



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen vaateteollisuuden toimitusketjujen läpinäkyvyydessä

Tietojärjestelmätieteen kandidaatintutkielma

Laatija:

Hilla Lehtoranta

Ohjaaja:

FT Kai Kimppa

9.5.2024

Turku

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

Kandidatutkielma

Oppiaine: Tietojärjestelmätiede

Tekijä: Hilla Lehtoranta

Otsikko: Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen vaateteollisuuden toimitusketjujen läpinäkyvyydessä

Ohjaaja: FT Kai Kimppa

Sivumäärä: 37 sivua

Päivämäärä: 9.5.2024

Tiivistelmä:

Vaateteollisuus on yksi maailman suurimmista ja nopeimmin kasvavista aloista sekä samalla yksi kestävän kehityksen kannalta haastavimmista sektoreista. Paine kestävämpiin uudistuksiin on jatkuvaa: kasvava kuluttajien tietoisuus lisää vaateteollisuuden toimijoihin kohdistuvia paineita. Lohkoketjuteknologia on tuonut uudenlaisia ratkaisuja eri toimialoille kuten elintarviketeollisuuteen. Lohkoketjuteknologia nähdään yhtenä ratkaisuna myös vaateteollisuuden kohtaamiin haasteisiin.

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on selvittää, miltä vaateteollisuuden nykytila näyttää ja kartoittaa lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuuksia tällä toimialalla. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, ja aineistona on käytetty lohkoketjuteknologiaa ja toimitusketjujen läpinäkyvyyttä käsittelevää tieteellistä kirjallisuutta. Tutkielman näkökulmaa rajataan tarkastelemaan toimitusketjujen epäkohtia kestävyden näkökulmasta.

Tutkielma esittelee tarkemmin lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuuksia toimitusketjuissa. Tutkimusongelmana onkin, kuinka lohkoketjuteknologiaa sovelletaan vaateteollisuuteen, sillä tästä ei ole paljoa aikaisempaa tutkimusta. Lohkoketjuteknologia tarjoaa useita hyötyjä, kuten reaaliaikaisen ja tarkan tiedonvälityksen, mikä lisää toimitusketjun luotettavuutta ja turvallisuutta. Vaateteollisuuden toimitusketjun jokaisesta vaiheesta kirjataan tieto hajautettuun järjestelmään. Teknologian avulla muut toimijat sekä kuluttajat voivat seurata tuotteiden matkaa koko toimitusketjun läpi. Tämä voi auttaa torjumaan tuotevääräennöksiä ja parantamaan tuotteiden kestävyttä.

Lohkoketjuteknologian käyttöönotto vaateteollisuuden toimitusketjuissa on vielä varhaisessa kehitysvaiheessa ja siihen liittyy erilaisia haasteita. Lohkoketjuteknologia on energiaintensiivinen teknologia, mikä voi olla haaste kestävän kehityksen näkökulmasta. Lohkoketjuteknologian implementointi edellyttää myös yritysten välistä yhteistyötä ja avoimuutta. Tutkielman tavoitteena on antaa kattava kuva lohkoketjuteknologian mahdollisuuksista edistää vaateteollisuuden toimitusketjujen läpinäkyvyyttä.

Avainsanat: lohkoketjuteknologia, läpinäkyvyys, vaateteollisuuden toimitusketjut

SISÄLLYS

1	Johdanto	7
2	Lohkoketjujen käyttö vaateteollisuuden toimitusketjuissa	9
	2.1 Lohkoketjut	9
	2.2 Vaateteollisuuden toimitusketjut	14
3	Lohkoketjujen käytön tuomat mahdollisuudet ja haasteet vaateteollisuuden toimitusketjujen hallinnassa	19
	3.1 Lohkoketjuteknologian tuomat mahdollisuudet	19
	3.2 Lohkoketjuteknologian tuomat haasteet	25
4	Yhteenveto ja johtopäätökset	29
	Lähteet	32

KUVIOT

Kuva 1. Lohkon tärkeimmät ominaisuudet (Badhwar et al., 2023)	14
Kuva 2. Havainnollistava kuva vaateteollisuuden toimitusketjun tietojen siirtymisestä lohkoketjun verkon jäsenille	21
Kuva 3. Lohkoketjuperustaisen toimitusketjun käyttöönoton vaikutukset	30

1 Johdanto

Vaateteollisuus on neljänneksi suurin ala maailmassa ja yksi kestävä kehityksen haastavimmista sektoreista. Vaateteollisuus aiheuttaa merkittäviä ympäristövaikutuksia, vastaten 20 prosentista jätevesistä ja 10 prosentista maailman hiilidioksidipäästöistä. Alan aiheuttamia ympäristöongelmia on pyritty ratkaisemaan jo vuosikymmenien ajan. Lisäksi vaateteollisuuden tuotteiden kuluttajat ovat ympäristötietoisempia ja kestävien vaatteiden kysyntä on kasvanut, mikä lisää yritysten halua panostaa kestävyys ja läpinäkyvyyteen. (Chen, n.d.)

Vaateteollisuuden aiheuttamien ympäristöongelmien ratkaisemiseksi on hyödynnetty erilaisia teknologisia innovaatioita kuten lohkoketjuteknologiaa (engl. blockchain technology). Lohkoketjuteknologia on ollut mullistava tekijä jo useilla eri aloilla, erityisesti rahoitusalaalla kryptovaluuttojen muodossa. Lohkoketju on järjestelmä, jonka teknologia perustuu vertaisverkkoon. Vertaisverkon avulla verkostoon osallistuvien käyttäjien välillä voi siirtää tietoa ilman kolmannen osapuolen apua.

Lohkoketjuteknologian tuomat hyödyt perustuvat sen tuomaan turvallisuuteen, muuttumattomuuteen ja jäljitettävyyteen. (Franzoni, 2020.) Tämä mullistava innovaatio voi kehittää uusia ja muuttaa jo olemassa olevia liiketoimintamalleja vaikuttaen kokonaisuun aloihin (Nofer et al., 2017).

Vaateteollisuuden yrityksille on olennaista toiminta sekä kehitysmaissa että kehittyneissä maissa. Kehitysmaiden taloudellisista, sosiaalisista ja ympäristöongelmista johtuen yritykset keskittyvät yhä enemmän kestävyys toimitusketjuissa. (Ahi & Searcy, 2013.) Vaateteollisuuden jäljitettävyyden ja läpinäkyvyyden parantamiseksi lohkoketjuteknologia tarjoaa lupaavan ratkaisun, vaikka sen täysimittainen implementointi on vielä kesken. Tarvitaan kokonaisvaltainen ja toteuttamiskelpoinen ratkaisu, joka pystyy käsittelemään monimutkaisten vaateteollisuuden toimitusketjujen lukuisia ongelmia tinkimättä turvallisuudesta. Lohkoketjuteknologia on siis toimitusketjujen läpinäkyvyyden kannalta olennainen innovaatio, mutta miten lohkoketjuteknologia implementoidaan toimitusketjuun ja mitkä ovat sen seurauksia? Tässä tutkielmassa havainnoidaan lohkoketjuteknologian käyttöönnoton tuomia mahdollisuuksia ja haasteita vaateteollisuuden toimitusketjuissa.

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Miten lohkoketjuteknologiaa voi hyödyntää vaateteollisuuden toimitusketjujen läpinäkyvyydessä?
2. Miten lohkoketjuteknologiaa käytetään vaateteollisuuden toimitusketjussa?
3. Mitä haasteita ja mahdollisuuksia lohkoketjun käyttöönotossa toimitusketjujen läpinäkyvyyden edistämiseksi on?

Tutkielmassa käsitellään lohkoketjuteknologian hyödyntämistä vaateteollisuuden toimitusketjujen läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden edistämisessä varsinkin toimitusketjujen kestävyiden näkökulmasta. Työssä käsitellään läpinäkyvyyttä pääosin ympäristön kestävyiden näkökulmasta, jättäen käsittelemättä muita toimitusketjuissa ilmeneviä epäkohtia, kuten epävakaita työolosuhteita. Tutkielmassa hyödynnetään sekä yrityksen että kuluttajan näkökulmaa lohkoketjuteknologian vaikutuksiin toimitusketjujen läpinäkyvyydessä. Tutkielman näkökulma rajataan vaateteollisuuteen eli keskitytään niihin tapoihin, joilla lohkoketjuteknologiaa voi hyödyntää kyseisen alan toimitusketjujen läpinäkyvyyden edistämiseen.

Tutkielman rakenne on seuraavanlainen: Luvussa 2 keskitytään lohkoketjujen toimintaan ja vaateteollisuuden toimitusketjuihin. Erityisesti perehdytään lohkoketjun toiminnalliseen perustaan ja tärkeimpiin ominaisuuksiin. Samalla käsitellään lohkoketjuteknologiaan liittyviä olennaisimpia käyttötapoja ja käsitteitä vaateteollisuuden kannalta. Lisäksi luvussa tarkastellaan vaateteollisuuden toimitusketjujen luonnetta ja alan kohtaamia haasteita. Luvussa 3 käsitellään mahdollisuuksia ja haasteita, jotka koskevat lohkoketjuteknologian käyttöä vaateteollisuuden toimitusketjuissa. Luvussa esitellään myös muutamia konkreettisia esimerkkejä lohkoketjuteknologian sovelluksista toimitusketjujen läpinäkyvyyden parantamiseksi. Luvussa 4 kerrataan vielä keskeiset tutkielmassa käsitellyt asiat, vastataan tutkimuskysymyksiin ja esitetään tutkielman johtopäätökset.

2 Lohkoketjujen käyttö vaateteollisuuden toimitusketjuissa

2.1 Lohkoketjut

Lohkoketjuteknologia keksittiin vuonna 1991 Stuart Haberin ja Scott Stornetan johdosta (Kushwaha & Joshi, 2021). Kyseinen teknologia tuli tunnetuksi kuitenkin vasta, kun sitä alettiin soveltaa käytäntöön vuonna 2009 Satoshi Nakamoton keksiessä kryptovaluutta Bitcoinin. Lohkoketjuteknologiaa on siitä lähtien kehitetty moniin tarkoituksiin, ja se on tarjonnut ratkaisuja lukuisiin haasteisiin eri aloilla. (Rajasekaran et al., 2022.) Lohkoketjuteknologia on uusi teknologia, joka yhdistää vertaisverkkoteknologian, kryptografian ja hajautetun tietojenkäsittelyn teknologian (Adams et al., 2018). Lohkoketjuteknologia yhdistää elementtejä rahaopista, matematiikasta ja tietotekniikasta (Thakare et al., 2023). Lohkoketjuteknologiaan liittyy neljä keskeistä komponenttia, jotka ovat pääkirja, luvat, konsensus ja älykkäät sopimukset (Agrawal et al., 2021).

