



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Miko Savolainen

# **Lohkoketjuteknologia ja sen sovellutukset logistiikassa**

Kandidaatintutkielma

Tekniikan ja innovaatiojohtamisenyksikkö  
Tuotantotalous, Kandidaatintutkielma  
Tekniikan kandidaatti

Vaasa 2024

---

**VAASAN YLIOPISTO****Energia- ja informaatiotekniikan ohjelma**

<b>Tekijä:</b>	Miko Savolainen		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Lohkoketjuteknologia ja sen sovellutukset logistiikassa : Kandidaatintutkielma		
<b>Tutkinto:</b>	Tekniikan kandidaatti		
<b>Oppiaine:</b>	Tuotantotalous		
<b>Työn ohjaaja:</b>	Tauno Kekäle		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2024	<b>Sivumäärä:</b>	36

---

**TIIVISTELMÄ :**

Tutkielmassa tarkastellaan lohkaketjuteknologian sovelluksia logistiikassa. Lohkoketjuteknologia on hajautettu järjestelmä, joka mahdollistaa turvallisen ja muuttumattoman tietojen tallentamisen. Logistiikka-alalla teknologian on havaittu tarjoavan merkittäviä etuja erityisesti toimitusketjujen hallinnan, läpinäkyvyyden ja tehokkuuden parantamisessa. Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa lohkaketjuteknologian peruseriaatteet, sen sovellukset logistiikassa sekä arvioida sen käyttöönoton haasteita. Kirjallisuuskatsauksen perusteella on havaittu, että lohkaketjuteknologia parantaa toimitusketjujen läpinäkyvyyttä ja turvallisuutta tarjoamalla hajautetun ja muuttumattoman tietokannan. Teknologiaa hyödynnetään esimerkiksi lähetysten seurannassa, asiakirjahallinnassa ja automaatiassa. Esimerkiksi TradeLens- ja DHL-järjestelmät osoittavat, että lohkaketju voi ratkaista monimutkaisia logistisia ongelmia. Lisäksi teknologian soveltaminen kestävyuden hallintaan ja palautuslogistiikan tehostamiseen tarjoaa uusia mahdollisuuksia. Haasteita ovat kuitenkin standardien puute, korkeat kustannukset ja organisaatioiden muutosvastarinta. Monet yritykset tarvitsevat merkittäviä investointeja infrastruktuuriin ja osaamisen kehittämiseen. Teknologian täysi hyödyntäminen vaatii myös syvempää ymmärrystä sen käytännön vaikutuksista logistiikan prosesseihin. Tutkielma osoittaa lohkaketjuteknologian potentiaalin logistiikassa, mutta korostaa samalla lisätutkimuksen tarvetta erityisesti empiiristen tapausten osalta. Jatkotutkimuksissa tulisi keskittyä lohkaketjun pitkän aikavälin vaikutuksiin ja sen yhdistämiseen muihin innovaatioihin, kuten tekoälyyn ja esineiden internetiin, logistiikkaprosessien optimoimiseksi.

---

**AVAINSANAT:** Lohkoketjut, Logistiikka, Älysovimukset, Jäljitettävyyys, Automaatio

## Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymykset	5
1.2	Tutkimusongelma	6
1.3	Tutkimusmenetelmä ja aiheen rajaus	7
2	Lohkoketjut	9
2.1	Lohkoketjujen toiminta	11
2.2	Lohkoketjuteknologian toiminnan yleistetty kehys	13
2.2.1	Datan lisääminen lohkoketjuun	14
2.2.2	Älysopimukset	15
2.3	Lohkoketjujen merkittävimmät heikkoudet	16
3	Logistiikka	17
3.1	Toimivan logistiikan merkitys	17
3.2	Logistiikan haasteet	19
4	Lohkoketjujen sovellukset logistiikassa & esimerkitapaukset	21
4.1	Lähetysten seuranta	21
4.2	Automaatio	22
4.3	Asiakirjahallinta	23
4.4	Lohkoketjujen esimerkitapaukset logistiikan sektorilla	23
4.4.1	Maersk & IBM: TradeLens	24
4.4.2	DHL & Acenture	25
4.4.3	Mojix & Microsoft	25
5	Uusia mahdollisuuksia lohkoketjusovelluksille logistiikassa	27
6	Yhteenveto	28
6.1	Keskustelu ja havainnot	28
6.2	Avoimeksi jääneet kysymykset	28
6.3	Rajoitukset ja jatkotutkimusehdotukset	29
	Lähteet	30

**Kuviot**

Kuvio 1. Käsitteellinen kehys.	8
Kuvio 2. Keskitetty versionhallintajärjestelmä (Ernst, 2012).	9
Kuvio 3. Rejolut.com sivustolla, blogissa ”Decentralizing Privacy Using Blockchain”, esitetty havainnollistava kuva hajautetulle tietokantaratkaisulle (Rejolut Technology Solutions Pvt. Ltd., 2022).	10
Kuvio 4. Kuinka lohkoketju toimii ? (Hassan ja muut, 2018).	11
Kuvio 5. Nakamoton hahmotelma lohkoketjujen transaktioista (Nakamoto, 2008, kappale 2, s. 2).	13

# 1 Johdanto

Lohkoketju on kehittyvä teknologiakonsepti, joka mahdollistaa hajautetun ja todennettujen tietojen muuttumattoman tallentamisen. Viime vuosina se on herättänyt yhä enemmän huomiota eri toimialoilla. Erityisesti finanssiteknologian sektorilla se on saanut suurta huomiota ja sitä pidetään potentiaalisena kilpailijana nykyisille maksujärjestelmille (Hackius & Petersen, 2017). Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys ovat keskeisiä piirteitä lohkoketjujen tarjoamissa mahdollisuuksissa. Kaikkien pääsy samaan dataan varmistaa yhtenäisen totuuden. (Tapscott & Tapscott, 2016). Läpinäkyvyys tuotantoketjuissa on yksi logistiikan ja tuotantoketjujen hallinnan tärkeimmistä, mutta samalla vaikeimmin saavutettavista kehityskohteista (Abeyratne & Monfared, 2016). On tunnustettu, että lohkoketjulla on varteenotettava potentiaali muuttaa jokaista vaihetta toimitusketjussa, alkaen raakojen materiaalien hankinnasta ja päättyen asiakkaille toimitettaviin valmiisiin tuotteisiin (Babich & Hilary, 2020). Lohkoketjusovellukset kehittyvät entistäkin kiinnostavammiksi, ja vaikka kaupallistaminen saattaa olla vielä vuosien päässä, tämän teknologian tulevaisuus näyttää valoisalta (Pournader ja muut, 2020).

## 1.1 Tutkielman tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkielman tavoitteena on tutkia, miten lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää logistiikka-alalla. Erityisesti keskitytään ymmärtämään lohkoketjun peruseriaatteita ja selvittämään, millaisia sovelluksia se tarjoaa logistiikka-alalle. Tutkin, kuinka varteenotettavana lohkoketjuteknologiaa voidaan pitää logistiikka-alalla,

sekä arvioin, ovatko siihen liittyvät odotukset realistisia vai liioiteltuja. Näkemys saavutetaan vastaamalla seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. **Miten lohkoketjuteknologia toimii?**
2. **Kuinka hyvin lohkoketjut vastaavat logistiikan tarpeisiin ja haasteisiin ?**
3. **Mitkä ovat lohkoketjuteknologian mahdolliset sovellukset logistikassa?**
4. **Voidaanko lohkoketjuteknologiaa pitää hyödyllisenä innovaationa logistiikan alalle vai onko siihen kohdistuvia odotuksia liioiteltu?**

## **1.2 Tutkimusongelma**

Tutkielman keskeinen ongelma liittyy lohkoketjuteknologian soveltamisen monimutkaisuuteen ja nopeaan kehitystahtiin. Lohkoketjuteknologia on monisyinen ilmiö, joka yhdistää kryptografian, hajautetut järjestelmät ja konsensusmekanismat. Tämä tekee sen ymmärtämisestä haastavaa erityisesti niille, jotka eivät ole teknologia-alan asiantuntijoita. Yksi tutkimusongelman keskeisistä näkökohdista on, voidaanko lohkoketjuteknologiaa pitää valmiina ratkaisuna, jota voidaan hyödyntää logistikassa ilman syvällistä teknistä osaamista.

Toinen merkittävä tutkimusongelma liittyy lohkoketjuteknologian sovellusten arvioimiseen logistiikka-alalla. Teknologian kehitys on jatkuvaa, ja uusien innovaatioiden arviointi luotettavasti voi olla haastavaa. Onko olemassa käytännön sovelluksia, jotka ovat osoittautuneet toimiviksi ja hyödyllisiksi logistiikan kontekstissa, vai onko teknologian potentiaali edelleen pääasiassa teoreettista?

