Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Niklas Stenudd

Lohkoketjuteknologia tulliprosessien automatisoinnissa ja sen vaikutukset toimitusketjujen tehokkuuteen

Kandidaattitutkielma

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Tekniikan kandidaatti
Tuotantotalous

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö

Tekijä: Niklas Stenudd

Tutkielman nimi: Lohkoketjuteknologia tulliprosessien automatisoinnissa ja sen vaikutukset toimitusketjujen tehokkuuteen

Tutkinto: Tekniikan kandidaatti

Oppiaine: Tuotantotalous

Työn ohjaaja: Tauno Kekäle

Valmistumisvuosi: 2025 **Sivumäärä:** **48**

TIIVISTELMÄ:

Tämä tutkielma tarkastelee lohkoketjuteknologian käyttämistä tulliprosessin automatisoinnissa ja sen vaikutuksia toimitusketjujen tehokkuuteen Euroopan unionin tulliuudistuksen kontekstissa. Lähtökohtana on, että tulliprosessien monimutkaisuus heikentää prosessien sujuvuutta, läpinäkyvyyttä ja ennakoitavuutta kansainvälisissä toimitusketjuissa.

Tavoitteena on jäsentää tulliprosessien keskeisiä haasteita ja arvioida lohkoketjuteknologian sovelluksia näissä. Näiden perusteella arvioidaan vaikutuksia toimitusketjujen tehokkuuteen. Tutkimus toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena vuosilta 2015–2025. Aineisto koostuu vertaisarvioiduista tutkimuskirjallisuudesta sekä Euroopan unionin ja tulliviranomaisten julkaisuista. Aineisto käsittelee lohkoketjuteknologian soveltamista tulliprosesseissa ja Euroopan unionin tulliuudistusta, sekä tullausprosesseihin liittyviä ongelmakohtia.

Kirjallisuuden perusteella lohkoketjuteknologian keskeisiksi hyödyiksi tunnistetaan tulliprosessien läpinäkyvyyden, tiedon luotettavuuden parantuminen, automaation lisääntyminen sekä riskienhallinnan tehostuminen. Havaituilla hyödyillä on positiivinen vaikutus toimitusaikoihin. Samalla todetaan teknologian käyttöönottoon liittyvän laajasti erilaisia riskejä.

Johtopäätöksenä lohkoketjuteknologian hyödyntäminen tulliprosesseihin edellyttää yhtenäisiä digitaalisia rakenteita, selkeää vastuunjakoa ja vaiheittaista käyttöönottoa osana laajempaa tullijärjestelmän kehitystä. Euroopan unionin tulliuudistuksen todetaan luovan edellytyksiä teknologian laajamittaiselle soveltamiselle.

AVAINSANAT: Lohkoketjut, tulliviranomaiset, toimitusketjut, logistiikka, automaatio, EU-politiikka

Sisällys

1 Johdanto 5

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset 6
1.2 Menetelmät ja rakenne 7

2 Tulliprosessien merkitys osana toimitusketjua 9

2.1 Tulliprosessi osana toimitusketjua 9
2.2 Tulliprosessien rooli toimitusketjujen sujuvuudessa 11
2.3 Euroopan unionin tulliuudistus 13
2.4 Tulliprosessien haasteet ja kehittämistarpeet 15
2.4.1 Hiilirajamekanismi CBAM 15
2.4.2 Pakotteet 15
2.4.3 Tullietuudet ja CN-nimikkeet 16

3 Lohkoketjuteknologia ja sen soveltaminen tullitoiminnoissa 18

3.1 Lohkoketjuteknologian perusteet 18
3.2 Lohkoketjuteknologian sovellukset tulliprosesseissa 22
3.2.1 Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys 22
3.2.2 Dokumentaation automatisointi 23
3.2.3 Kansainvälinen yhteistyö 24
3.2.4 Riskienhallinta 24
3.3 Käyttöönoton haasteet 25

4 Toimitusketjujen tehokkuuden arvioiminen ja mittaaminen 28

4.1 Toimitusketjujen tehokkuus 28
4.2 Miten tehokkuutta mitataan tulliprosessien kautta? 29

5 Vaikutukset toimitusketjujen tehokkuuteen 31

5.1 Vaikutus prosessin läpinäkyvyyteen ja luotettavuuteen 31
5.2 Vaikutukset kustannuksiin ja toimitusaikoihin 32
5.3 Toimitusketjun sopeutumiskyky ja kestävyys 34
5.4 Prosessin automaatiota tukevat vaikutukset 35
5.5 Käyttöönoton riskit 36
5.6 Kokonaisvaikutus 38