Lohkoketju pitää sisällään transaktioita kuten kuka tekee, mitä on tehty ja milloin. Näitä tapahtumia ei tallenneta yhteen tietokantaan, vaan ne on hajautettu verkon tietokoneisiin. Nämä tietokoneet, joita järjestelmän käyttäjät eli solmut hallitsevat, muodostavat hajautetun kirjanpidon, jonka omistus tai hallinta ei kuulu millekään yksittäiselle taholle. Näin kaikki verkon käyttäjät voivat tutkia kirjattuja tapahtumia. Transaktiot dokumentoidaan ja tallennetaan lohkoihin, jotka linkitetään toisiinsa sekä aikajärjestyksessä että kryptografisesti luoden muuttumattoman ja turvallisen talletusketjun. (Adams et al., 2018.) Transaktio tai tapahtuma tarkoittaa esimerkiksi sitä, kun verkoston jäsen pyytää lohkoketjusta tietoja tai tekee digitaalisen transaktion, joka tallentuu lohkoon (Crosby et al., 2016). Kryptografian ensisijainen tehtävä on varmistaa muutospyyntöjen aitous ja tiedon muuttumattomuus pääkirjassa. Tämä tapahtuu niin, että järjestetään muutoshistoria toisiinsa kryptografisesti linkittyviksi lohkoiksi. Kryptografiaa hyödynnetään myös osallistujien yksityisyyden turvaamiseksi. (Thakare et al., 2023.) Kirjaukset lohkoketjuun voivat syntyä käyttäjien toimesta manuaalisesti tai automaattisesti muiden teknologioiden kuten radiotaajuuden etätunnistuksen (engl. radio-frequency identification, RFID), esineiden internetin ja tekoälyn avulla (Kouhizadeh et al., 2020).

Lohkoketju koostuu lohkoista, joissa on kasvava määrä transaktioita. Jokainen lohko sisältää datan ja oman uniikin kryptografisen hash-arvon. Oman hash-arvon lisäksi jokainen lohko sisältää myös edeltävän lohkon hash-arvon, mikä muodostaa lohkojen välisen ketjuominaisuuden. Hash-arvon avulla identifioidaan lohko ja sen sisältö eli hash-arvo toimii kuin lohkon digitaalisena sormenjälkenä. Jos lohkon sisältöä muutetaan niin hash-arvo lasketaan uudelleen ja se muuttuu, mikä mahdollistaa lohkojen muutosten havainnoimisen ja paikantamisen. Uusia lohkoja lisättäessä enemmistön verkon käyttäjistä tulee yhteisymmärryksessä hyväksyä kyseisen lohkon lisäys lohkoketjuun eli transaktioita ei automaattisesti lisätä ketjuun. (Nofer et al., 2017.) Aina uuden lisäyksen takia luodaan uusi hash-arvo, jotta lohkoketjun linkitys toteutuu (Drescher, 2017). Kun tieto on vastaanotettu ja hash-arvo luotu niin lohko kierrätetään ja jaetaan hajautetussa louhijoiden (engl. miners) pääkirjastossa, joita kutsutaan myös solmuiksi (engl. nodes) (Crosby et al., 2016). Nämä louhijat ovat siis jäseniä, joilla on valtuudet vahvistaa lohkoon tallennetut tiedot. Kun enemmistö louhijoista päätyy samaan johtopäätökseen niin uusi lohko voidaan hyväksyä lohkoketjuun. (Heiskanen, 2017.)

Lohkot on yhdistetty toisiinsa salauksen avulla, mikä estää lohkoketjun tietojen muuttamisen. Koska jokainen lohko on yhdistetty toisiinsa niin tietojen muuttaminen takautuvasti ei onnistu ilman, että se vaikuttaa kaikkien seuraavien lohkojen tietoihin. Lohkoketjun toiminta ei vaadi keskitettyjä luotettavia viranomaisia datatapahtumien todentamiseen ja hyväksymiseen, toisin kuin esimerkiksi normaalissa pankkitransaktiossa. Tämä mahdollistaa sen, että käyttäjät voivat suorittaa transaktioita itsenäisesti ja edullisesti. Lisäksi kolmannen osapuolen puuttuminen lisää tietoturvallisuutta, sillä kolmas osapuoli ei kerää tietoa omiin järjestelmiinsä, joihin voisi päästä käsiksi. (Rajasekaran et al., 2022.)

Lohkoketju on järjestelmänä jaettu ja hajautettu. Lohkoketjualustoja on pääasiassa kahdenlaisia: Lohkoketjuteknologia on julkinen tai yksityinen järjestelmä. Tämä tarkoittaa, ettei ole kolmatta osapuolta eli keskitettyä viranomaista kuten pankkia tarkistamassa lohkoon tehtyjä muutoksia. Lohkoketjun tyyppi määrittää miten hajautettuun verkkoon osallistuvat jäsenet pystyvät vuorovaikuttamaan toistensa kanssa. (Van Rijmenam & Ryan, 2018.) Lohkoketjuun liittyminen voi vaatia luvan, mikä on tyypillistä yksityisille lohkoketjuille. Yksityisessä lohkoketjussa digitaaliset pääkirjat, jotka sisältävät transaktiot ovat valtuutettujen nähtävissä. Sekä pyyntöjen lähettäminen

verkkoon että solmun ylläpitäminen eli vaikutusvalta siihen, mitkä muutokset sallitaan, on rajoitettu valtuutettuihin toimijoihin. Yksityisessä lohkoketjussa valtuutetuilla voi olla keskenään eroavia valtuuksia eivätkä kaikki sen jäsenet välttämättä pysty tekemään lohkoketjussa samoja asioita. Jäsenille luodaan avainparit, jotka ovat kryptografisia avaimia määrittämään käyttöoikeudet lohkoketjuverkossa. (Francisco & Swanson, 2018.)

Toinen vaihtoehto on julkinen lohkoketju, johon pystyy liittyä kuka tahansa liittämällä tietokoneen kyseiseen hajautettuun verkkoon, lataamalla sovelluksen ja aloittamalla tapahtumien prosessoimisen. Julkisessa lohkoketjussa kuka tahansa internet-yhteyden omaava henkilö voi lähettää muutospyyntöjä verkkoon ja osallistua päätöksentekoon siitä, mitkä muutokset lohkoketjuun hyväksytään. Lohkoketjun tyypistä huolimatta, sen sisältämä data pysyy muuttumattomana ja siihen tehdyt muutokset pystytään jäljittämään. (Van Rijmenam & Ryan, 2018.) Toisin kuin muut hajautetut kirjanpitojärjestelmät, lohkoketjuteknologia on sujuvasti integroitavissa muiden jatkuvasti kehittyvien teknologioiden kanssa, kuten tekoälyn, älykkäiden sopimusten, esineiden internetin ja koneoppimisen kanssa. Esimerkiksi tekoälyä voidaan käyttää lohkoketjun transaktioiden analysointiin ja optimaalisten konsensuspäätösten automatisointiin. (Varriale et al., 2020).

Kolmannen osapuolen sijaan lohkoketjuteknologiaan on sisäänrakennettu konsensusmekanismi, joka tarkistaa transaktiot. Lohkoon osallistuvat jäsenet voivat siis olla vuorovaikutuksessa keskenään ilman, että tarvitaan kolmatta osapuolta. Tämän takia ei tarvitse huolehtia siitä, että mahdolliset kolmanteen osapuoleen kohdistuvat tietoturvaohat vaikuttaisivat järjestelmän turvallisuuteen. Lohkot on linkitetty ketjuksi ja lohkoketjun tieto on jaettu hajautetusti vertaisverkkoon kaikkien osallistuvien tietokoneiden kesken. (Hirsh & Alman, 2020.) Pääkirja, eli kopiot tiedoista tallennetaan tuhansille yhdessä toimiville tietokoneille, ja kaikki muutokset tietoihin tehdään avoimesti ja yhteisymmärryksessä. Tallennettuihin tietoihin voidaan tehdä muutoksia vain määriteltujen sääntöjen mukaisesti ja muutoksista jää jälki pääkirjaan kaikkien jäsenten nähtäväksi. (Thakare et al., 2023.)

Lohkoketjuun tallennettua tietoa ei voi jälkikäteen muuttaa, ellei konsensusmekanismin nojalla päätetä, että muutos voidaan tehdä. Kun tapahtuma on kerran rekisteröity lohkoon, niin sitä ei voi enää muuttaa ilman, että tehdään muutoksia jokaiseen

seuraavaan lohkoon. Kaikki lohkoketjun jäsenet pystyvät pääsemään käsiksi tietoihin ja näin ollen myös huomaamaan muutokset. Lohkoketjun hakkerointi ei ole mahdotonta, mutta se on erittäin vaikeaa lohkoketjuteknologiaan sisäänrakennettujen ominaisuuksien ansiosta. Näillä ominaisuuksilla varmistetaan lohkojen välinen integraatio ja luodaan siten ketju, johon on vaikea tunkeutua. (Hirsh & Alman, 2020.) Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen voi siis vähentää luottamusriskiä osallistujien välillä, yksinkertaistaa transaktioita, vähentää kustannuksia sekä mahdollistaa uusien innovaatioiden ja liiketoimintamallien syntyminen (Yan et al., 2021).

Vaikka lohkoketjuteknologiaa on tähän mennessä sovellettu pääasiassa kryptovaluuttoihin ja rahoituspalveluihin kuten rahalähetyspalveluiden luotettavuuden parantamiseen niin lohkoketjuteknologian ajatellaan soveltuvan laajamittaiseen käyttöön myös muilla aloilla (Adams et al., 2018). Lohkoketjuteknologian ajatellaan ominaisuuksiensa takia tarjoavan ratkaisuja useisiin yksilöiden ja organisaatioiden ongelmiin. Lohkoketjun avulla pystytään todentamaan dataa ja hallinnoimaan todentuneen datan analysointia sekä automatisoida sen käyttöä. Näiden kautta organisaatiot saavat datasta enemmän irti, mikä helpottaa päätöksentekoa ja esimerkiksi vastuullisuusraportoinnin tekoa. (Van Rijmenam & Ryan, 2018.)