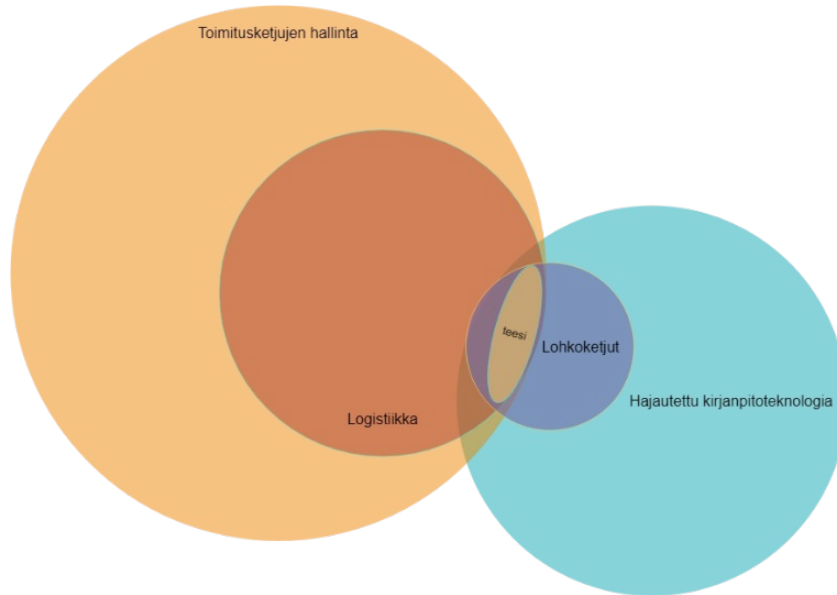
### 1.3 Tutkimusmenetelmä ja aiheen rajaus

Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa keskeisenä aineistona käytetään lohkoketjuteknologiaa ja logistiikkaa käsittelevää kirjallisuutta, tutkimuksia ja artikkeleita. Aineistot ovat saatavilla hakemalla Google Scholar:ista ja Vaasan yliopiston sekä Vaasan ammattikorkeakoulun Finna-hakemiston tietokannoista. Lähdeainestoa valittaessa on pyritty siihen, että tutkimukseen on sisällytetty vain akateemisen kriittisyyden kestäviä lähteitä ja tutkimuksia.

Lähteet keskittyvät teknologian uusimpiin sovelluksiin ja niiden vaikutuksiin logistiikka-alan prosesseihin. Tärkeää tutkimuksessa on myös huomioida lohkoketjuteknologian kehityksen nopeus ja sen tuomat uudet mahdollisuudet logistiikan tehokkuuden ja läpinäkyvyyden parantamisessa. On otettava huomioon, että suurin osa tutkimusmateriaalista on englanninkielistä, mikä voi asettaa haasteita terminologian ja spesifien konseptien käännöksessä suomen kielelle.

Lohkoketjuteknologian käyttö logistiikka-alalla on moniulotteinen aihe, jota tässä kandidaatintutkielmassa lähestytään keskittymällä erityisesti teknologian mahdollistamiin konsepteihin ja innovaatioihin logistiikka-alalla. Tämän lähestymistavan tavoitteena on ymmärtää paremmin lohkoketjuteknologian nykyisiä ja potentiaalisia vaikutuksia logistiikka-alan toimintoihin. Tutkimuksessa korostetaan lohkoketjun merkittävimpiä käyttötapoja logistiikassa, kuten toimitusketjujen hallintaa, läpinäkyvyyden lisäämistä ja turvallisuuden parantamista. Työn teoreettisissa osissa keskitytään erityisesti lohkoketjuteknologian perusteisiin, sen mahdollistamiin innovaatioihin ja sen tuomiin haasteisiin logistiikassa. Tutkimuksen rakenne on jaettu selkeisiin osa-alueisiin, jotka mahdollistavat kattavan ymmärryksen aiheesta. Tutkimuksen kattokäsitteiden havainnollistamiseksi on luotu visuaalinen kuvio 1, joka näyttää lohkoketjuteknologian ja logistiikan välisen yhteyden. Teorian jälkeen tutkimuksessa syvennytään teknologian käytännön sovelluksiin, kuten toimitusketjun

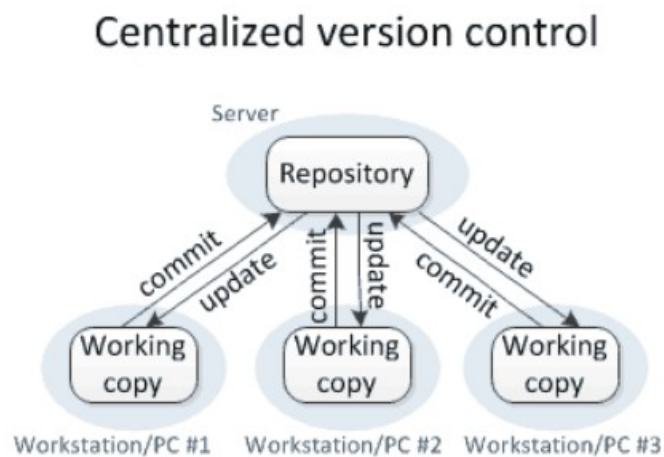
hallintaan, ja pohditaan lohkoketjuteknologian nykytilaa sekä tulevaisuuden näkymiä logistiikka-alalla.



**Kuvio 1.** Käsitteellinen kehys.

## 2 Lohkoketjut

Natarajan ja muut (2017) sekä Babich & Hilary (2020) esittävät, että lohkoketju ei ole yksittäinen monoliittinen teknologia, vaan teknologiakokonaisuus, joka koostuu kryptografiasta, hajautetuista järjestelmistä ja konsensusmekanismeista. Näiden avulla saavutetaan hajautettu kirjanpitolohkoketju (DLT). DLT-järjestelmissä tiedot kopioidaan ja synkronoidaan verkon useisiin solmuihin, mikä parantaa häiriönsietokykyä ja vähentää yksittäisen vikapisteen riskiä. Perinteisiin keskitettyihin tietokantoihin verrattuna, joissa on yksi pääkopio, lohkoketjut jakavat hallinnan ja tiedot useisiin solmuihin. Tämä tekee niistä mahdollisesti vastustuskykyisempiä sensuurille ja tietojen väärentämiselle (Natarajan ja muut, 2017). On olemassa muitakin hajautetun kirjanpitolohkoketjun muotoja, kuten suunnattuja asyklisiä graafeja tai hashgraffioita, mutta lohkoketju on tällä hetkellä kaikkein kehittynein (Babich & Hilary, 2020).



**Kuvio 2.** Keskitetty versionhallintajärjestelmä (Ernst, 2012).



**Kuvio 3.** Rejolut.com sivustolla, blogissa ”Decentralizing Privacy Using Blockchain”, esitetty havainnollistava kuva hajautetulle tietokantaratkaisulle (Rejolut Technology Solutions Pvt. Ltd., 2022).

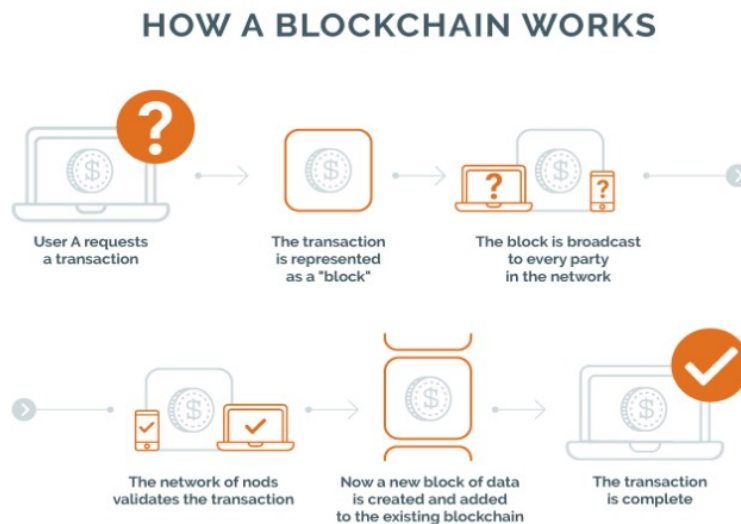
Suosittu lohkoketjualustat, kuten Ethereum, Hyperledger Fabric ja IBM Blockchain, edustavat muutamia monista saatavilla olevista vaihtoehdoista. Kuten Shrivastava & Sharma (2022) määrittävät, nämä hajautetut pääkirjajärjestelmät kestävät yksittäisten solmujen vikaantumisia bysanttilaisen vikasetoisuutensa ansiosta. Ne ovat kuitenkin usein tehottomampia ja niiden skaalautuvuuteen liittyy enemmän haasteita verrattuna perinteisempiin tietokantoihin.