6 Johtopäätökset 40

Lähteet 42

Liitteet 48

Liite 1. Tekoälyn käyttö tutkimuksessa 48

Kuvat

Kuva 1. Nykyinen tulliprosessi Europan Unionissa (Euroopan komissio, 2023a, s. 137) 10
Kuva 2. Euroopan unionin tulliuudistuksen aikataulu (Euroopan komissio, 2023b) 14
Kuva 3. Lohkoketjun rakenne (Subramanian ja muut, 2020, s. 23–24) 19
Kuva 4. Lohkoketjuteknologian käyttöönoton kehityskaari (Popoola ja muut, 2024) 26
Kuva 5. Lohkoketjuteknologian käyttöönoton haasteet (Chen ja Lloyd, 2025) 27
Kuva 6. Lohkoketjuteknologian kokonaisvaikutusketju toimitusketjuissa 39

Taulukot

Taulukko 1. Tullisääntelyn ja kauppamääräysten koettu esteellisyys yritysten toiminnalle tulotason mukaan Afrikan maissa (Drinkwater & Robinson, 2023) 12
Taulukko 2. Eri konsensumekanismien vertailu (Kim ja Kim, 2023) 20
Taulukko 3. Valitut KPI:t 30

Lyhenteet

UCC= Union Customs Code (Unionin tullikoodeksi)

UTK= Unionin tullikoodeksi

KPI= Key Performance Indicator

CBAM= Carbon Border Adjustment Mechanism

EU= Euroopan unioni

SDG = Yhdistyneiden kansakuntien kestävän kehityksen tavoitteet

DLT = Distributed Ledger Technology

TPS= Transaction Per Second (Transaktioita sekunnissa)

PoW=Proof of Work -konsensusmekanismi

PoA=Proof of Authority - konsensusmekanismi

PoS= Proof of Stake -konsensusmekanismi

DPoS=Delegate Proof of Stake- konsensusmekanismi

1 Johdanto

Globaalit toimitusketjut vaikuttavat miljardien ihmisten päivittäiseen elämään. Tuhannet laivat, lentokoneet ja junat liikuttavat päivittäin miljoonia tavaroita ja tuotteita eri maiden rajojen ylitse. Jokainen lähetys käy tulliprosessin läpi saapuessaan satamaan tai rajanylityspaikalle (Grainger, 2016). Tulliprosessit muodostavat siten merkittävän osan kansainvälisiä toimitusketjuja.

Yangin (2019) mukaan merikuljetus on kansainvälisen kaupan tärkein kuljetusmalli sen helppouden ja halpojen kustannusten vuoksi. Tulliprosessit voivat kuitenkin pitkittyessään heikentää toimitusketjujen tehokkuutta ja kasvattaa kustannuksia merkittävästi. Tulliprosessit ovat usein tehottomia, sillä logistiikkapalveluiden tarjoajat joutuvat luottamaan ainoastaan vientiyritysten ja huolitsijoiden toimittamiin dokumentteihin konttien sisältöjen varmistamiseksi (Wang ja muut, 2021).

Yksi nykyisten toimitusketjujen suurimmista ongelmista on se, että käytetyt tietokantajärjestelmät ovat monin tavoin puutteellisia, sillä tietojen siirto on tehotonta, läpinäkymätöntä, kallista ja altista huijauksille ja petoksille (Subramanian ja muut, 2020, s. 21). Käytetyt tietokantajärjestelmät vaikuttavat merkittävästi myös tullausprosessien toimivuuteen sillä niissä tarvitaan valtavia määriä tietoa muun muassa alkuperän todentamiseen.

Tämä tutkielma tarkastelee tulliprosessien tehokkuuden kehittämistä lohkoketjuteknologian avulla Euroopan unionin tulliuudistuksen kontekstissa. Tapscottin ja Tapscottin (2017) mukaan lohkoketjuteknologia on hajautettu tietoverkko, jossa osapuolet voivat tallentaa tietoja ilman perinteisiä välittäjiä hyödyntäen vertaisverkkoja (Peer-to-Peer Network) transaktioiden vahvistamiseen ja hyväksymiseen.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Vaikka lohkoketjuteknologian hyödyntämistä toimitusketjuissa on tutkittu viime vuosina suhteellisen paljon, sen vaikutusta suoraan tulliprosessien tehokkuuteen Euroopan unionin tasolla ei ole kuitenkaan merkittävästi tutkittu. Vuosina 2023–2041 toteutettava Euroopan unionin tulliuudistus tekee aiheesta ajankohtaisen ja mielenkiintoisen tutkimusaiheen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää miten lohkoketjuteknologian hyödyntäminen tullitoiminnassa tehostaa kansainvälisiä toimitusketjuja. Tutkimus keskittyy lohkoketjuteknologian tuomiin hyötyihin tulliprosessien näkökulmasta, joiden avulla pohditaan sen vaikutuksia kokonaisiin toimitusketjuihin.