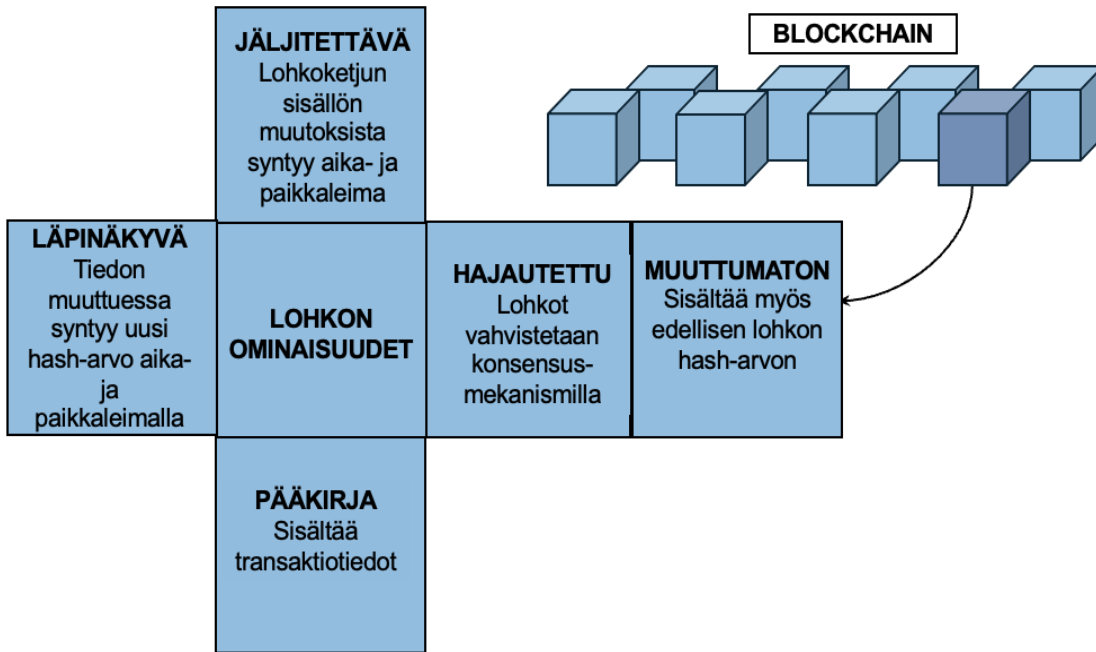
Lohkoketjuteknologiaan sisäänrakennetun konsensusmekanismin avulla kaikki verkon osallistajat ovat yhtä mieltä transaktioiden kelvollisuudesta ja hajautetun pääkirjan tilasta. Konsensuksen saavuttaminen on ehdotonta lohkoketjun eheyden ja turvallisuuden ylläpitämiseksi. (Sedlmeir et al., 2020.) Tärkeimmät konsensusprotokollat, joita käytetään luottamuksen varmistamiseksi ovat Proof-of-Work (PoW) ja Proof-of-Stake (PoS) konsensusmekanismit (Thakare et al., 2023). Julkisissa lohkoketjuissa kuka tahansa voi osallistua solmujen taustalla olevaan konsensusmekanismiin julkisen avaimen kryptografian avulla. Konsensusmekanismeja on erilaisia ja eri mekanismit käyttävät erilaisia konsensusalgoritmeja saavuttaakseen yhteisymmärryksen verkossa. (Eyal & Sirer, 2014.)

Proof-of-Work mekanismi kehitettiin, jotta lohkoketjuun hyökättäessä hyökkääjä ei voisi tehdä useita tilejä saadakseen enemmistön ja siten ottaa järjestelmän haltuunsa. Lohkoketjuteknologian tunnetuin sovellus Bitcoin käyttää Proof-of-Work konsensusmekanismeja. Kyseinen mekanismi ja sen turvallisuus perustuu laskennalliseen työhön. Ratkaisun etsimistä kryptografiseen laskennalliseen pulmaan kutsutaan

louhimiseksi. PoW mekanismi käyttää huomattavan paljon energiaa laskutoimituksiin. (Eyal & Sirer, 2014.) Vertauksena yksi transaktio vie tarpeeksi sähköenergiaa täyttääkseen keskikokoisen saksalaisen kotitalouden sähkönkäytön tarpeet muutaman viikon ajan (Sedlmeir et al., 2020)

Onneksi energiaintensiivinen Proof-of-Work mekanismi ei ole ainoa tapa saavuttaa konsensus hajautetussa järjestelmässä. Proof-of-Stake konsensusmekanismeissa osallistujien äänestys lohkon liittämistä ei perustu laskentatehoon vaan pääomaan. Kyseisissä mekanismeissa määritetään lohkon liittämisen päättäjät sillä, kuinka paljon kryptovaluuttaa tai muuta arvoa solmu on tallettanut tätä tarkoitusta varten (engl. staked). Jos solmu ei noudata verkon sääntöjä niin lohkon sijoitettu summa häviää, mikä vähentää väärinkäytöksiä. Proof-of-Stake mekanismin hyötynä on siis se, että siinä ei hyödynnetä niin paljon laskentatehokkuutta ja se on siten huomattavasti energiatehokkaampi vaihtoehto. Useat kryptovaluutat hyödyntävät onnistuneesti Proof-of-Stake konsensusmekanismeja. Kuitenkin riippumatta valitusta konsensusmekanismista, lohkoketjupohjaiset ratkaisut vaativat yleisesti ottaen edelleen enemmän energiaa kuin ei lohkoketjupohjaiset keskitetyt järjestelmät. (Sedlmeir et al., 2020.)

Älykkäät sopimukset (engl. smart contracts) ovat yksi lohkoketjuteknologian käyttötavoista, jota on sovellettu useilla eri aloilla käytäntöön. Älykkäät sopimukset ovat tiettyihin arvoihin perustuva arvovirta, jotka ovat samankaltaisia reaali maailman sopimusten kanssa. Ne ovat digitaalisia ohjelmointiperusteisia sopimuksia, jotka on tallennettu lohkoketjuun. (Macrinici et al., 2018.) Älykkäät sopimukset toteutetaan ohjelmointikielellä ja ne tulevat voimaan, kun asianomaiset osapuolet ovat allekirjoittaneet ne sähköisesti (Yan et al., 2021). Verrattuna perinteisiin sopimuksiin, älykkäistä sopimuksista on rajattu pois inhimillinen tulkinnanvaraisuus ja sopimukseen puuttuminen (Kouhizadeh & Sarkis, 2018). Ohjelmakoodi, joka vahvistaa sopimuksen, suoritetaan automaattisesti, kun tietyt ehdot täyttyvät. Älykkäät sopimukset implementoidaan lohkoketjuteknologiaan, minkä ansiosta ne jakavat sen hyötyjä kuten muuttumattomuuden. Älykkäät sopimukset voivat muuttaa tapaa, jolla liiketoimintaa harjoitetaan yritysten välillä edellä mainituilla tavoilla. (Kushwaha & Joshi, 2021.) Alla olevassa kuvassa (Kuva 1) esitetään lohkon toiminnan tärkeimmät ominaisuudet.



Kuva 1. Lohkon tärkeimmät ominaisuudet (Badhwar et al., 2023)

Yllä olevassa kuvassa havainnollistetaan lohkoketjun rakennetta ja viittä tärkeintä ominaisuutta. Lohko sisältää ainutlaatuisen hash-arvon, joka muuttuu tiedon muuttuessa. Tämä mahdollistaa lohkojen sisällöissä tapahtuvien muutosten läpinäkyvyyden. Lisäksi kuvasta nähdään, kuinka lohko sisältää myös edellisen lohkon hash-arvon, mikä mahdollistaa lohkojen ketjuuntumisen ja muuttumattomuuden. Lohkon sisältämä tieto on hajautettu eli kaikki lisätyt transaktiot on vahvistettu konsensusmekanismilla. Lohkojen sisältö muodostaa pääkirjan, joka pitää sisällään transaktiotiedot.

2.2 Vaateteollisuuden toimitusketjut

Vaateteollisuus on yksi isoimmista ja nopeimmin kasvavista aloista maailmassa. Nykyiset tutkimukset osoittavat, että vaateteollisuuden toimitusketjut ovat puutteellisia jäljitettävyyden ja avoimuuden suhteen. (Sedlmeir et al., 2020). Vaateteollisuus on jatkuvan muutoksen alla kuluttajien vaihtelevan kysynnän ja kiristyvän kilpailun takia (Agrawal et al., 2021). Vaateteollisuuden maailmanlaajuisen arvon arvioitiin olevan 1,5 biljoonaa Yhdysvaltain dollaria vuonna 2021 ja sen arvioidaan nousevan 2 biljoonaan dollariin vuoteen 2026 mennessä (Statista, 2024). Läpinäkyvyys on avainasemassa, kun pyritään kestäviin toimitusketjuihin. Toimitusketjun läpinäkyvyydellä tarkoitetaan yrityksen toimitusketjuun liittyvien tietojen jakamista yrityksen sisällä, kumppaneille sekä kuluttajille. Läpinäkyvyys ei koske ainoastaan tuotteen matkan seuraamista

toimitusketjun vaiheesta toiseen vaan myös tuotteen laatuun ja turvallisuuteen liittyviä asioita. (Muratore & Marques, 2022.)

Erityisesti nuoret kuluttajat ovat sitoutuneita vastuulliseen kuluttamiseen, ja monet boikotoivat yrityksiä, jotka ovat skandaalien kohteina (Muratore & Marques, 2022). Läpinäkyvyyden avulla asiakkaiden on mahdollista varmistaa tuotteiden aitous tai saada käyttöönsä tuotetietoja, joiden avulla tehdä eettisiä ostopäätöksiä (Agrawal et al., 2021). Laajasti julkisuuteen tulleista ympäristövaikutuksista huolimatta vaateteollisuus jatkaa kasvuaan, mikä johtuu osittain pikamuodin yleistymisestä. Pikamuoti perustuu halpaan valmistukseen, tiheään kulutukseen ja vaatteiden lyhyeen käyttöikään. Maailmanlaajuinen tekstiilituotanto henkeä kohti on kasvanut 5,9 kilosta 13 kiloon vuosina 1975–2018. Vaateteollisuuden aiheuttamat ympäristövaikutukset ovatkin siksi merkittäviä. (Niinimäki et al., 2020.)

Tekstiilituotannolla ja vaatteiden valmistuksella on huomattavia vaikutuksia sekä ympäristöön kuten luonnonvarojen kulutukseen, kasvihuonepäästöihin ja vesien saastumiseen, että yhteiskuntaan kuten epävarmoihin työolosuhteisiin (Muratore & Marques, 2022). Vaateteollisuuden yritysten sekä heidän toimittajien toiminta aiheuttaa saasteita erityisesti tuotannon ja kuljetusten takia. Vaatteiden värjäyksissä käytetään runsaasti kemiallisia tuotteita ja luonnonvaroja. Vaatteiden valmistukseen käytettävien luonnonkuitujen kuten puuvillan valmistus vaatii suuria määriä vettä, kun taas synteettisten kuitujen valmistuksessa hyödynnetään uusiutumattomia luonnonvaroja ja energiaa. (de Brito et al., 2008.)

Lisäksi vaateteollisuudesta aiheutuu valtavia määriä tekstiilijätettä, joka pitää sisällään myös myymättä jääneet tuotteet. Suurin osa tästä jätteestä päätyy kaatopaikalle tai poltetaan. Vaateteollisuus tuottaa yli 92 miljoonaa tonnia jätettä vuosittain ja kuluttaa 79 miljoonaa litraa vettä. (Niinimäki et al., 2020.) Näiden ympäristövaikutusten pohjalta on selvää, että vaatealan liiketoimintamallia on muutettava perusteellisesti. Yksi vaihtoehto on ottaa käyttöön uusia teknologioita ja kestäviä käytäntöjä koko toimitusketjussa. Toimitusketjuilla on vaateteollisuuden ympäristövaikutuksissa suuri rooli. Toimitusketjujen hallinta auttaa yrityksiä olemaan kilpailukykyisiä, mutta lisäksi antaa niille mahdollisuuden vaikuttaa toimitusketjun eri vaiheista syntyviin ympäristövaikutuksiin. (Martin et al., 2004.)