Zhai ja muut (2019) mukaan lohkoketju koostuu ketjuksi yhdistetyistä tietolohkoista, joista kukin lohko sisältää kaikkien edeltävien lohkojen kryptografisen hashin, mikä on kuin lohkon digitaalinen sormenjälki. Tämän rakenteen ansiosta aiempien tietueiden muuttaminen on vaikeaa. Kaikissa lohkoketjuteknologioissa ei kuitenkaan ole samoja ominaisuuksia; esimerkiksi tietojen muuttumattomuus ei ole saatavilla kaikissa variaatioissa. On tärkeää ymmärtää, että lohkoketjujen pääasiallinen tehtävä on tiedon tallentaminen, ei niinkään tiedon kerääminen esimerkiksi RFID-antureilla tai analysointi kuten tekoälyn avulla. Kehitteillä oleviin lohkoketjuprotokollisiin on kuitenkin integroitu

älykkäiden sopimusten ja rahakkeiden kaltaisia ominaisuuksia, jotka parantavat tietojenkäsittelyominaisuuksia. (Babich & Hilary, 2020)

## 2.1 Lohkoketjujen toiminta

Lohkoketju on hajautettu tietokantaratkaisu, joka ylläpitää jatkuvasti kasvavaa tietueiden luetteloa, jotka vahvistetaan siihen osallistuvien solmujen toimesta (Mani, 2017). Hassan ja muut (2018) visualisoivat lohkoketjuteknologian toiminnan seuraavassa kuvassa (Kuvio 4).



**Kuvio 4.** Kuinka lohkoketju toimii ? (Hassan ja muut, 2018).

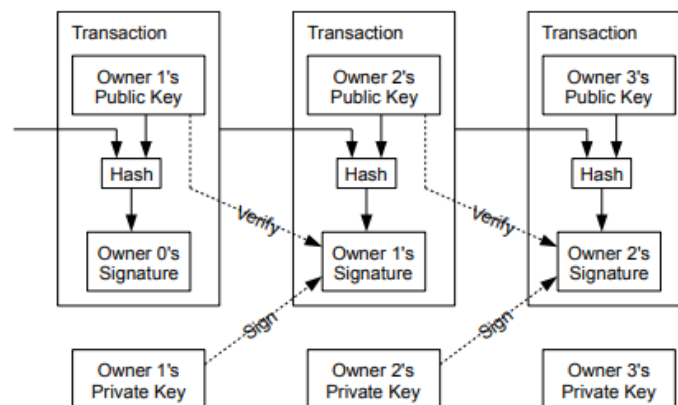
Julkiset lohkoketjut voidaan jaotella kahteen päätyyppiin konsensusmekanisminsa perusteella: Proof-of-Work (PoW) ja Proof-of-Stake (PoS).

**Proof-of-Work** on suojausmekanismi, missä osallistujien täytyy suorittaa tietyn tyyppisiä laskentatehokkaasti vaativia matemaattisia ongelmia (Jakobsson & Juels, 1999), eli niin kutsuttua louhintaa. Louhinta on yksinkertaisimmillaan lohkojen luomiseen tarvittavien ongelmien ratkaisua. Louhimalla käyttäjät osallistuvat verkon ylläpitoon, uusien lohkojen

luontiin sekä verkossa tapahtuvien tapahtumien validointiin. Onnistuneesta lohkon louhimisesta palkitaan lohkon omistuksella tai lohkon luonnista sovitulla palkkiolla. Bitcoin sekä useat varhaiset kryptovaluutat hyödyntävät PoW-järjestelmää. Laskentateholla on tässä järjestelmässä merkittävä rooli uusien lohkojen lisäämisessä sekä lohkoketjun ylläpidossa (Vashchuk & Shuwar, 2018).

**Proof-of-Stake** -järjestelmä syntyi, kun King & Nadal (2012) loivat Peercoinin. Tämä PoS-järjestelmä hyödynsi Proof-of-Concepts- sekä Proof-of-Work -konsensusmekanismeja. Tarkoituksena oli vähentää laskennallisen tehon vaatimuksia verrattuna PoW-mekanismiin. Peercoinissa osallistujilla, joilla on korkea *kolikon ikä* (eli rahakkeiden määrä kerrottuna omistusajalla), on paremmat mahdollisuudet tulla valituksi lohkon johtajiksi. Toisin kuin PoW-verkossa, jossa solmut ratkaisevat ongelmia, PoS-verkoissa lohkojohtajat valitaan heidän hallussaan olevien osuuksien perusteella. Näin laskentateho ei ole olennainen tekijä. Tämä osuuteen perustuva johtajan valinta vähentää energiankulutusta merkittävästi PoW-mekanismeihin verrattuna. PoS-verkoissa saavutetaan nopeammat lohkojen luomis- ja vahvistusnopeudet, toisin kuin PoW-verkoissa, joissa nopeus on turvallisuussyistä suhteellisen alhainen ja usein vakioitu (Nguyen ja muut, 2019).

## 2.2 Lohkoketjuteknologian toiminnan yleistetty kehys



**Kuvio 5.** Nakamoton hahmotelma lohkoketjujen transaktioista (Nakamoto, 2008, kappale 2, s. 2).

Vaiheittainen ja yksinkertaistettu kehys lohkoketjuteknologian toiminnasta. Esityksen jälkeen tarkastellaan tarkemmin yleiskuvauksen tiettyjä kohtia. Tämä yleiskuvaus lohkoketjuteknologiasta on luotu pohjautuen Yaga ja muut (2018), teokseen "Blockchain Technology Overview" sekä Nakamoton (2008) "Bitcoin: peer-to-peer electronic cash system". Kuvio 5 tukee kehyksen hahmottamista:

1. **Transaktio:** Tapahtumaketju alkaa, kun joku tekee transaktion, esimerkiksi siirtämällä digitaalista valuuttaa. Transaktio tallennetaan odottavaan tilaan.
2. **Transaktioiden vahvistaminen:** Verkoston osallistujat, esimerkiksi niin kutsutut louhijat, vahvistavat transaktion. He varmistavat konsensusmekanismien avulla, että transaktio on laillinen, eikä kyseessä ole esimerkiksi kaksinkertainen transaktio. Tämä data tallentuu käyttäjien levyasemille, joita kutsutaan solmuiksi.
3. **Lohkojen luominen:** Kun uusi lohko luodaan, sisällytetään vahvistetun transaktion data lohkoon. Lohko sisältää myös tietoa muista transaktioista. Luotu lohko sidotaan kryptografisesti edelliseen lohkoon, siinä olevan ainutlaatuisen tunnisteen eli niin kutsutun hashin avulla.
4. **Ketju:** Luotu lohko lisätään ketjun viimeisimpään lohkoon ja niistä muodostuu ketju. Tämä ketju on julkisesti saatavilla ja tallennettu hajautetusti monien tietokoneitten eli solmujen verkkoon.
5. **Läpinäkyvyys ja turvallisuus:** Lohkoketju on läpinäkyvä ja muuttumaton. Kun tieto on lisätty lohkoon ja täten ketjuun, sitä ei voi muuttaa ilman verkoston enemmistön samamielisyyttä. Ellei niin kutsutulla väärentäjällä ole hallussaan vähintään 51 % ketjun lohkoista, ketjun lohkojen muokkaaminen tai väärentäminen pitäisi olla mahdotonta. Kun tieto lisätään lohkoketjuun, sitä on erittäin vaikea muuttaa tai poistaa. Tämä tekee lohkoketjusta läpinäkyvän ja turvallisen, mikä on hyödyllistä esimerkiksi rahoitustransaktioissa.
6. **Konsensusmekanismit:** Lohkoketjut käyttävät konsensusmekanismeja, kuten Proof-of-Work- tai Proof-of-Stake -järjestelmiä, varmistaakseen, että kaikki

verkoston noodit ovat yhtä mieltä ketjun tilasta. Toimenpide vaatii paljon laskentatehoa ja sähköä.

7. **Älysopimukset:** Monet lohkoketjualustat, kuten Ethereum, mahdollistavat älysopimusten käytön. Nämä ovat itsestään täyttyviä sopimuksia, joiden ehdot toteutetaan automaattisesti, kun tietyt kriteerit täyttyvät.

### 2.2.1 Datan lisääminen lohkoketjuun

Tietojen lisääminen lohkoketjuun on järjestelmällinen ja suojattu prosessi, jossa on keskeisiä vaiheita tiedon eheyden ja turvallisuuden varmistamiseksi. Ensin tiedot valmistellaan ja muotoillaan oikein, olivatpa ne sitten transaktioita, älykkäitä sopimuksia, poletteja tai henkilötietoja, jonka jälkeen ne muunnetaan lohkoketjun tuntemaan muotoon. Tämän jälkeen näistä tiedoista luodaan transaktio, joka sisältää myös lähettäjän ja vastaanottajan tiedot sekä aikaleiman (Dinh ja muut, 2018).