Tutkimuksen tavoitteisiin pyritään pääsemään tutkimuskysymysten avulla. Tätä varten tutkimukseen on valikoitu yksi pääkysymys ja kolme alakysymystä. Tutkimuksen pääkysymyksellä pyritään vastaamaan tutkimusongelmaan tarkasti. Lisäksi sillä tarkennetaan tutkimusongelma koskemaan Euroopan unionin talousaluetta. Alatutkimuskysymykset on kehitetty siten, että niiden avulla voidaan vastata pääkysymykseen.

Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraavaan pääkysymykseen:

1. Miten lohkoketjuteknologian hyödyntäminen tulliprosesseissa Euroopan unionissa tehostaa kansainvälisiä toimitusketjuja?

Pääkysymykseen pyritään vastaamaan seuraavien alakysymysten avulla:

1. Mitkä ovat nykyisten tulliprosessien keskeiset haasteet ja kehittämistarpeet?
2. Millä tavoin lohkoketjuteknologia voi tuoda lisäarvoa tulliprosesseihin?
3. Miten toimitusketjujen tehokkuutta voidaan arvioida tulliprosessien näkökulmasta?

1.2 Menetelmät ja rakenne

Tämä tutkimus toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Aineistoksi on kerätty vertaisarvioituja artikkeleja ja aineistoja toimitusketjuista, lohkoketjuista sekä tullitoiminnasta vuosilta 2015–2025. Tämän lisäksi valittiin yksi vertaisarvioitu artikkeli vuodelta 2009 kertomaan toimitusketjujen resilienssin merkityksestä. Tutkielmaa varten on käytetty myös viranomaislähteitä, kuten Tullia ja Euroopan komissiota.

Tiedonkeruu suoritettiin käyttäen hyväksi Sciencedirect, Scopus, ABI Inform ja ProQuest -tietokantoja. Hakutermeinä käytettiin muun muassa termejä “Supply chain”, ”customs ”ja “International trade”. Näillä pyrittiin rajaamaan kaikki kryptovaluuttoja ja lohkoketjuteknologioita puhtaasti teknologisella tasolla koskevat lähteet pois.

Tärkeimmät lähteet analyysiin kerättiin Tritonian Finnan yleisellä haulla hakulausekkeella ”Customs AND Blockchain AND EU”. Tämän lisäksi kyseisessä haussa rajattiin lähteet vertaisarvioiduiksi ja kattamaan vuodet 2023–2025. Tiedonhankinnassa käytettiin apuna myös Google Scholaria sekä lähdeluettelojen läpikäyntiä. Lopuksi työtä täydentämään kerättiin tietoa Tullin ja Euroopan Unionin nettisivuilta liittyen nykyisiin tullimääräyksiin. Näiden perusteella valittiin 27 vertaisarvioitua artikkelia, 3 kirjaa ja muita akateemisia teoksia, sekä 9 viranomaislähdettä.

Tutkielman rakenne on suunniteltu siten, että se etenee tulliprosessien nykytilan tarkastelusta lohkoketjuteknologian mahdollisuuksiin ja lopulta näiden vaikutusten arviointiin toimitusketjujen tehokkuuden näkökulmasta.

*Tulliprosessien merkitys osana toimitusketju*ja -luvussa tarkastellaan yleisellä tasolla tulliprosessin roolia osana monikansallisia toimitusketjuja. Tämän lisäksi tässä luvussa tarkastellaan yleisellä tasolla, miten sujuvuus tulliprosesseissa vaikuttaa sujuvuuteen toimitusketjuissa. Viimeiseksi tarkastellaan tulliprosessien ongelmia ja kehityskohteita. Tutkielmassa keskitetään eurooppalaisiin tulliprosesseihin ja vastataan ensimmäiseen alakysymykseen.

Luvussa *Lohkoketjuteknologia ja sen soveltaminen tulliprosesseissa* käydään lohkoketjuteknologian perusteet läpi. Niiden avulla selitetään hyötyjä ja sovelluskohtia tulliprosessien automatisoinnissa lähestyen niitä tulliprosessien ongelmien kautta. Näiden lisäksi vastataan toiseen alakysymykseen.

Toimitusketjujen tehokkuuden arvioiminen ja mittaaminen -luvussa tarkastellaan kriittisesti, miten toimitusketjujen tehokkuutta voidaan arvioida ja pohditaan mallia, jolla voidaan arvioida tehokkuutta. Tämän lisäksi vastataan kolmanteen alakysymykseen.

Vaikutukset toimitusketjujen tehokkuuteen -luvussa arvioidaan lohkoketjuteknologialla tulliprosesseihin saatujen hyötyjen vaikutusta toimitusketjuihin. Vaikutuksia käydään läpi kriittisesti arvioiden huomioiden myös mahdolliset negatiiviset vaikutukset tehokkuuteen eri tasoilla. Luvun tavoitteena on myös etsiä vastaus tutkimuksen pääkysymykseen.