Vaatetuotteiden kysyntä on kasvanut kahden viime vuosikymmenen aikana väestönkasvun, kehittyvien maiden talouskasvun sekä länsimaissa kasvavan pikamuotiliiketoimintamallin ansiosta. Toimitusketjujen globalisoituminen kasvatti entisestään ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia. Erityisesti länsimaalaiset yritykset siirsivät tuotantoa maihin, jossa ympäristövaikutukseen liittyvät standardit ovat löysemmät. Samaan aikaan kun tuotanto siirtyi kauemmas, niin myös pidempien kuljetusten aiheuttamat ympäristövaikutukset kasvoivat. (Khurana & Ricchetti, 2016.) Maailmanlaajuiset toimitusketjut voivat olla monimutkaisia ja yritykset käyttävät toimitusketjujen kompleksisuutta usein hyväksi peitelläkseen tuotteiden alkuperää tai aitoutta (Li, 2013). Läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden puute aiheuttaa aukon oikean totuuden ja sen välille, mitä yritykset haluavat julkaista (Badhwar et al., 2023). Vaateteollisuuden ja erityisesti pikamuodin aiheuttamien ympäristövaikutusten seurauksena ympäristötietoiset kuluttajat, valtiolliset ja valtiosta riippumattomat tahot ovat alkaneet painostamaan vaateteollisuuden toimijoita tekemään ympäristökeskeisempiä ratkaisuita (Niinimäki & Hassi, 2011).

Toimitusketju on toimintojen sarja, joilla kontrolloidaan sitä, miten materiaalit, osat ja tuotteet siirtyvät valmistuksesta asiakkaille (Cole et al., 2019). Toimitusketju vaikuttaa olennaisesti liiketoiminnan kustannuksiin, tuotteiden laatuun, kuljetusten nopeuteen, luotettavuuteen, kestävyYTEEN ja joustavuuteen. Toimitusketjujen hallinta on keskeinen osa liiketoimintaa, jossa huolehditaan tavaroiden ja palveluiden siirtämisestä paikasta toiseen monivaiheisen toimitusketjun läpi, jossa on mukana useita sidosryhmiä. Nykyisten toimitusketjujärjestelmien suurimmat ongelmat ovat hitaat prosessit, turvallisuus, läpinäkyvyyden puute, jäljitettävyyS, sidosryhmien osallistuminen ja tuoteväärännökset. (Thakare et al., 2023.)

Usein yritykset pitävät kirjaa toimitusketjun tapahtumista omassa keskitetyssä tietokannassaan. Jos jotkin tiedot eivät ole yrityksen maineen tai kasvun kannalta suotuisia, niitä saatetaan piilotella tai vääristellä. Usein myös tuotantokustannukset ja hinnoittelu on piilotettu kumppaneilta ja kuluttajilta. Läpinäkyvyys edellyttää mahdollisesti arkaluonteisten tietojen paljastamista muille toimitusketjun jäsenille. Siksi herääkin kysymys voiko toimitusketjussa saavuttaa samaan aikaan avoimuus ja turvallisuus. (Thakare et al., 2023.) Vaateteollisuudessa toimitusketjut ovat usein pitkiä ja monimutkaisia. Toimitusketjujen globalisoituminen ja piteneminen lisää avoimuuden tarvetta, jotta prosesseja, tiedonvaihtoa ja tuote- ja rahavirtoja voitaisiin hallita

paremmin. (Thakare et al., 2023.) Näiden pitkien toimitusketjujen tuottamilla tuotteilla on kuitenkin lyhyt elinikä. Etenkin pikamuodin tuottamat tuotteet joutavat lyhyen käytön jälkeen kaatopaikalle. (Agrawal et al., 2021.)

Vaateteollisuuden toimitusketjut alkavat maataloudesta ja petrokemiallisesta tuotannosta eli kuitujen valmistuksesta. Toisena vaiheena kuidusta valmistetaan lankaa langanvalmistusyksiköissä ja myöhemmin kangasta kankaanvalmistusyksiköissä. Näiden toimijoiden lisäksi toimitusketjuun kuuluvat olennaisesti lukuisat alihankkijat, jotka tarjoavat toimitusketjuun lisäosia kuten napit, sekä erilaisia jalostuspalveluita kuten kirjailusta vastaavat alihankkijat. Syntyneet kankaat kuljetetaan vaatteiden valmistukseen. Sitten lopputuotteet kuljetetaan vähittäiskaupan jakelukeskuksista jälleenmyyjille ja lopulta ne myydään kuluttajille. Vaateteollisuuden yritysten päätöksiin siitä ketkä valitaan toimitusketjun yhteistyökumppaneiksi vaikuttavat useat tekijät kuten valmistuspaikka, toimittajien maine ja kuluttajamarkkinat. (Kumar et al., 2017a.) Vaatteiden valmistus tapahtuu usein kehitysmaissa, kun taas kulutus kehittyneissä maissa. Pitkät toimitusketjut voivat tarkoittaa sitä, että vaatteet voivat matkustaa maapallon ympäri kerran tai jopa kaksi monien valmistusvaiheiden aikana. Jokaisella tuotantovaiheella on omat ympäristövaikutuksensa, jotka voitaisiin mitata erikseen. (Niinimäki et al., 2020.)

Toimitusketjujen rakenne vaihtelee paljon saman alan sisällä. Toimitusketjuihin osallistuu useita sidosryhmiä kuten tuottajat, tuotteiden kokoonpanijat, valmistajat, tukkukauppiat, vähittäiskauppiat ja kuljettajat. (La Londe & Masters, 1994). Esimerkiksi pikamuotiryitysten, jotka pyrkivät tuottamaan alhaisilla kustannuksilla tuotteita isolle kohderyhmälle, ja luksusbrändien toimitusketjut eroavat keskenään. Luksusbrändit pystyvät tuottamaan pienemmän kohderyhmän ansiosta hitaammalla tahdilla uusia tuotteita. Pikamuotiryitykset etsivät valmistajia, joilla on lyhyin tuotantoaika, jotta he pystyvät vastaamaan kuluttajien jatkuvasti muuttuviin trendeihin. Tämä vaatii suuria määriä energiaa ja raaka-aineiden laajaa hyödyntämistä. (Niinimäki & Hassi, 2011.) Suuremman kuluttajien kohderyhmän takia massatuotantoa hyödyntävät vaateteollisuuden yritykset kokevat painetta, kun isolle määrälle kuluttajia pitää saada tuotteet perille ajallaan. Tämän takia ne tukeutuvat kustannustehokkaampiin ulkoistettuihin kuljetusratkaisuihin, jotka eivät välttämättä ole ympäristöystävällisimpiä ratkaisuita. (Farahani et al., 2014.) Kuitenkin sekä vaatteiden massatuotantoa

harjoittavat yritykset että luksusbrändit harrastavat läpinäkymätöntä viestintää toimitusketjuistaan (Badhwar et al., 2023).

Vaateteollisuuden yrityksille on tyypillistä viherpesu sekä valikoiva tiedon jakaminen ja julkaiseminen (Cho et al., 2015). Viherpesulla tarkoitetaan mainontaa, joissa saatetaan liioitella tai jopa valehdella ympäristöhyödyistä tai ympäristöhyötyjä painotetaan, jotta saadaan piilotettua toimitusketjun aiheuttamat ympäristöhaitat (Dahl, 2010). On kuitenkin myös tilanteita, joissa yritys tahattomasti ei jaa tarkkaa tietoa asiakkailleen. Yrityksen sisällä ei välttämättä olla täysin tietoisia siitä, mitä toimitusketjun eri vaiheissa tapahtuu, sillä toimitusketjut voivat olla kompleksisia ja toimintoja on ulkoistettu useille sidosryhmille. Toimitusketjuissa jatkojalostajien on usein vaikea tietää, mistä raaka-aineet ovat peräisin ja miten niitä on käsitelty. Tämä vaikeuttaa rehellistä ja läpinäkyvää viestintää, mikä lisää epäluottamusta yritysten ja kuluttajien välillä. (Jestratijevic et al., 2024.) Läpinäkyvyys on toimitusketjun hallinnan tukipilari. Avoimuuden puute ja epärehellisyys toimitusketjukumppaneiden käytännöistä voi johtaa kustannuksiin tai vaikuttaa negatiivisesti kaikkien osapuolten maineisiin. (Kouhizadeh et al., 2020.)

Vaateteollisuuden lukuisiin ongelmiin nähdään ratkaisuna teknologiset innovaatiot ja yksi näistä on lohkoketjuteknologia. Lohkoketjuperustaisen toimitusketjun implementointi alkaa suunnitteluvaiheesta. Suunnitteluvaiheen jälkeen luodaan prototyyppjä ja mikäli sopiva ratkaisu löytyy, lohkoketjuteknologian ratkaisu vakiinnutetaan ja integroidaan osaan tai koko toimitusketjuun. (Kouhizadeh et al., 2020.) Lohkoketjuteknologian käytössä korostuvat kaksi keskeistä ominaisuutta, jotka ovat yhteistyö eri organisaatioiden välillä ja yhteisön voima. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä, kun mietitään mitä mahdollisuuksia lohkoketjuteknologian implementoiminen vaateteollisuuden toimitusketjuihin luo niin yritysten kuin kuluttajien näkökulmasta. Lohkoketjuperusteisessa toimitusketjussa jokainen osapuoli osallistuu ketjun tietojen tallentamiseen ja varmentamiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että vaateteollisuuden toimitusketjussa valmistajasta lähtien jokaisessa toimitusketjun vaiheessa tallennettaisiin lohkoketjuun dataa siitä mitä hyödykkeelle on tapahtunut kyseisessä prosessin vaiheessa. Lohkoketjun avulla tieto ulkomailla toimivan vaateteollisuuden yrityksen toimitusketjun vaiheista voidaan jakaa reaaliajassa yrityksen sisällä, jälleenmyyjille sekä kuluttajille, vaikka verkon osallistujat ovat globaalisesti hajautettu. (Yan et al., 2021.)

3 Lohkoketjujen käytön tuomat mahdollisuudet ja haasteet vaateteollisuuden toimitusketjujen hallinnassa

3.1 Lohkoketjuteknologian tuomat mahdollisuudet

Useimmissa toimitusketjuissa on tehty merkittäviä sijoituksia digitaalisiin innovaatioihin, joiden avulla voidaan tallentaa tietoa, kuten toiminnanohjausjärjestelmiin. Innovaatioista huolimatta yrityksillä on edelleen vaikeuksia hankkia tarkkaa ja ajankohtaista tietoa toimitusketjun tehokasta toimintaa varten. (Queiroz & Fosso Wamba, 2019.) Lohkoketjuteknologian käytön kasvu on seurausta sen ainutlaatuisesta kyvystä estää tietojen väärentämistä.