Ennen kuin tämä transaktio voidaan lisätä lohkoketjuun, se on validoitava verkon solmuilla, jotka tarkistavat sen kelpoisuuden lohkoketjun sääntöjä vastaavaksi. Validoinnissa tarkastetaan, esimerkiksi onko lähettäjällä riittävästi varoja suorittaa finanssitransaktio. Kun siirtotapahtuman tiedot on validoitu, ne käsitellään tiivistefunktiolla, joka luo yksilöllisen ja kiinteän kokoisen aakkosnumeerisen merkkijonon, mikä edustaa kyseisiä tietoja. Tämä merkkijono, eli niin kutsuttu hash-arvo, ja edellisen lohkon hash-arvo sisällytetään tietolohkoon. Näin lohkot säilyttävät yhtenäisyyden. (Judmayer ja muut, 2017 & Yaga ja muut, 2018, s.7-9)

Useimmat lohkoketjut käyttävät konsensusmekanismia, kuten Proof-of-Work tai Proof-of-Stake, luodun lohkon oikeellisuuden hyväksymiseksi. Vashchuk & Shuwar (2018) todentavat, että nämä mekanismit ovat ratkaisevan tärkeitä petosten estämisessä ja sen varmistamisessa, että kaikki solmut ovat yhtä mieltä lohkoketjun nykytilasta. Kun

konsensus on saavutettu, lohko lisätään lohkoketjuun pysyväksi tietueeksi, jota ei voi muuttaa ilman että kaikki sitä seuraavat lohkot työstetään uudelleen. Tämä on tarkoituksella tehty vaikeaksi ja aikaa vieväksi lohkoketjun turvallisuuden varmistamiseksi. Lopuksi uusi tietolohko levitetään koko verkkoon, jolloin kaikki solmut päivittävät kopionsa muutetusta osasta lohkoketjua. Vaikka tämä prosessi on yleisesti ottaen vastaava kaikissa lohkoketjuissa, käytetty menetelmä ja siihen liittyvät vaiheet voivat vaihdella käytössä olevan lohkoketjualustan mukaan. (Yaga ja muut, 2018, luku 4)

### 2.2.2 Älysopimukset

Termi **älysopimus** tuotiin ensimmäistä kertaa esille 1990-luvun puolivälissä, kun tietotekniikan tutkija ja kryptograafikko Nick Szabo määritteli sen digitaalisesti määriteltyjen lupauksen joukoksi, mikä sisälsi protokollat, jotka mahdollistavat näiden lupauksen täyttämisen (Szabo, 1996). Szabo vertasi älysopimuksia perinteisiin myyntiautomaatteihin, jotka toimittavat tuotteita vastineeksi syötetyille kolikoille. Älysopimukset vievät tämän kuitenkin pidemmälle, mahdollistaen sopimusehtojen digitaalisen sisällyttämisen erilaisiin omaisuuseriin ja käyttäen selkeää logiikkaa sekä kryptografisia protokollia varmennukseen ja täytäntöönpanoon. Näin ollen, ne ovat tehokkaampia kuin perinteiset paperiset sopimukset. (Szabo, 1997; Wang ja muut, 2019)

Yleisesti ottaen älykkäät sopimukset voidaan määritellä tietokoneohjelmiksi, jotka digitaalisesti todentavat ja panevat täytäntöön lohkoketjussa osapuolten välillä tehdyt sopimukset. Koska älykkäät sopimukset toimivat lohkoketjuteknologian avulla ja ovat sen suojaamia, niillä on tiettyjä erityispiirteitä. Ensinnäkin, älykkään sopimuksen ohjelmakoodi tallennetaan ja varmennetaan lohkoketjuun, mikä tekee siitä vastustuskykyisen peukaloinnille. Toiseksi, älykkään sopimuksen suorittamisesta vastaavat anonyymit, luotettavat solmut ilman keskitettyä valvontaa tai kolmannen osapuolen välittäjiä. Kolmanneksi, älykäs sopimus voi pitää hallussaan omia

kryptovaluuttoja tai digitaalisia varoja ja siirtää niitä, kun ennalta määritellyt ehdot täyttyvät. (J. Stark, 2016; Wang ja muut, 2019)

### **2.3 Lohkoketjujen merkittävimmät heikkoudet**

Lohkoketjuteknologian merkittävimmät heikkoudet ovat, että vaikka se mahdollistaa julkisesti nähtävät ja turvalliset liiketoimet, lohkoketjun transaktioiden peruuttamattomuus estää hyvityksen saamisen ilman uutta transaktiota. Lisäksi lohkoketjuympäristön lainsäädäntö ja säännökset ovat epäselviä, mikä voi johtaa kuluttajien sekaannukseen. Lohkoketju ei myöskään ole niin kustannustehokas kuin jotkut olettavat, sillä sen käyttöönottoon ja ylläpitoon liittyvät kustannukset ovat merkittäviä. (Dutta ja muut, 2020)

### 3 Logistiikka

*"The amateurs discuss tactics : the professionals discuss logistics."  
-Napoleon Bonaparte*

Mitä logistiikka on? Vaikka termejä logistiikka ja toimitusketju käytetään joskus synonyymisesti, logistiikka on osa toimitusketjua. Logistiikalla tarkoitetaan tavaroiden ja palvelujen tehokkaan liikkumisen ja varastoinnin edellyttämien prosessien kokonaisvaltaista koordinoitua ja hallintaa. Siihen kuuluvat suunnittelu, hankinta, kuljetus, toimitus, varastonhallinta ja resurssien organisointi. Logistiikka on keskeisessä roolissa sekä yhteiskunnissa, että liiketoiminnassa. (Thompson, 2023) Olennaisena osana toimitusketjujen hallintaa logistiikka käsittää ensisijaisesti tavaroiden kuljetusta, varastointia ja jakelua tavaroiden lähtöpisteestä niiden kulutuspisteeseen. Se ottaa huomioon tekijät, kuten määrät, sijainnin, ajoituksen ja tuotantokapasiteetin, varmistaen samalla kysynnän tyydytyksen. Pohjimmiltaan logistiikka yhdistää tiedon, kuljetuksen, varaston, varastoinnin, materiaalinkäsittelyn, pakkaamisen, turvallisuuden ja muut toiminnot. Sitä voidaan pitää "yhdistävinä nuolina", jotka sitovat yhteen koko toimitusketjun kaikki osat ja varmistavat tavaroiden ja palvelujen sujuvan ja tehokkaan virtauksen. (Prieto, 2021; Thompson, 2023)

#### 3.1 Toimivan logistiikan merkitys

Toimiva logistiikka on kulmakivi taloudelliselle ja yhteiskunnalliselle edistykselle. Logistiikka on kehittynyt merkittävästi, eikä se ole enää pelkkä palvelutoiminto vaan elinehto, joka kuljettaa kaikkia teollisuudenaloja. Ristovskan ja muiden (2017) mukaan yritysten toimivuus pyörii logistisen suorituskyvyn ympärillä, sillä kyvyn toimittaa oikea

tuote, oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan, merkitys on suuri. Kilpailu markkinoilla vahvistaa logistiikan merkitystä erotavaksi tekijäksi kilpailijoiden välillä. Logistiikan rooli ulottuu perinteisiä parametrejä pidemmälle, ollen dynaaminen ja merkittävä tekijä nykyaikaisessa liiketoimintaekosysteemissä. Aung & Chang (2014) painottavat, että tuotteiden oikea aikainen toimitus ja tavaran kunnon säilyttäminen on välttämätöntä liiketoiminnalle jokaisessa tuotantoketjussa. Kehittyneissä maissa vientituotteet ovat merkittävässä osassa bruttokansantuotetta (World Bank Group, n.d.), vaikuttaen taloudellisiin asioihin kuten inflaatioasteeseen, korkoasteeseen, tuottavuuteen, energian hintaan (Verger Group, 2023). Mangrulkar ja muut (2022) korostavat, että vankan logistiikan merkitys tuntuu erityisesti kriisiaikoina, jolloin sillä on elintärkeä rooli sosiaalisen ja taloudellisen vakauden ylläpidossa. Kestävien käytäntöjen sisällyttäminen symboloi toisenlaista merkittävää muutosta logistiikan alalla, kun ympäristötietoisuus lisääntyy maailmanlaajuisesti. Vihreiden vaihtoehtojen edistäminen sekä käytännöt, kuten esimerkiksi optimoidut kuljetusreitit, palautuva logistiikka sekä uusiutuvien ja uusiutumattomien tai kierrätettyjen ja ei-kierrätettyjen luonnonvarojen hyödyntäminen. Yhtiöille annetaan yhteiskuntavastuun muodossa painetta, jotta ne keskittyisivät vastuullisiin liiketoimintatapoihin ja kestävän logistiikan integroimiseen (Svensson, 2007). Zhai ja muut (2016) kertovat että sähköisen kaupankäynnin kukoistus ja ajanut tarvetta nopealle sekä luotettavalle toimitukselle, edistäen innovointia logistisissa strategioissa. Logistiikan ratkaiseva rooli verkko-ostosten lisääntymisen hallinnassa on ensiarvoisen tärkeä, aina tilausten täyttämisestä palautusten käsittelyyn ja mukautuvaan toimitusketjuun, joka on valmis kysynnän muutoksiin (Christopher & Ryals, 2014). Digitaalinen kaupankäynti muovaa yhä enemmän kuluttajien käyttäytymistä, ja logistiikka muodostaa digitaalisen ostokokemuksen selkärangan. Kuten Mangrulkar ja muut (2022) kertoivat, Covid-19 pandemia alleviivasi logistiikan ja sen resilienssin tärkeyttä kriisitilanteissa. Ilman asianmukaista logistiikkajärjestelmää maailmanlaajuiset tuotteiden toimitusketjut kärsivät. Erityisesti teollisuudenalat, kuten lääketeollisuus ja sirujen valmistajat, kokivat merkittäviä vaikeuksia, kun laivoja ja lentokoneita ei ollut käytettävissä tuotteiden toimittamiseen ajoissa. Tämä johti markkinahäiriöihin, ja näemme yhä niiden jälkivaikutukset. Logistiikka muodostaa toimitusketjun toimintojen

