksi on melko uusi konsepti, minkä vuoksi tutkimusta aiheesta on rajallisesti. Tässä tutkimuksessa pyritään ymmärtämään lohkoketjun tarjoamia mekanismeja ja toimintaperiaatteita, joiden avulla voidaan edistää sosiaalista, ympäristöllistä ja taloudellista vastuullisuutta toimitusketjujen hallinnan kontekstissa.

Saako haastattelun tallentaa? Onko kysymyksiä ennen kuin aloitamme?

Alustavat kysymykset

- Millainen vastuualue sinulla on / on ollut lohkoketjuteknologiaprojektissa?
- Näyttäytykö lohkoketjuteknologia jollakin tavalla päivittäisessä työssäsi?
- Millaisena näette lohkoketjuteknologian roolin toimitusketjuissa tällä hetkellä?

Lohkoketjuteknologia toimitusketjun hallinnassa

- Oletteko havainneet lohkoketjuteknologian tarjoavan jotain konkreettisia etuja toimitusketjun vastuullisuuden edistämisessä?
- Miten lohkoketjuteknologia voi vaikuttaa ympäristölliseen vastuullisuuteen, esimerkiksi hiilijalanjäljen vähentämisessä, päästöjen seurannassa tai toimintojen tehostamisessa toimitusketjuissa?
- Miten lohkoketjuteknologia voi tukea sosiaalista vastuullisuutta toimitusketjuissa, esimerkiksi työolojen tai eettisen kaupan valvonnan kautta?
- Miten lohkoketjuteknologia voi vaikuttaa taloudelliseen vastuullisuuteen, esimerkiksi toimintojen tehostamisessa ja kustannusten leikkaamisessa toimitusketjuissa?
- Mitkä lohkoketjuteknologian keskeiset ominaisuudet, kuten läpinäkyvyys, jäljitettävyys tai älylopimukset, ovat mielestänne keskeisimpiä toimitusketjun vastuullisuuden edistämisessä?

- Minkä mekanismien avulla lohkoketjuteknologia voi parantaa toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä? Voitteko antaa esimerkkejä siitä, miten tämä on toteutettu käytännössä?

Tulevaisuuden näkymät ja haasteet

- Miten ennustatte lohkoketjuteknologian käytön kehittyvän toimitusketjujen vastuullisuuden edistämiseksi tulevina vuosina?
- Suurimmat haasteet lohkoketjuteknologian käyttöönotossa?