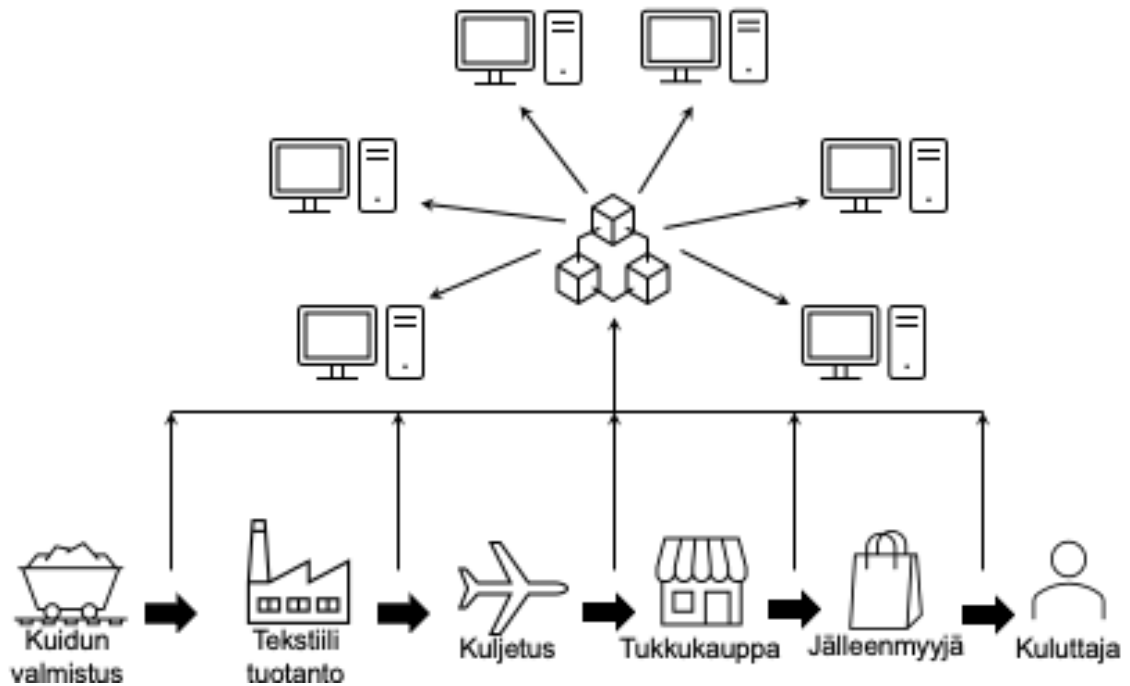
Lohkoketjuratkaisuihin käytettiin maailmanlaajuisesti 6,6 miljardia Yhdysvaltain dollaria vuonna 2021. Lohkoketjuratkaisujen suunnitteluun ja toteuttamiseen käytetyn rahamäärän on ennustettu kasvavan tulevaisuudessa nopeaa tahtia. (Statista, 2023.)

Nykyiset lohkoketjuteknologian sovellukset vaateteollisuudessa ovat pääasiassa keskittyneet hyödyntämään lohkoketjuteknologiaa tuotteiden ominaisuuksista tiedottamiseen, sen sijaan että lohkoketjua käytettäisiin läpinäkyvien toimitusketjujen luomiseen (Agrawal et al., 2021). Lohkoketju muuttaa tapaa, joilla toimitusketjun tapahtumia ja tietoja kirjataan, hallitaan ja luetaan. Lohkoketjujen avulla vaateteollisuuden toimitusketjuista saadaan tallennettua varmempaa ja tarkempaa tietoa turvallisemmin. Lisäksi tuotteet voidaan jäljittää toimitusketjussa, taata niiden alkuperä ja varmistaa toimitusketjun määräystenmukaisuus jakamalla operaatioita reaaliajassa verkon kaikille jäsenille. Tämä tapahtuu siten, että jokainen prosessin vaihe kirjataan jonkinlaisilla sensoreilla ylös ja informaatio muutetaan digitaaliseen muotoon, jotta sen voi tallentaa lohkoketjuun. (Varriale et al., 2020.)

Kun kehitetään lohkoketjua liiketoimintaa ja toimitusketjua varten, tulee lohkoketjun olla yksityinen. Yksityiset lohkoketjut eroavat merkittävästi täysin julkisista lohkoketjuista, kuten Bitcoinista, joissa kaikilla on tasavertaiset mahdollisuudet osallistua lohkoketjun toimintaan. Toimitusketjun lohkoketjun tulisi olla yksityinen, mutta jäsenillä olisi keskenään erilaiset valtuudet. Valtuudet muodostetaan yksilöllisillä avainpareilla ja ne muodostuvat toimitusketjun jäsenen roolin perusteella. Esimerkiksi toimitusketjua hallitsevan yrityksen työntekijöillä voisi olla laajimmat valtuudet, ja he pääsisivät kirjaamaan sekä seuraamaan koko lohkoketjua. Toimitusketjussa toimivat

muut yritykset voivat kirjata lohkoketjuun tietoja ja pääsisivät näkemään heille olennaiset tiedot, mutta eivät pääsisi käsiksi muiden yrityksen luottamuksellisiin tietoihin. Vaatteita ostavat kuluttajat eivät pääsisi kirjaamaan tietoja, mutta pääsisivät tarkastelemaan heille olennaisia tietoja kuten tuotteen matkaa läpi toimitusketjun. Tällä tavalla saavutettaisiin läpinäkyvyys, mutta kumppaneiden kilpailuetu säilyisi, kun heidän ei tarvitse paljastaa strategisia tietoja kilpailijoille. Kaikki transaktiotiedot siis tallennetaan lohkoketjuun, mutta ne ovat saatavilla vain tietyille toimitusketjun osapuolille niiden tarpeiden mukaan. (Agrawal et al., 2021.)

Vaateteollisuuden kompleksisissa toimitusketjuissa kerätään paljon erilaista tietoa. Toimitusketjun kumppanit tallentavat tietoa hankitusta saapuneesta materiaalista, kuten saapuneen materiaalin laatuominaisuuksista, eränumeroista sekä tietoa toimittajasta. Lisäksi kerätään tietoa prosesseista, joilla saapuva materiaali muutetaan lähteväksi materiaaliksi. Lähtevän materiaalin tietoihin kirjataan esimerkiksi tiedot lähtevän materiaalin ominaisuuksista ja ostajatiedot. (Kumar et al., 2017b.) Alla olevassa kuvassa (Kuva 2) esitetään yksinkertaistettu vaateteollisuuden toimitusketju, johon on implementoitu lohkoketju läpinäkyvyyden edistämiseksi. Kuvassa havainnollistetaan, kuinka tietoa tallennetaan lohkoketjuun jokaisesta vaiheesta. Kuvasta nähdään, miten lohkoketjuun tallennettu tieto siirtyy hajautetun järjestelmän ansiosta reaaliajassa verkon kaikille jäsenille.



Kuva 2. Havainnollistava kuva vaateteollisuuden toimitusketjun tietojen siirtymisestä lohkoketjun verkon jäsenille

Sovellukset ovat ohjelmistokäyttöliittymiä, joita voidaan käyttää pyyntöjen tekemiseen lohkoketjussa eli pääasiassa transaktioiden tekemiseen, tarkasteluun tai validointiin. Jokainen toimitusketjun osapuoli voi käyttää sopivaa lohkoketjusovellusta. Esimerkiksi radiotaajuinen etätunnistus tai kaksiulotteinen koodinlukija voidaan liittää lohkoketjuun, mikä mahdollistaa tietojen tallentamisen lohkoketjuun. Toimitusketjukumppanit pystyisivät RFID- tai QR-koodinlukijalla skannaamaan tuotteen aikaleimoja ja sijainteja lohkoketjuun. Vastaavasti asiakas voisi lukea kaupassa vaateen toimitusketjun tiedot erillisen puhelinsovelluksen avulla, joka on yhteydessä samaan lohkoketjuun. Hyvin suunnitellut ja tehokkaat lohkoketjusovellukset voivat potentiaalisesti vähentää kustannuksia ja säästää yrityksiltä aikaa. (Agrawal et al., 2021.)

Raaka-aineiden ja tuotteiden alkuperät, valmistusprosessit ja varastotilanteet ovat esimerkkejä tiedoista, jotka voivat olla jaettuna toimitusketjujen osapuolten saataville, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen jäljitettävyyden. Lohkoketjuteknologialla voidaan minimoida paperityöt, kun katetaan enemmän prosesseja digitaalisella järjestelmällä ja integroidaan kaikkien toimitusketjun osapuolten prosessit. Lohkoketjutoteutus voi auttaa alentamaan kustannuksia ja riskejä, samalla kun se lisää nopeutta, luotettavuutta ja joustavuutta. (Kouhizadeh et al., 2020.) Esimerkiksi tarkempien tietojen saatavuus lisää toimitusketjun valvontakykyä ja turvallisuutta, mikä vähentää vakuutusriskejä. Lohkoketjun implementoimisen seurauksena kustannukset alenevat erityisesti sen takia,

että lohkoketjuteknologia mahdollistaa tarpeettomien kolmansien osapuolten poistamisen. (Thakare et al., 2023.)

Lohkoketjun pääkirja pitää sisällään transaktioketjun, minne kirjataan kaikki hyödykkeet, joilla käydään kauppaa (Agrawal et al., 2021). Tallennettu tieto on luotettavaa ja pysyvää, mikä antaa asiakkaalle mahdollisuuden tutkia koko tuotteen historiaa ilman pelkoa tietojen muuttamisesta tai vääristelystä. Kun tuottaja valmistaa tuotteen niin lohkoketju mahdollistaa sen, että tuotteen matkaa voidaan seurata alusta loppuun eli valmistajalta jakelijalle ja sieltä jälleenmyyjän kautta aina asiakkaalle asti. Dataa kerätään lohkoketjuun tuotteen alkuperästä, siihen käytetyistä raaka-aineista sekä kuljetusvaiheista, joiden kautta lopputuote päätyy käyttäjälle. Jokaisesta prosessin vaiheesta tallennetaan lohkoihin useita tietoja. (Rajasekaran et al., 2022.)

Lohkoketjuteknologian avulla yritys pystyy parantamaan laadunvalvontaa ja muokkaamaan yrityksen mainetta sekä brändiä. Lohkoketju mahdollistaa sen, että asiakas pystyisi jäljittämään koko vaateen elinkaaren ja näin esimerkiksi toimitusketjussa olevat mahdolliset epäkohdat. Tämä helpottaa huomattavasti tilanteita, joissa tuotteista joutuisi syystä tai toisesta tehdä takaisin vetoja. (Rajasekaran et al., 2022.) Tuotteisiin liittyvien tietojen kirjaamisen lisäksi lohkoketjuteknologiaa voi hyödyntää varallisuuden kirjaamiseen. Lohkoketjuun voi tallentaa tietoja siitä kuka omistaa aineellista tai aineetonta omaisuutta, esimerkiksi mille toimijalle jokin patentti kuuluu. Selkeä tieto siitä, kuka omistaa mitään, ehkäisee konfliktien syntymistä toimitusketjukumppaneiden välillä. (Agrawal et al., 2021.)

Useat yritykset tavoittelevat kestäväää toimintaa luodakseen tasapainon liiketoiminnan tuoton, ihmisten ja ympäristön hyvinvoinnin välille. Nämä yritykset tutkivat aktiivisesti teknologian soveltamista läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden saavuttamiseksi. (Kumar et al., 2017b.) Lohkoketjuteknologiasta on tehty erilaisia sovelluksia, mutta kokonaisvaltaista täydellistä ratkaisua, jota usea vaateteollisuuden yritys olisi implementoinut toimitusketjuunsa ei ole kehitetty. Yksi tämänhetkisistä sovelluksista on lohkoketjuteknologian hyödyntämiseen keskittyvien yritysten TextileGenesis ja Fibercoins yhteistyössä tehty lohkoketjuteknologian sovellus, joka paljastaa tuotteen jäljitettävissä olevan matkan kuituvaiheesta loppuasiakkaalle. (Badhwar et al., 2023.)