selkärangan ja hyvin toteutettuna parantaa ratkaisevasti toimitusketjun häiriönsietokykyä. Teknologisten ratkaisujen, kuten automaation, tekoälyn ja esineiden internetin käyttöönotto mullistaa logistiikan toimintoja. Tämä kattaa esimerkiksi automatisoidut varastot, ennakoivan analytiikan kysynnän ennustamisessa sekä älykkäät seurantajärjestelmät. Logistiikan rooli ulottuu nyt fyysistä asioiden liikettä laajemmalle ja siihen sisältyy ratkaisuja kuten automatisoidut varastot, ennakoiva analytiikka kysynnän ennustamiseen ja älykkäät seurantajärjestelmät. Logistiikkaan liittyy myös teknologisten prosessien optimointi sekä taloudellisen edistyksen että yhteiskunnallisen hyvinvoinnin edistämiseksi (Klumpp, 2018).

### **3.2 Logistiikan haasteet**

Mentzer, Flint ja Hult (perustuen, Burity, 2020) toteavat, että logistiikan haasteisiin, kuten asiakastyytyväisyyden varmistamiseen ja toimitusketjujen tehokkuuteen, liittyy yritysten kyky soveltaa joustavia strategioita sekä kehittää logistiikkapalveluiden laatua teknologisten innovaatioiden ja sidosryhmäyhteistyön avulla. He korostavat, että asiakaslähtöinen palvelun kehittäminen, toimitusten varmuus ja oikea-aikaisuus ovat keskeisiä kilpailutekijöitä, jotka vaativat logistiikkaekosysteemin eri toimijoiden välistä yhteistyötä.

#### **1. Kustannusten hallinta:**

Logistiikan palvelut ovat alttiita kustannusvaihteluille, kuten polttoaineen hinnan nousulle ja työvoimakustannusten kasvulle. Näiden hallinta edellyttää optimointitoimenpiteitä, kuten automaatiota ja toimitusketjun uudelleenjärjestelyä. Kustannustehokkuus usein määrittää yritysten kilpailukyvyn logistiikkamarkkinoilla. (Logistiikan Maailma, n.d.)

#### **2. Teknologian käyttöönotto:**

Ahmad ja muut kertovat (2021), että vaikka uudet teknologiat, kuten IoT, tekoäly ja lohkoketjut, tarjoavat potentiaalisia ratkaisuja logistiikan haasteisiin, niiden käyttöönotto voi olla hidasta ja kallista. He jatkavat, että yritysten on varmistettava, että uudet järjestelmät toimivat yhteen nykyisten kanssa, mikä voi aiheuttaa merkittäviä haasteita.

### **3. Asiakaspalvelun vaatimukset:**

Sähköisen kaupankäynnin kasvun myötä asiakkaiden odotukset ovat korkeammat kuin koskaan. Asiakkaat vaativat nopeita ja tarkkoja toimituksia sekä reaaliaikaista näkyvyyttä toimitusprosessiin. Tämä asettaa logistiikkapalveluille jatkuvaa painetta mukautua ja kehittyä. (Christopher ja Ryals, 2014)

### **4. Kestävyys ja ympäristövaatimukset:**

Yrityksiltä odotetaan yhä enemmän toimia ympäristövaikutustensa vähentämiseksi, kuten sähköajoneuvojen käyttöönottoa ja toimitusketjujen optimointia energiankulutuksen vähentämiseksi. Kestävien logistiikkakäytäntöjen toteuttaminen on kuitenkin usein kallista ja haastavaa, erityisesti pienille yrityksille. (Svensson, 2007)

### **5. Globaali toimitusketju:**

Maailmanlaajuiset toimitusketjut ovat alttiita geopolittisille kriiseille, pandemioille ja luonnonkatastrofeille, jotka voivat aiheuttaa merkittäviä häiriöitä. Yritysten on löydettävä keinoja hallita riskejä ja rakentaa resilienssiä toimitusketjujen häiriöiden varalle (Mangrulkar ja muut, 2022)

### **6. Sääntely ja lainsäädäntö:**

Anwar ja muut (2019) toteavat, että kansainvälisen kaupan monimutkainen sääntelykehys hidastaa usein logistiikkaprosesseja ja kasvattaa vaatimustenmukaisuuskustannuksia. Tullimääräykset ja alueelliset kauppasäännöt edellyttävät jatkuvaa seuranta ja mukautumista.

## **4—Lohkoketjujen sovellukset logistiikassa & esimerkkitapaukset**

Logistiikkatoimintoihin liittyy usein aikaa vieviä ja toistuvia vaiheita, jotka johtuvat asiakirjojen tarkistamisesta ja validoinnista eri kohdissa sen varmistamiseksi, että eri sidosryhmien väliset liiketoimet kirjataan asianmukaisesti. Lohkoketjut ovat hajautettu pääkirjateknologia (DLT) (Gotel ja muut, 2012), jota on sovellettu laajalti eri transaktioiden käsittelyaloilla. Lohkoketjun väitettyjä etuja ovat muun muassa transaktioiden turvallisuus, läpinäkyvyys ja jäljitettävyys. Lohkoketjuteknologian sovelluksia logistiikan hallinnassa ovat muun muassa lähetysten seuranta ja jäljittäminen, automatisointi ja terminaalitoimintojen automatisointi, kauppa-asiakirjojen suojaaminen ja omaisuuden varmentaminen. (Ahmad ja muut, 2021) Teoriassa, Lohkoketjuteknologia parantaa logistiikkatoimintojen tehokkuutta, läpinäkyvyyttä ja turvallisuutta automatisoimalla prosesseja, suojaamalla tietoja sekä helpottamalla reaaliaikaista viestintää sidosryhmien välillä.

### **4.1 Lähetysten seuranta**

Seuranta ja jäljitystä käytetään logistiikassa seuraamaan omaisuutta, kuten ajoneuvoja ja kontteja. Seuranta tunnistaa nykyisen tilan ja sijainnin, kun taas jäljitys hallitsee tietoja omaisuuden liikkeessä toimitusketjun varrella. (Gotel ja muut, 2012) Tieto- ja viestintäteknologiat (ICT) tukevat näitä toimintoja (Anwar ja muut, 2019), mutta keskitetyt järjestelmät ovat alttiita hakkereille ja virheille. Lohkoketjuteknologia tarjoaa hajautetun muuttumattoman pääkirjan logistiikkatietojen tallentamiseen ja hallintaan, mikä parantaa jäljitettävyttä, turvallisuutta ja luottamusta sidosryhmien keskuudessa (Boison & Antwi-Boampong, 2020). Lohkoketju mahdollistaa operatiivisten tietojen, kuten ajoneuvojen koordinaattien, omistustietojen ja anturitietojen (esimerkiksi konttien lämpötila tai paine) pysyvän tallennuksen. Tämä varmistaa tietojen eheyden ja

läpinäkyvyyden, mikä auttaa päätöksenteossa, tarkastuksissa ja säädösten noudattamisen valvonnassa. Älykkäät sopimukset, jotka on integroitu antureihin, voivat seurata olosuhteita (esimerkiksi lämpötilaherkille tuotteille, kuten rokotteille) ja ilmoittaa sidosryhmille mahdollisista rikkomuksista (Salah ja muut, 2020). Lohkoketjun hajautettu luonne tekee siitä vikasietoisien ja vähentää riskejä, jotka liittyvät laitteistopohjaisiin jäljitysjärjestelmiin, kuten tietojen katoamiseen tai luottamuspulaan puuttuvien aikaleimojen takia. Jokaisella sidosryhmällä on kopio pääkirjasta, ja tämä hajautettu malli parantaa turvallisuutta ja suorituskyvyn seurantaan logistiikassa (Ahmad ja muut, 2021).

## 4.2 Automaatio

Viimeaikaiset edistysaskeleet älykkäässä teknologiassa, ovat johtaneet esimerkiksi satamaviranomaiset hyödyntämään pilvipalveluita ja esineiden internetiä (IoT) operaatioiden automatisointiin. Tämän tavoitteena on lisätä tehokkuutta, vähentää kuluja sekä ruuhkautumista (Anwar, 2019; Khan & Salah, 2018). Perinteiset järjestelmät kamppailevat tiedon jakamisen kanssa, kun taas lohkoketju tarjoaa väärentämättömiä tietoja, mikä parantaa aikataulujen hallintaa ja resurssien käyttöä. Lohkoketju mahdollistaa myös kauppakirjojen reaaliaikaisen saatavuuden, mikä lyhentää konttien odotusaikoja ja parantaa taloudellista tehokkuutta (Anwar ja muut, 2019). Lohkoketjujen älykkäillä sopimuksilla kyetään rekisteröimään kuljetusyriä, ja näin varmistamaan avoimuus ja luottamus kertovat Di Gregorio ja muut (2017). He lisäävät, että IoT-antureiden yhdistäminen lohkoketjuteknologiaan voi parantaa viestintää, resurssien hallintaa ja terminaalitoimintoja tunnistamalla ruuhkat ja pienentämällä riskejä (esimerkiksi sääolot, reitittäminen ym.). Tämä edistää parempaa koordinaatiota satamaviranomaisten ja kuljetusyriä välillä, mikä vähentää viivästyksiä.

### 4.3 Asiakirjahallinta

Kansainvälisessä kaupassa tavaroiden siirtäminen yli rajojen vaatii useiden paperipohjaisten asiakirjojen, kuten konossementin, remburssin ja tulli-ilmoitusten, toimittamista. Perinteiset järjestelmät kohtaavat ongelmia, kuten viiveitä, manipuloinnin riskejä, tietojen epä johdonmukaisuutta ja vaikeuksia poikkeamien jäljittämässä (Boison & Antwi-Boampong, 2019; Lee, 2018). Lohkoketjuteknologia tarjoaa ratkaisun tarjoamalla muuttumattomia, turvallisia tietueita ja parantamalla asiakirjojen eheyttä ja läpinäkyvyyttä koko toimitusketjussa (Juma ja muut, 2019).

Lohkoketju mahdollistaa valtuutettujen osapuolten, kuten tulli- ja laivayhtiöiden sekä pankkien, reaaliaikaisen pääsyn kauppa-asiakirjoihin, kuten konossementtiin (Bill of Lading) ja varmistaa yksityisyyden sekä tietoturvan. Älykkäät sopimukset voivat automatisoida prosesseja, kuten huolitsijoiden ja kuljetusliikkeiden valintaa, ja lohkoketjun jäljitettävyyden avulla tunnistamaan virheet varhaisessa vaiheessa, mikä parantaa tehokkuutta (Anwar, 2019). Yksityiset lohkoketjualustat, kuten Hyperledger Fabric, tarjoavat turvallisen asiakirjojen jakamisen, kun taas julkiset alustat, kuten Ethereum, käyttävät salausta tietojen suojaamiseen (Pongnumkul ja muut, 2017).

### 4.4 Lohkoketjujen esimerkitapaukset logistiikan sektorilla

Lohkoketjuteknologia tarjoaa ratkaisuja logistiikan haasteisiin hajauttamalla tiedot, turvaamalla transaktiot ja lisäämällä prosessien läpinäkyvyyttä (Saber ja muut, 2019).

Teknologia mahdollistaa tavaroiden ja liiketoimien reaaliaikaisen seurannan, lisää luottamusta ja vähentää riskejä, kuten datan manipulointia ja petoksia (Dutta ja muut, 2020). Xu ja He (2022) kirjoittavat, että Etelä-Korean meri- ja kalastusministeriö käynnisti lohkoketjupohjaisen logistiikkapalvelun vuonna 2018. JD Logistics perusti vuonna 2019 Kiinassa ”Logistics+Blockchain” -allianssin, joka tavoittelee lohkoketjuteknologian laajempaa soveltamista logistiikkakäytännöissä. Edellä mainitut esimerkit osoittavat, että teknologiaan uskotaan ja merkittävät toimijat ovat ottaneet askeleita lohkoketjuteknologian vakiinnuttamiseksi. Myös suuret logistiikkayhtiöt, kuten UPS ja FedEx, ovat jo implementoineet lohkoketjuteknologiaa toimitusketjunsä tehokkuuden ja luotettavuuden parantamiseksi. Lohkoketjun käyttöönotto logistiikassa kohtaa kuitenkin organisatorisia ja teknologisia haasteita, eikä sille ole vielä muodostunut yhtenäistä standardia (Chen ja muut, 2020). Seuraavaksi esitän kolme globaalin logistiikan toimijan esimerkkiä lohkoketjujen käyttöönotosta.

#### **4.4.1 Maersk & IBM: TradeLens**

TradeLens sai alkunsa IBM:n ja Maersk:in yhteistyöprojektina. TradeLens on alusta, jota tukee lohkoketjuteknologia ja joka yhdistää koko toimitusketjun ekosysteemin. Alusta tarjoaa luvanvaraisen asiakirjojen ja tietojen jakamisen sovellusohjelmointirajapintojen (API) kautta, joita ohjataan pääsynvalvontarakenteella. Tämä varmistaa turvalliset, salatut ja todennettavissa olevat tapahtumat. Lisäksi TradeLens tukee älykkäitä sopimuksia, jotka ovat jaettua ja sovittua liiketoimintalogiikkakoodia, joka määrittää, mitkä liiketoimet voidaan kirjata jaettuun pääkirjaan. Esimerkiksi tuontiselvitys voidaan ohjelmoida ennalta lohkoketjuverkkoon jaettuun älykkääseen sopimukseen, mikä estää muita globaalin toimitusketjun osapuolia muuttamasta liiketoimintalogiikkaa ja mahdollistaa automaattisen itsesuorituksen tapahtumien, kuten asiakirjojen viranomaishyväksynnän, perusteella.

Vaikka TradeLens toimii ja tarjoaa arvoa, sen käyttöönotto on ollut hidasta. Tämä ei johdu teknisistä haasteista tai arvon puutteesta, sillä konttikuljetusalan toimijat ovat kiinnostuneita ratkaisusta. Ongelmat liittyvät Huoleen investoimisesta teknologiainfrastruktuuriin, joka ei ehkä lähde liikkeelle ja haluttomuudesta luottaa lohkoketjun kautta jaettuihin digitaalisiin kauppasiakirjoihin. (Jensen, T., Hedman, J. ja Henningsson, S. 2019)

#### **4.4.2 DHL & Acenture**

DHL sekä Accenture kehittivät lohkoketjupohjaisen prototyypin farmaseuttisten tuotteiden seurantaan toimitusketjuissa. Alusta käyttää hajautettua pääkirjanpitoa sidosryhmien yhdistämiseen, ja solmupisteet sijaitsevat kuudessa eri paikassa. Pisteiden avulla tarkoituksena seurata kaikki vaiheet alkuperästä kuluttajalle. Heidän laboratoriotestinsä osoittivat, että alusta pystyisi käsittelemään yli seitsemää miljardia sarjanumeroa ja noin 1500 tapahtumaa sekunnissa.