Alibaba Group Holding Limited on kiinalainen monialainen yritys, joka myy vaatteita ja on keskittynyt verkkokauppaan. Alibaba on lohkoketjuteknologiasovellusten

edelläkävijä. Vuonna 2018 jätetyistä patenttihakemuksista koskien lohkoketjuteknologiaa Alibaballa oli 43 hakemusta 406 hakemuksesta. (Capece & Lorenzi, 2020.) Alibaba kehitti lohkoketjuratkaisun, jolla pyritään lisäämään liikevaihtoa, maksimoimaan tiedon luotettavuutta ja estämään laitonta toimintaa. Alibaban lohkoketjujärjestelmä mahdollistaa sen, että ylläpitäjät ja sääntelyviranomaiset voivat puuttua poikkeaviin toimintoihin älykkäiden sopimusten avulla ja jäädyttää epäilyttävien käyttäjien tilit väärinkäytön estämiseksi. (Lahkani et al., 2020.) Tämän lisäksi Alibaba otti tytäryhtiönsä Lynx Internationalin kautta käyttöön lohkoketjujärjestelmän jäljittääkseen logistisia tietoja rajat ylittävistä toimitusketjuista avoimuuden ja tehokkuuden lisäämiseksi. Lohkoketjuteknologian avulla Lynx jäljittää tietoa tuotannosta, kuljetuksista, tullimuodollisuuksista ja kolmansien osapuolten suorittamista tarkastuksista. (Capece & Lorenzi, 2020.)

Lohkoketjuteknologian mahdollistama jäljitettävyyys turvaa kestävyden lisäksi yrityksen omia etuja. Lohkoketjun käyttö mahdollistaa siis uudenlaisen kirjanpitomenetelmän, joka voi edistää vaateteollisuuden toimitusketjukumppaneiden välistä luottamusta lisäämällä avoimuutta. (Yan et al., 2021.) Lohkoketjuteknologia mahdollistaa kyvyn seurata sekä valvoa tavaroita, asiakirjoja ja toimintoja, mikä antaa mahdollisuuden pienentää toimitusketjuun osallistuvien kumppaneiden petosriskiä. Jokaisen kumppanin tulisi noudattaa tarkoin määriteltäjä sovittuja protokollia, sillä kaikki data olisi tallennettava lohkoketjuun, josta muut kumppanit voisivat havaita rikkomukset. (Varriale et al., 2020.) Kestävän kehityksen näkökulmasta tämä tarkoittaa, että yritysten väitteet tuotteiden kestävydestä voidaan varmentaa läpi koko toimitusketjun.

Lohkoketjua voidaan hyödyntää kestävyden lisäksi merkkivaatteiden aitouden vahvistamisessa. Väärennetyt tuotteet ovat yksi nopeimmin kasvavista teollisuudenaloista maailmassa ja merkittävä ongelma myös vaateteollisuudessa. (Hamelin et al., 2013.) Maailman talousfoorumi arvioi vuonna 2015, että piratismi- ja väärennösmarkkinat maksavat maailmantaloudelle arviolta 1,77 biljoonaa Yhdysvaltain dollaria, mikä on lähes 10 prosenttia maailman tavarakaupasta. Luksusbrändit ovat yleisesti kuluttajien ohella suurimpia väärennösmarkkinoiden uhreja. (World Economic Forum, 2015.) Esimerkkinä lohkoketjuteknologian hyödyntämisestä toimitusketjun läpinäkyvyydessä ja tuotteiden aitouden osoittamisessa on Everledger, joka tarjoaa läpinäkyvän ratkaisun timanttien sertifiointiin ja niiden transaktiohistorian

tallentamiseen. Everledger on antanut digitaalisen identiteetin jokaiselle timantille ja jokaisen timantin alkuperän voi varmistaa lohkoketjun avulla. Tätä samaa teknologiaa voitaisiin hyödyntää edistääkseen kumppaneiden välistä luottamusta esimerkiksi merkkivaatteiden jälleenmyynnissä. Jos jälleenmyyjä pystyisi lohkoketjun avulla tarkistaa kumppanilta tulleen vaateen alkuperän, vaatteille ei tarvitsisi tehdä muita manuaalisia aitouden varmistamistoimintoja. Tämä helpottaisi sekä aitoja tuotteita myyviä yrityksiä että asiakkaita, jotka välttyisivät väärennöksiltä merkkivaatteita hankkiessa. (Adams et al., 2018.)

Läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden kehittyminen johtaa siihen, että yritys pystyy hallitsemaan resurssejaan paremmin. Yritys voi mitata kasvihuonepäästöjen syntymistä eri prosessien vaiheissa ja kirjata niitä lohkoketjuun. Tällöin erilaisten energiansäästöarviointien tekeminen helpottuu, kun nähdään, miten päästöjen määrät jakautuvat toimitusketjun eri vaiheissa. Implementoimalla lohkoketjuteknologiaa toimitusketjujen transaktioiden kirjaamiseen vaateteollisuuden yritykset pystyvät seuraamaan tuotanto- ja jakeluprosesseista aiheutuvia saasteita, valvomaan luonnonvarojen käyttöä valmistuksessa sekä kehittämään kierrätysprosesseja. Esimerkiksi ajoneuvojen päästöjä voidaan mitata infrapunasensoreilla. Mittausten tulokset voidaan kirjata tapahtumana lohkoketjujärjestelmään. Näin kirjatusta tapahtumasta on helppo ja nopea huomata, mitkä ajoneuvot aiheuttavat eniten päästöjä. Läpinäkyvyys, joka saavutetaan jäljittämällä tuotteet niiden alkuperästä loppukuluttajalle voi siis pienentää hiilijalanjälkeä. (Varriale et al., 2020.)

Lohkoketjuteknologian tuomien läpinäkyvyyteen ja kestävyysliittävien mahdollisuuksien lisäksi vaateteollisuuden yritykset pystyisivät nopeuttamaan kuljetusprosesseja käyttämällä älykkäitä sopimuksia tuotteiden alkuperän todentamiseen ja vähentäen samalla byrokratiaa. Lisäksi vaateteollisuuden yritykset pystyisivät lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä edistää jätahuoltoaan. Lohkoketju mahdollistaa vaarallisten jätteiden valvonnan. Sensorit tunnistavat jätteen toimitusketjussa ja kirjaavat jätteen sijainnin lohkoketjun pääkirjaan. Älykkäillä sopimuksilla voidaan helpottaa jätteiden lajittelua automatisoimalla menettelyjä pohjautuen siihen, miten jäte kirjataan lohkoketjuun esimerkiksi jätteen kunnon, määrän ja laadun perusteella. Tämä järjestelmä helpottaisi yrityksiä havaitsemaan uusiutumattomia luonnonvaroja käyttävät tuotteet, joiden energiankulutus on suuri, ja jotka siksi kannattaisi korvata vaihtoehtoisilla kestävimmillä resursseilla. (Varriale et al., 2020.) Älykkäät sopimukset

voivat luoda läpinäkyvyyteen ja kestävyysliittävien ratkaisuiden lisäksi muitakin hyötyjä yritysten toimitusketjuille. Ne mahdollistavat escrow-maksun, jossa rahaa säilytetään, kunnes sopimuksen ehdot on täytetty, jonka jälkeen rahat vapautetaan automaattisesti. (Thakare et al., 2023.) Esimerkiksi kun toimittaja vastaanottaa palautetun tuotteen, palautettava maksu voidaan käynnistää automaattisesti tuotteen kunnon perusteella (Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

3.2 Lohkoketjuteknologian tuomat haasteet

Lohkoketjuteknologia on vielä varhaisessa kehitysvaiheessa. Lohkoketjuteknologian käyttöön liittyy haasteita. Lohkoketjuteknologian menestyksellä käyttöönotto edellyttää näiden haasteiden tunnistamista. Lohkoketjuteknologian implementointia vaikeuttavat järjestelmään liittyvät, organisaatioiden sisäiset, organisaatioiden väliset ja ulkoiset haasteet. (Saber et al., 2019.) Yritysten näkökulmasta lohkoketjun implementoiminen voi tuoda yritykselle haasteita. Kun implementoidaan lohkoketjuperustaista toimitusketjua, joka integroidaan toimitusketjun kaikkien osapuolten välille, tulee huolehtia tietoturvallisuudesta, mikä voi olla haastavaa toimitusketjujen kompleksisuuden takia. Yritysten toimitusketjujen monimuotoisuuden vuoksi lohkoketjuteknologialla ei voida tuottaa yhtä vakiintunutta kirjanpitojärjestelmää, joka soveltuisi sellaisenaan jokaisen yrityksen tarpeisiin. Ylipäänsä lohkoketjuteknologian soveltaminen toimitusketjuihin ei välttämättä ole oikea ratkaisu jokaiselle yritykselle. Osa yrityksistä hyötyy enemmän yksinkertaisista ja perinteisistä digitaalisista ratkaisuista. (Kouhizadeh et al., 2020.)

Lohkoketjuteknologian käyttöön liittyy erilaisia infrastruktuurivaatimuksia, jotka vaikuttavat toimitusketjun jäsenten halukkuuteen soveltaa sitä toiminnassaan (Queiroz & Fosso Wamba, 2019). Lohkoketjupohjaiset ratkaisut kohtaavat edelleen infrastruktuurihaasteita koskien turvallisuutta. Etenkin transaktiomäärien kasvaessa suuriksi, lohkoketjuteknologia nähdään riittämättömänä. (Kouhizadeh et al., 2020.) Lohkoketjuteknologiaan liittyvät turvallisuushaasteet olisi ratkaistava, jotta sitä voisi soveltaa toimitusketjuihin. Vaikka lohkoketjuteknologialla pyritään mahdollisimman turvalliseen ja vakaaseen ratkaisuun, niin Bitcoin on kohdannut jonkin verran järjestelmävikoja sekä kyberhyökkäyksiä. Tämä herättää kysymyksiä siitä voiko lohkoketjuteknologian turvallisuuteen luottaa ja esiintyykö saman kaltaisia epäkohtia myös lohkoketjuperustaisten toimitusketjujen kohdalla. (Li et al., 2020.)

Lohkoketjuteknologia kohtaa eräitä teknologiseen suorituskykyyn kohdistuvia ongelmia, mikä on tyypillistä uudelle kasvavalle teknologialle. Lohkoketjuteknologian kohtaama ongelma on esimerkiksi skaalautuvuus. Lohkoketjuteknologian idea on, että hajautetun verkon jokaisessa solmussa on kopio lohkoketjusta kokonaisuudessaan. Tämä tarkoittaa, että lohkoketjun solmujen määrän kasvaessa suureksi koko lohkoketjun lataaminen tapahtumien todentamista varten vaikeutuu. Solmujen määrän kasvu suureksi johtaa siis tietokannan hallinta- ja tallentamisaikojen kasvuun ja data tallentuu reaaliajan sijasta viiveellä. (Van Rijmenam & Ryan, 2018.) Toinen yleinen lohkoketjuteknologian kohtaama ongelma liittyy siihen, että uusien lohkojen luomisprosessi aiheuttaa suorituskykyongelmia, jos verkkoon lisätään useita lohkoja samanaikaisesti suurella nopeudella. Tämä on merkittävä haaste, sillä toimitusketjuissa odotetaan olevan suuria määriä monimutkaista tietoa. (Nofer et al., 2017.) Verkossa suoritettavien transaktioiden määrä on siis rajattu lohkojen koon vuoksi. Lohkoketjuteknologia on kuitenkin uusi teknologia, joten edellä mainittuihin ongelmiin yritetään jatkuvasti etsiä ratkaisuita. (Rajasekaran et al., 2022.)

Lohkoketjuteknologian implementoinnissa toimitusketjuun on myös haasteita järjestelmän kestävyuden näkökulmasta. Yksi merkittävimmistä on lohkoketjuteknologian energiankulutus. Lohkoketjun toiminta on hyvin energiantensiivistä, mikä voi aiheuttaa merkittävää ympäristökuormitusta. (Kouhizadeh et al., 2020.) Lohkoketjuteknologian toiminnan takaaminen vaatii suurta laskentatehoa ja se kuluttaa useita satoja megawatteja energiaa. Hajautetut pääkirjat vaativat myös enemmän laskentatehoa ja resursseja vahvan tietoturvan ylläpitämiseksi. Tämä johtaa suurempaan energiankulutukseen ja sitä kautta suurempiin hiilidioksidipäästöihin. Energiankulutuksen määrä riippuu paljon siitä, minkälaisia algoritmeja lohkoketjuissa käytetään ja kuinka monimutkaisia älykkäitä sopimuksia lohkoketjuun on implementoitu. (Varriale et al., 2020.) Energiakulutuksen kannalta on olennaista mitä konsensusmekanismia lohkoketjussa sovelletaan. Yritysten onkin syytä punnita lohkoketjuteknologian energiakulutuksen aiheuttamia kustannuksia sen tuomiin hyötyihin. (Sedlmeir et al., 2020.)

Organisaatioiden sisäiset haasteet kuten huono taloudellinen tilanne vaikeuttaa järjestelmän käyttöönottoa. Yritysten tulee ottaa huomioon lohkoketjuteknologian pääkirjan implementoinnista ja ylläpidosta syntyvät kustannukset, jotka voivat olla etenkin pienille ja keskisuurille yrityksille huomattava haaste. Toisaalta suurten

yriytysten toimitusketjut ovat laajempia ja monimutkaisempia, mikä nostaa myös kustannuksia. (Khanfar et al., 2021.) Läpinäkyvyyden lisääminen merkitsee usein kustannuksia, sillä se vaatii tiedon keräämistä toimitusketjun eri osapuolilta. Myös lohkoketjuteknologiasta syntyy vaateteollisuuden yrityksille kiinteitä käyttöön perustuvia kustannuksia. Kiinteät kustannukset koostuvat järjestelmän integroimisesta kaikille verkon jäsenille. Muut kulut riippuvat energian ja resurssien kulutuksesta itse käytössä, uusien laitteiden hankinnasta sekä tietoteknisistä päivityksistä. Lisäksi kuluissa tulisi huomioida esimerkiksi johtajien ja ylläpidosta vastaavan henkilökunnan koulutus. Yrityksellä voi olla vaikeaa löytää asiantuntevaa työvoimaa, joka olisi erikoistunut lohkoketjuteknologian arkkitehtuurin toteuttamiseen. Vaikka markkinoilla lohkoketjuihin kohdistuva kiinnostus lisääntyy, ongelmana on teknisten kehittäjien vähäinen määrä. (Varriale et al., 2020.)

Lohkoketjuteknologian käyttöönotto vaatii vanhojen järjestelmien ja laitteiden muuttamista tai jopa korvaamista. Uusien järjestelmien käyttöönotto voi muuttaa organisaatiokulttuuria, mikä saattaa aiheuttaa vastarintaa ja epäröintiä sekä yksilöiden että koko organisaatioiden tasolla. Uuden järjestelmän käyttöönotto tarkoittaa myös uudelleenkouluttautumista ja toimintatapojen muuttamista, mikä lisää vastarinnan mahdollisuutta entisestään. (Jharkharia & Shankar, 2005.) Organisaation sisäisiä haasteita lohkoketjupohjaisen toimitusketjun implementoimiselle ovat lisäksi johdon tietoisuuden puute. Tämä on tyypillinen haaste uudelle teknologialle, sillä uuden teknologian hyödyistä ei ole vielä paljon näyttöä. Lohkoketjuteknologian käytölle ei ole asetettu vielä standardeja ja määräyksiä lainsäädännössä, koska teknologian implementoinnit vaateteollisuuteen on vielä vähäiset. Ennen tarkkojen säädösten asettamista yritykset saattavat olla vastahakoisia teknologian käyttöönoton suhteen. Kuitenkin riskin ottaminen ja lohkoketjuteknologian implementoiminen toimitusketjuun voisi tuoda merkittävää kilpailuetua yritykselle. (Varriale et al., 2020.)

Lohkoketjuteknologian implementoimiseen vaikuttavat myös organisaatioiden väliset esteet. Toimitusketjun läpinäkyvyys voi johtaa siihen, että kilpailijat saisivat tietoja, miten toimitusketjustrategiaa hoidetaan yrityksessä. Kun kilpailijoille paljastuu, miten toimitusketjustrategiaa harjoitetaan, saattaa yrityksen kilpailukyky heikentyä. Yritykset näkevät läpinäkyvyyden lisäämisen riskien ja mahdollisuuksien välisenä tasapainotteluna. Yksi syy miksi yritys voisi olla vastahakoinen implementoimaan lohkoketjuteknologiaa johtuu vastuullisuutta koskevan tiedon arkaluonteisuudesta. Jos

yritys tietää, että toimitusketjussa on epäkohtia, niin yritys haluaa antaa kuluttajilleen mahdollisimman vähän tietoa. Monet vaateteollisuuden yritykset etenkin pikamuotia tuottavat yritykset pyrkivät piilottelemaan epäkohtia ja säilyttämään niin kilpailukykyään. Lisäksi lohkoketjuteknologian implementoimiseen vaikuttaa toimitusketjussa toimivien sidosryhmien suostumus lohkoketjuteknologian integroimiseen järjestelmiinsä. (Van der Byl & Slawinski, 2015.)

Haasteita aiheuttaa myös järjestelmästä ja organisaatioista riippumattomat haasteet. Ulkoiset haasteet voivat johtua ulkoisista sidosryhmistä, teollisuudenaloista, instituutioista tai hallituksista. Ulkoiset haasteet johtuvat usein siis niistä tahoista, jotka eivät suoraan hyödy taloudellisesti toimitusketjun toiminnoista. Ulkoiset paineet voivat ajaa organisaatioita toimimaan eri tavalla. Julkisen sektorin halukkuuden puute ohjata ja tukea kestäviä käytäntöjä ja innovaatioita ovat este kehittyneiden uusien järjestelmien saavuttamiselle. (Mangla et al., 2017.) Lohkoketjuteknologian käytöstä on edelleen epäselvyyksiä hallitusten säädöksissä ja laeissa. Hallitusten negatiivinen suhtautuminen ja kielteiset linjaukset Bitcoinia koskien, vaikuttavat myös yritysten päätöksiin lohkoketjuteknologian käyttöönotosta. (Mougayar & Buterin, 2016.) Tästä syystä hallitusten, kansalaisjärjestöjen ja muiden yhteisöjen olisi edistettävä lohkoketjuteknologian kehitystä vaateteollisuuden läpinäkyvyyden lisäämiseksi (Kaur et al., 2018).

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia lohkoketjuteknologian hyödyntämistä vaateteollisuuden toimitusketjujen läpinäkyvyydessä. Tässä kirjallisuuskatsauksessa näkökulmaa rajattiin lohkoketjupohjaisten toimitusketjujen läpinäkyvyyden tarkasteluun. Tutkielmassa esitettyjen tutkimuskysymysten kautta tarkasteltiin lohkoketjuteknologian käytön nykytilaa, sen tarjoamia mahdollisuuksia sekä käyttöönottoon liittyviä haasteita vaateteollisuudessa. Vaateteollisuus on valtava ja jatkuvasti kasvava ala. Vaateteollisuuden merkittävien ympäristövaikutusten ansiosta alalla on jatkuva paine kestävyiden ja tätä kautta myös läpinäkyvyyden edistämiseen. Ratkaisuna toimitusketjun läpinäkyvyyden, kestävyiden, turvallisuuden ja prosessien eheyden parantamiseksi tutkielmassa esitettiin lohkoketjuteknologia.

Tutkielman toisessa luvussa käytiin perusteellisesti läpi lohkoketjuteknologian toiminta. Luvussa käsiteltiin lohkoketjun tekninen perusta ja lohkoketjuteknologian tärkeimmät ominaisuudet eli muuttumattomuus, turvallisuus, läpinäkyvyys ja jäljitettävyys. Kolmannessa luvussa keskityttiin lohkoketjuteknologiaan liittyviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Lisäksi luvussa tarkasteltiin konkreettisia esimerkkejä lohkoketjuteknologian sovelluksista, jotka parantavat toimitusketjujen läpinäkyvyyttä ja edistävät kestävä kehitystä vaateteollisuudessa. Alla olevassa kuvassa (Kuva 3) esitetään työn pohjalta rakennettu teoreettinen viitekehys. Viitekehyksessä kuvataan, miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää parantamaan vaateteollisuuden toimitusketjun eri osa-alueita tehostamalla toimintaa, lisäämällä läpinäkyvyyttä ja vähentämällä kustannuksia. Viitekehyksessä esitetään mitä mahdollisuuksia lohkoketjuteknologian vielä laajemmalla hyödyntämisellä olisi mahdollista saavuttaa.



Kuva 3. Lohkoketju-perustaisen toimitusketjun käyttöönoton vaikutukset

Akateemista kirjallisuutta analysoidessa nousi esiin lohkoketjuteknologian vähäiset sovellukset vaateteollisuuden toimitusketjuissa verrattuna useisiin muihin aloihin kuten elintarviketeollisuuteen. Useat toimialat kuten elintarvikkeita tuottavat maatalousyritykset ovat onnistuneesti implementoineet lohkoketjuteknologiaa toimitusketjuunsa ja parantaneet näin läpinäkyvyyttä. Tarvitaan lisätutkimusta sekä teoreettisesta että käytännön näkökulmasta, jotta voimme tarkastella lohkoketjuteknologian soveltamista muoti- ja tekstiiliteollisuuden monimutkaisiin toimitusketjuihin. Vaateteollisuuden toimitusketjujen kompleksisuus vaikeuttaa vakiintuneen lohkoketjujärjestelmän kehittämistä.

Kuitenkin lohkoketjua on onnistuttu implementoimaan myös vaateteollisuuden toimitusketjuihin. Lohkoketjuun kerätään tietoa toimitusketjun jokaisesta vaiheesta raaka-aineiden tuotannosta kuluttajalle myytävään lopputuotteeseen saakka. Teknologia mahdollistaa tuotteiden elinkaaren seurannan toimitusketjun alusta loppuun. Lohkoketjua on sovellettu läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden lisäämisen lisäksi esimerkiksi tuotteiden aitouden takaamisessa.