Interpolin mukaan lääkeväärennökset aiheuttavat miljoona kuolemaa vuosittain ja WHO arvioi, että jopa 30 % lääkkeistä kehitysmaissa on väärennettyjä, niiden arvon ollessa globaalisti 83 miljoonaa dollaria. Kehitetty järjestelmä tarjoaisi reaaliaikaisen näkyvyyden valmistajille, jakelijoille ja terveydenhuollon toimijoille, varmistaen tuotteiden aitouden. (Accenture, 2018; DHL Group, 2018 & 2023)

#### **4.4.3 Mojix & Microsoft**

Mojix luo elintarvike- ja vähittäiskaupan alalle ketjunhallintaohjelmistoja automaation lisäämiseksi, hävikin vähentämiseksi, tuotteiden laadun ja alkuperän varmistamiseksi. Yritys tekee yhteistyötä Microsoftin kanssa, tarjotakseen lohkoketjulla tehostetun version tuotteestaan. Lohkoketjuteknologian avulla yrityksen ohjelmisto voi

automatisoida elintarvikkeiden turvallisuusvaatimusten noudattamista, vanhenemispäivämäärien seuranta ja varastonhallintaa. Heidän järjestelmänsä käyttää älykkäitä sopimuksia, jotka perustuvat Microsoftin Azure Blockchain-as-a-service alustaan. Nämä älykkäät sopimukset määrittävät tarkasti, miten tuotteet liikkuvat toimitusketjussa. Jokainen vaihe lukitaan kryptografisesti ja tallennetaan lohkoketjuun. Lohkoketjupohjaiset ratkaisut ovat suunniteltu erityisesti elintarvike alalle sekä ylellisten tavaroiden vähittäiskauppaan. Näillä aloilla Mojix tekee yhteistyötä suuryhtiöiden kuten McDonald'sin ja Mercedes-Benzin kanssa. (Lund, 2017; Mojix, 2017 & 2023)

## 5 Uusia mahdollisuuksia lohkoketjusovelluksille logistiikassa

Lohkoketjuteknologialla on potentiaali ratkaista nykyisiä ongelmia logistiikan sektorilla ja sen sovellusalueet voivat ulottua paljon pidemmälle kuin pelkästään toimitusketjujen seuranta ja asiakirjahallinta. Seuraavaksi esiteltynä potentiaalisia käyttötapoja mukautuen tieteellisessä kirjallisuudessa esitettyihin asioihin.

Babich ja Hilary (2020) tuovat esille, että lohkoketjut voisivat tarjota läpinäkyvän järjestelmän logistiikkaketjujen ympäristövaikutusten seuraamiseen. Toimitusketjun eri vaiheissa kerätty data, kuten kuljetusmuotojen hiilidioksidipäästöt voitaisiin tallentaa lohkoketjuun. Tämä tarkentaisi jäljitettävyyttä ja edesauttaisi käsitystä ympäristötietoisuudesta. Dutan ja muiden (2020) kirjallisuuskatsauksen perusteella varaosien alkuperän ja koneen huoltotietojen tallentaminen lohkoketjuun voisi lisätä luotettavuutta ja auttaa ylläpitämään huoltokäytäntöjen noudattamista. Tämä osaltaan parantaisi luotettavuutta ja esimerkiksi suoraviivaistaisi takuuasioita. Paluulogistiikan hallinnassa lohkoketju voisi automatisoida prosesseja. Esimerkiksi älysopimusten avulla olisi mahdollista varmistaa nopea hyvitys, kun asiakas palauttaa tuotteen tiettyjen ehtojen mukaisesti (Juma ja muut, 2019). Pournaderin ja muiden (2020) tekstistä käy ilmi, että ekoälyä ja lohkoketjuteknologiaa voidaan yhdessä hyödyntää parantamaan logistiikan ja toimitusketjujen hallintaa, sillä lohkoketju tarjoaa luotettavan ja läpinäkyvän pohjan datalle, mikä tukee tekoälyn analyysien tarkkuutta ja optimointikykyä.

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Keskustelu ja havainnot

Lohkoketjuteknologialla on lupaava potentiaali logistiikka-alalla erityisesti läpinäkyvyyden, turvallisuuden ja tehokkuuden lisäämisessä. Lohkoketjut voivat toimia katalysaattorina logistiikan digitalisaatiossa ja automaatiiossa. Tekniikan avulla voidaan parantaa toimitusketjujen hallintaa, vähentää dokumentaation käsittelyyn liittyviä virheitä ja mahdollistaa reaaliaikainen seuranta. Keskeiset sovellukset, kuten älykkäät sopimukset ja hajautettu pääkirja, tarjoavat uusia mahdollisuuksia esimerkiksi asiakirjahallinnassa ja lähetysten seurannan kehittämisessä.

Teknologian käyttöönotto ei kuitenkaan ole yksinkertaista, sillä sen laajamittaista hyödyntämistä hankaloittavat muun muassa standardoinnin puute, korkeat käyttöönotto- ja ylläpitokustannukset sekä organisaatioiden sisäinen muutosvastarinta. On kuitenkin huomionarvoista, että monet suuret yritykset investoivat aktiivisesti omien lohkoketjuratkaisujensa kehittämiseen tai osallistuvat konsortioiden lohkoketjujärjestelmiin. Yrityksen erityistarpeet, olemassa oleva infrastruktuuri ja tekninen asiantuntemus vaikuttavat siihen, valitaanko esimerkiksi Blockchain-as-a-Service (BaaS) -palvelu vai jokin muu lohkoketjutoteutusratkaisu.

### 6.2 Avoimeksi jääneet kysymykset

Tutkielmassa on tunnistettu tarve syvemmälle analyysille koskien lohkoketjuteknologian pitkän aikavälin vaikutuksia logistiikka-alan prosesseihin. Esimerkiksi teknologian nopea kehitystahti ja käytössä olevat sovellutukset edellyttävät lisätutkimusta. Lohkoketjuilla on jo jalansija logistiikkaratkaisuiden keskuudessa, mutta pysyväkö sovellutukset

suuryritysten omina tietojärjestelminä vai otetaanko niitä laajempaan standardinomaiseen käyttöön.

### **6.3 Rajoitukset ja jatkotutkimusehdotukset**

Tutkielma perustuu kirjallisuuskatsaukseen, mikä voi rajata johtopäätösten käytännön sovellettavuutta. Lisäksi esimerkiksi yritysten omista lohkoketjuratkaisuista on hankala löytää kirjallisuutta tai dataa. Tulevassa tutkimuksessa tulisi keskittyä empiirisiin tapauksiin, joissa lohkoketjuteknologiaa on implementoitu logistiikka-alalla, sekä arvioida sen vaikutuksia laajemmin. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää teknologiayhtiöiden ja logistiikkayhtiöiden yhteisprojekteihin, sillä lohkoketjujen sovellutus vaatii sekä teknologian erityisosaamista, että logistiikan asiantuntemusta.

## Lähteet

- Abeyratne, S., & Monfared, R. (2016). *Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(09), 1–10. <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001>
- Accenture. (2018, March 12). *DHL and Accenture Unlock the Power of Blockchain in Logistics*. Newsroom.accenture.com. <https://newsroom.accenture.com/news/2018/dhl-and-accenture-unlock-the-power-of-blockchain-in-logistics>
- Ahmad, R. W., Hasan, H., Jayaraman, R., Salah, K., & Omar, M. (2021). Blockchain applications and architectures for port operations and logistics management. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100620. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100620>
- Anwar, M., Henesey, L., & Casalicchio, E. (2019). Digitalization in Container Terminal Logistics : A Literature Review. 27th Annual Conference of International Association of Maritime Economists (IAME), 1–25. Noudettu osoitteesta <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-18482>
- Anwar, M., Henesey, L., & Casalicchio, E. (2019). The feasibility of Blockchain solutions in the maritime industry. Esitetty tilaisuudessa 31st NOFOMA CONFERENCE "Supply Chains and Sustainable Development of Societies", Oslo. Noudettu osoitteesta <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-18483>
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control*, 40, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.10.004>
- Babich, V., & Hilary, G. (2020). OM forum—distributed ledgers and operations: What operations management researchers should know about blockchain technology. *Manufacturing & Service Operations Management: M & SOM*, 22(2), 223–240. <https://doi.org/10.1287/msom.2018.0752>

- Boison, D. K., & Antwi-Boampong, A. (2020). Blockchain ready port supply chain using distributed ledger. *Nordic and Baltic Journal of Information and Communications Technologies*. <https://doi.org/10.13052/nbjict1902-097x.2020.001>
- Burity, J. (2020). The Importance of Logistics Efficiency on Customer Satisfaction. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/348564414\\_The\\_Importance\\_of\\_Logistics\\_Efficiency\\_on\\_Customer\\_Satisfaction](https://www.researchgate.net/publication/348564414_The_Importance_of_Logistics_Efficiency_on_Customer_Satisfaction)
- Christopher, M., & Ryals, L. J. (2014). The supply chain becomes the demand chain. *Journal of Business Logistics*, 35(1), 29–35. <https://doi.org/10.1111/jbl.12037>
- DHL Group. (2018, June). *Revolutionizing chains: The impact of blockchain*. DHL.com. <https://www.dhl.com/global-en/delivered/innovation/the-impact-of-blockchain-on-the-supply-chain.html>
- DHL Group. (2023, February 20). *Blockchain In Logistics: How DHL Can Streamline Your Supply Chain*. DHL.com. <https://www.dhl.com/discover/en-nz/logistics-advice/essential-guides/streamline-supply-chain-with-blockchain>
- Di Gregorio, R., Nustad, S. S., & Constantiou, I. (2017). Blockchain adoption in the shipping industry. *A study of adoption likelihood and scenario-based opportunities and risks for IT service providers*, Copenhagen Business School, Number of STUs, 272. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21839.38561>
- Dinh, T. T. A., Liu, R., Zhang, M., Chen, G., Ooi, B. C., & Wang, J. (2018). Untangling blockchain: A data processing view of blockchain systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 30(7), 1366–1385. <https://doi.org/10.1109/tkde.2017.2781227>
- Dutta, P., Choi, T., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 142, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>