Lohkoketjuteknologian implementoimiseen liittyy useita haasteita ja mahdollisuuksia. Teknologia mahdollistaa reaaliaikaisen ja tarkan tiedon tallentamisen, mikä helpottaa ja tehostaa toimitusketjun hallintaa. Lohkoketjuteknologian kohtaamat haasteet voidaan jakaa järjestelmää koskeviin, organisaation sisäisiin, organisaation välisiin ja ulkoisiin haasteisiin. Yksi merkittävimmistä lohkoketjuteknologiaa koskevista haasteista on

teknologian suuri energiankulutus. Lohkoketjuteknologia voi olla väärä ratkaisu etenkin kestävyuden edistämiseen ennen kuin keksitään ratkaisu sen energiankulutustarpeen pienentämiseen. Teknologian hyödyntäminen vaatii kuitenkin vielä huomattavia toimia haasteiden ratkaisemiseksi, alan toimijoiden yhteistyötä ja halukkuutta implementoida lohkoketjuperustainen toimitusketju. Lohkoketjuteknologian kehityksen myötä ja sen sovellusten yleistyessä on odotettavissa, että se on keskeisessä roolissa vaateteollisuuden siirtymässä kohti läpinäkyvämpää ja kestävämpää tulevaisuutta.

Tutkielma antaa laajan kokonaiskuvan lohkoketjuteknologiasta, siitä mihin sen toiminta perustuu ja sen ominaisuuksista, joiden ansiosta sitä on mahdollista soveltaa vaateteollisuuden toimitusketjuihin. Tutkielmasta voi olla hyötyä yrityksille, jotka harkitsevat lohkoketjuteknologian implementoimista toimitusketjuun. Tutkielma voi auttaa organisaatioita ymmärtämään paremmin, miten lohkoketjuteknologia voi muuttaa perinteisiä toimitusketjun käytäntöjä, lisätä kilpailuetua ja edistää kestäväää kehitystä vaateteollisuudessa.

Lähteet

- Adams, R., Kewell, B., & Parry, G. (2018). Blockchain for Good? Digital Ledger Technology and Sustainable Development Goals. In W. Leal Filho, R. W. Marans, & J. Callewaert (Eds.), *Handbook of Sustainability and Social Science Research*, Springer International Publishing, 127–140.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-67122-2_7
- Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107130.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130>
- Ahi, P., & Searcy, C. (2013). A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018>
- Badhwar, A., Islam, S., & Tan, C. S. L. (2023). Exploring the potential of blockchain technology within the fashion and textile supply chain with a focus on traceability, transparency, and product authenticity: A systematic review. *Frontiers in Blockchain*, 6.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2023.1044723>
- Capece, G., & Lorenzi, F. (2020). Blockchain and Healthcare: Opportunities and Prospects for the EHR. *Sustainability*, 12(22), Article 22.
<https://doi.org/10.3390/su12229693>
- Chen, Y. (n.d.). How blockchain adoption affects supply chain sustainability in the fashion industry: A systematic review and case studies. *International Transactions in Operational Research*, n/a.
<https://doi.org/10.1111/itor.13273>
- Cho, C. H., Laine, M., Roberts, R. W., & Rodrigue, M. (2015). Organized hypocrisy, organizational façades, and sustainability reporting. *Accounting, Organizations and Society*, 40, 78–94. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.12.003>
- Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: Implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(4), 469–483. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2018-0309>

- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied innovation*, 2(6-10), 71.
- Dahl, R. (2010). Green Washing. *Environmental Health Perspectives*, 118(6).
<https://doi.org/10.1289/ehp.118-a246>
- de Brito, M. P., Carbone, V., & Blanquart, C. M. (2008). Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: Organisation and performance. *International Journal of Production Economics*, 114(2), 534–553.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.06.012>
- Drescher, D. (2017). *Blockchain Basics: A Non-Technical Introduction in 25 Steps*. Apress L. P.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/kutu/detail.action?docID=4822962>
- Eyal, I., & Sirer, E. G. (2014). Majority Is Not Enough: Bitcoin Mining Is Vulnerable. In N. Christin & R. Safavi-Naini (Eds.), *Financial Cryptography and Data Security*, Springer, 436–454. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45472-5_28
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., & Fallah, S. (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. *Omega*, 45, 92–118.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.08.006>
- Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency. *Logistics*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/logistics2010002>
- Franzoni, S. (2020). *Blockchain and smart contracts in the Fashion industry*.
<https://webthesis.biblio.polito.it/15336/>
- Hamelin, N., Nwankwo, S., & El Hadouchi, R. (2013). “Faking brands”: Consumer responses to counterfeiting: Journal of Consumer Behaviour. *Journal of Consumer Behaviour*, 12(3), 159–170. <https://doi.org/10.1002/cb.1406>
- Heiskanen, A. (2017). The technology of trust: How the Internet of Things and blockchain could usher in a new era of construction productivity. *Construction Research and Innovation*, 8(2), 66–70.
<https://doi.org/10.1080/20450249.2017.1337349>
- Hirsh, S., & Alman, S. W. (2020). *Blockchain*. ALA Neal-Schuman.
https://scholarworks.sjsu.edu/faculty_books/255/
- Jestratijevic, I., Uanhoro, J. O., & Rana, M. R. I. (2024). Transparency of sustainability disclosures among luxury and mass-market fashion brands: Longitudinal

- approach. *Journal of Cleaner Production*, 436, 140481.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140481>
- Jharkharia, S., & Shankar, R. (2005). IT-enablement of supply chains: Understanding the barriers. *Journal of Enterprise Information Management*, 18(1), 11–27.
<https://doi.org/10.1108/17410390510571466>
- Kaur, J., Sidhu, R., Awasthi, A., Chauhan, S., & Goyal, S. (2018). A Dematel based approach for investigating barriers in green supply chain management in Canadian manufacturing firms. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 312–332. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1395522>
- Khanfar, A. A. A., Iranmanesh, M., Ghobakhloo, M., Senali, M. G., & Fathi, M. (2021). Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review. *Sustainability*, 13(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su13147870>
- Khurana, K., & Ricchetti, M. (2016). Two decades of sustainable supply chain management in the fashion business, an appraisal. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 20(1), 89–104. <https://doi.org/10.1108/JFMM-05-2015-0040>
- Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). Blockchain Practices, Potentials, and Perspectives in Greening Supply Chains. *Sustainability*, 10(10), Article 10.
<https://doi.org/10.3390/su10103652>
- Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2020). Blockchain and the circular economy: Potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control*, 31(11–12), 950–966. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695925>
- Kumar, V., Agrawal, T. K., Wang, L., & Chen, Y. (2017a). Contribution of traceability towards attaining sustainability in the textile sector. *Textiles and Clothing Sustainability*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40689-017-0027-8>
- Kumar, V., Hallqvist, C., & Ekwall, D. (2017b). Developing a Framework for Traceability Implementation in the Textile Supply Chain. *Systems*, 5(2), 2. <https://doi.org/10.3390/systems5020033>
- Kushwaha, S. S., & Joshi, S. (2021). An Overview of Blockchain-Based Smart Contract. In S. Smys, R. Palanisamy, Á. Rocha, & G. N. Beligiannis (Eds.), *Computer Networks and Inventive Communication Technologies*, Springer Nature, 899–906. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9647-6_70

- La Londe, B. J., & Masters, J. M. (1994). Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the Next Century. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 24(7), 35–47. <https://doi.org/10.1108/09600039410070975>
- Lahkani, M. J., Wang, S., Urbański, M., & Egorova, M. (2020). Sustainable B2B E-Commerce and Blockchain-Based Supply Chain Finance. *Sustainability*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/su12103968>
- Li, L. (2013). Technology designed to combat fakes in the global supply chain. *Business Horizons*, 56(2), 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2012.11.010>
- Li, X., Jiang, P., Chen, T., Luo, X., & Wen, Q. (2020). A survey on the security of blockchain systems. *Future generation computer systems*, 107, 841–853. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.020>
- Macrinici, D., Cartofeanu, C., & Gao, S. (2018). Smart contract applications within blockchain technology: A systematic mapping study. *Telematics and Informatics*, 35(8), 2337–2354. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.10.004>
- Martin, C., Lowson, R., & Peck, H. (2004). Creating agile supply chains in the fashion industry. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 32(8/9), 367–376. <https://doi.org/10.1108/09590550410546188>
- Mougayar, W., & Buterin, V. (2016). The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology. *John Wiley & Sons, Incorporated*. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/kutu/detail.action?docID=4516142>
- Muratore, A. P., & Marques, L. (2022). Fashion supply chain transparency: Do as I say not as I do. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(6), 2459–2478. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2021-0110>
- Niinimäki, K., & Hassi, L. (2011). Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing. *Journal of Cleaner Production*, 19(16), 1876–1883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.020>
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189–200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. (2017). Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183–187. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0467-3>
- Mangla, S. K., Govindan, K., & Luthra, S. (2017). Prioritizing the barriers to achieve sustainable consumption and production trends in supply chains using fuzzy

- Analytical Hierarchy Process. *Journal of cleaner production*, 151, 509-525.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.099>
- Queiroz, M. M., & Fosso Wamba, S. (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.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>
- Rajasekaran, A. S., Azees, M., & Al-Turjman, F. (2022). A comprehensive survey on blockchain technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102039. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102039>
- 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.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- Sedlmeir, J., Buhl, H.U., & Fridgen, G. (2020). The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth. *Business & Information Systems Engineering*, 62(6), 599–608. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00656-x>
- Statista. (February 15, 2024). Global spending on blockchain solutions from 2017 to 2020 (in billion U.S. dollars) [Graph]. In *Statista*. Retrieved April 9, 2024, from <https://www.statista.com/statistics/800426/worldwide-blockchain-solutions-spending/>
- Statista. (September 25, 2023) Revenue of the global apparel market from 2018 to 2028 (in trillion U.S. dollars) [Graph]. In *Statista*. Retrieved April 5, 2024, from <https://www.statista.com/forecasts/821415/value-of-the-global-apparel-market>
- Thakare, S., Raut, S., & Ingale, V. (2023). Transparent Supply Chains with Blockchain. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 7(10), 696–699. <https://doi.org/10.47001/IRJIET/2023.710092>
- Van der Byl, C. A., & Slawinski, N. (2015). Embracing tensions in corporate sustainability: A review of research from win-wins and trade-offs to paradoxes and beyond. *Organization & Environment*, 28(1), 54-79.
<https://doi.org/10.1177/1086026615575047>
- Van Rijmenam, M., & Ryan, P. (2018). *Blockchain: Transforming Your Business and Our World*. Routledge.
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780429457715/blockchain-mark-van-rijmenam-philippa-ryan>

Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., & Caputo, M. (2020). The Unknown Potential of Blockchain for Sustainable Supply Chains. *Sustainability*, 12(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/su12229400>

World Economic Forum (October 2, 2015). State of the Illicit Economy: Briefing Papers. In *World Economic Forum*. Retrieved April 6, 2024, from <https://www.weforum.org/publications/state-illicit-economy-briefing-papers/>

Yan, Y., Wang, B., & Zou, J. (2021). Blockchain: Empowering Digital Economy (1st ed.). *World Scientific*.

https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=qW85EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Blockchain:+Empowering+Digital+Economy&ots=xqAiCZH0Sk&sig=xqzo3pvm0r0MOFZsdxG1t7xQLjE&redir_esc=y#v=onepage&q=Blockchain%20Empowering%20Digital%20Economy&f=false