- Gotel, O., Cleland-Huang, J., Hayes, J. H., Zisman, A., Egyed, A., Grünbacher, P., Dekhtyar, A., Antoniol, G., Maletic, J., & Mäder, P. (2011). Traceability Fundamentals. In *Springer eBooks* (pp. 3–22). [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2239-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2239-5_1)
- Hackius, N., & Petersen, M. (2017). *Blockchain in logistics and supply chain : trick or treat?* Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 23, 3–18.
- Hassan, Nurul & Jain, Nishchay & Chandna, Vinay. (2018). BLOCKCHAIN, CRYPTOCURRENCY AND BITCOIN. ResearchGate; unknown. [https://www.researchgate.net/publication/334279715\\_BLOCKCHAIN\\_CRYPTOCURRENCY\\_AND\\_BITCOIN](https://www.researchgate.net/publication/334279715_BLOCKCHAIN_CRYPTOCURRENCY_AND_BITCOIN)
- J. Stark. (2016). Making Sense of Blockchain Smart Contracts. [Online]. Available: <https://www.coindesk.com/making-sense-smart-contracts/>
- Jakobsson, M., & Juels, A. (1999). Proofs of work and bread pudding protocols(extended abstract). In *Secure Information Networks* (pp. 258–272). Springer US.
- Jensen, T., Hedman, J., & Henningsson, S. (2019). How TradeLens delivers business value with blockchain technology. *MIS quarterly executive*, 18(4), 221-243. <https://doi.org/10.17705/2msqe.00018>
- Judmayer, A., Stifter, N., Krombholz, K., & Weippl, E. (2017). *Blocks and chains: Introduction to bitcoin, cryptocurrencies, and their consensus mechanisms*. Springer International Publishing.
- Juma, H., Shaalan, K., & Kamel, I. (2019). A survey on Using blockchain in Trade Supply chain solutions. *IEEE Access*, 7, 184115–184132. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2960542>
- Key challenges in Logistics Management: Strategies to Overcome them*. (2023, October 1). Haettu kesäkuun 16., 2024, <https://www.inboundlogistics.com/articles/logistics-management-challenges/>
- Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 82, 395–411. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.022>

- King, S., & Nadal, S. (2012). Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. *self-published paper*, August, 19(1).  
<https://bitcoin.peryaudo.org/vendor/peercoin-paper.pdf>
- Klumpp, M. (2018). Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 224-242.
- Lee, J. S. (2018). Limitation of Liability and Governing Law for Accidents Occurring before Issuance of Bill of Lading. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.03.002>
- Logistiikan Maaailma. (n.d.). Logistiikkastrategia. Haettu kesäkuun 11., 2024,  
<https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikkastrategia/>
- Lund, N. (2017, May 8). *How blockchain can transform the consumer goods supply chain* - Microsoft Industry Blogs. Microsoft Industry Blogs; Microsoft.  
<https://www.microsoft.com/en-us/industry/blog/retail/2017/05/08/blockchain-can-transform-consumer-goods-supply-chain/>
- Mani, V. (2017, August 25). A View of Blockchain Technology From the Information Security Radar. ISACA.  
<https://www.isaca.org/resources/isaca-journal/issues/2017/volume-4/a-view-of-blockchain-technology-from-the-information-security-radar>
- Mentzer, J. T., Flint, D. J., & Hult, G. T. M. (2001). Logistics Service Quality as a Segment-Customized Process. *Journal of Marketing*, 65(4), 82–104.  
<https://doi.org/10.1509/jmkg.65.4.82.18390>
- Mojix. (2017). *Public vs Private Blockchain In A Wide World Of Unique Applications* - Mojix. Mojix.com; Mojix. <https://www.mojix.com/private-blockchain/>
- Mojix. (2023). Enhancing Authentication for Luxury Brands with Blockchain – AURA Blockchain - Mojix. Mojix.com; Mojix. <https://www.mojix.com/enhancing-authentication-for-luxury-brands-with-blockchain/>
- N. Szabo. (1996). Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets. [Online]. Haettu 23.9.2024 osoitteesta:

<https://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/BlockChain/Nick-Szabo-Smart-Contracts-Building-Blocks-for-Digital-Markets-1996-14591.pdf>

- N. Szabo. (1997). The Idea of Smart Contracts. [Online]. Available: <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/idea.html>
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized business review*.
- Natarajan, H., Solvej Karla Krause, & Helen Luskin Gradstein. (2017). Distributed Ledger Technology and Blockchain. In *World Bank, Washington, DC eBooks*. <https://doi.org/10.1596/29053>
- Nguyen, C. T., Hoang, D. T., Nguyen, D. N., Niyato, D., Nguyen, H. T., & Dutkiewicz, E. (2019). Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. *IEEE access*, 7, 85727-85745.
- Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. C. L. (2020). Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: a systematic review of the literature. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2063–2081. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1650976>
- Prieto, Robert. (2021). Logistics. *Procurement and Supply chain, NAC Executive insights, March 23*. [https://www.researchgate.net/publication/350499583\\_Logistics](https://www.researchgate.net/publication/350499583_Logistics)
- Ristovska, N., Kozuharov, S., & Petkovski, V. (2017). The impact of logistics management practices on company's performance. *International Journal of Academic Research in Accounting Finance and Management Sciences*, 7(1). <https://doi.org/10.6007/ijarafms/v7-i1/2649>
- S. Pongnumkul, C. Siripanpornchana and S. Thajchayapong, "Performance Analysis of Private Blockchain Platforms in Varying Workloads," *2017 26th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, Vancouver, BC, Canada, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCCN.2017.8038517
- Salah, K., Alfalasi, A., Alfalasi, M., Alharmoudi, M., Alzaabi, M., Alzyeodi, A., & Ahmad, R. W. (2020). IoT-Enabled shipping container with environmental monitoring and location tracking. *2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications &*

Networking

Conference

(CCNC). <https://doi.org/10.1109/ccnc46108.2020.9045495>

Shrivastava, S., & Sharma, A. (2022). Distributed Ledger Technology (DLT) and Byzantine Fault Tolerance in Blockchain. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 971–981.

[https://doi.org/10.1007/978-981-19-0707-4\\_86](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0707-4_86)

Svensson, G. (2007). Aspects of sustainable supply chain management (SSCM): conceptual framework and empirical example. *Supply chain management: An international journal*, 12(4), 262-266.

<https://doi.org/10.1108/13598540710759781>

Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.

Thompson, A. (2023, March 13). *WHAT IS LOGISTICS? MEANING, PROCESSES, FUNCTIONS AND EXAMPLES*. Dhl.com. Haettu 16.1.2024

<https://www.dhl.com/discover/en-us/global-logistics-advice/import-export-advice/what-is-logistics>

Vashchuk, O., & Shuwar, R. (2018). Pros and cons of consensus algorithm proof of stake.

Difference in the network safety in proof of work and proof of stake. *Electronics and Information Technologies*, 9(10). <https://doi.org/10.30970/eli.9.106>

Verger Group. (2023, November 3). *How does import and export affect the global economy?* Verger Group. <https://www.verger-group.com/how-does-import-and-export-affect-the-global-economy/>

<https://www.verger-group.com/how-does-import-and-export-affect-the-global-economy/>

Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X., & Wang, F. (2019). Blockchain-Enabled smart Contracts: architecture, applications, and future trends. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Systems*, 49(11), 2266–2277.

<https://doi.org/10.1109/tsmc.2019.2895123>

World Bank Group. (n.d.). *Exports of goods and services (% of GDP)*. World Bank Open Data. Retrieved January 23, 2024, from

<https://data.worldbank.org/indicator/NE.EXP.GNFS.ZS>

- Xu, X., & He, Y. (2022). Blockchain application in modern logistics information sharing: a review and case study analysis. *Production Planning & Control*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2058997>
- Yaga, D. J., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). Blockchain technology overview. *ArXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.6028/nist.ir.8202>
- Yu, Y., Wang, X., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2016). E-commerce logistics in supply chain management: Practice perspective. *Procedia Cirp*, 52, 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.002>
- Zhai, S., Yang, Y., Li, J., Qiu, C., & Zhao, J. (2019). Research on the Application of Cryptography on the Blockchain. *Journal of Physics*, 1168, 032077–032077. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1168/3/032077>
- Rejolut Technology Solutions Pvt. Ltd. (2022, September 29). *Decentralizing Privacy: Protecting Personal Data with Blockchain*. Rejolut.com. <https://rejolut.com/blog/decentralizing-privacy-using-blockchain/>