Lopuksi esitellään tutkimuksen johtopäätökset. Johtopäätöksissä arvioidaan, onko lohkoketjuteknologian hyödyntäminen perusteltua tulliprosesseissa, esitellään jatkotutkimusmahdollisuuksia ja arvioidaan tutkielman rajoitteita.

2 Tulliprosessien merkitys osana toimitusketjua

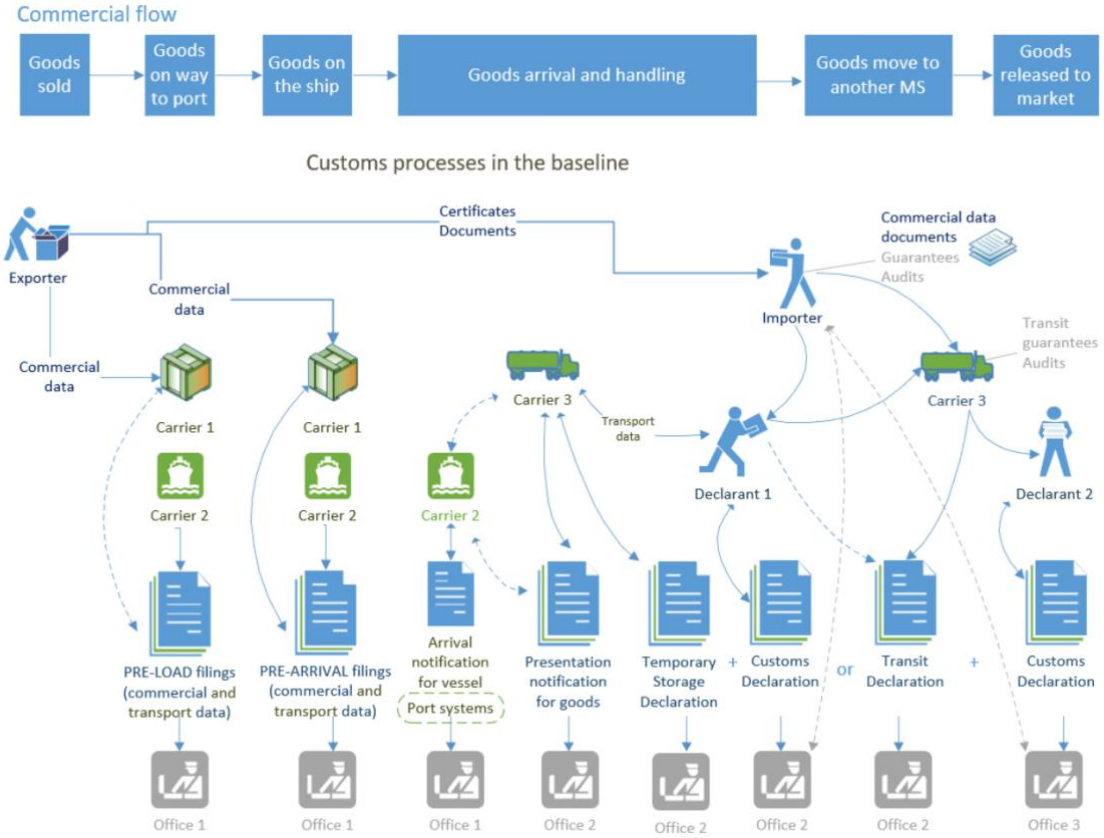
Toimitusketjut ovat monimutkaisia ekosysteemejä, joissa monet sidosryhmät ovat vuorovaikutuksessa eri tavoin (Idrissi ja muut, 2024). Tulliprosessit ovat olennainen osa toimitusketjuja, ja myös niille on tyypillistä monimutkaisuus ja useiden sidosryhmien vuorovaikutus.

Sitisara ja muut (2022) toteavatkin tulliprosesseihin osallistuvan useita eri tahoja jokaisessa vaiheessa. Tämä tekeekin tulliprosessista vaikeasti hallittavan kokonaisuuden osana toimitusketjuja, jossa erityisesti dokumenttien hallinta on usein monimutkaista ja virhealtista. Tulliprosessien kehittäminen onkin keskeinen osa toimitusketjuja ja niiden tehokkuutta ja toimivuutta.

2.1 Tulliprosessi osana toimitusketjua

Tulliprosessit ovat merkittävä osa monikansallisia toimitusketjuja. Unionin tullikoodeksin (UCC) mukaan tulliviranomaisten tehtävä on systemaattisesti valvoa kaikkea rajat ylittävää tavaraliikennettä ja heillä on oikeus puuttua toimitusketjuihin tarpeen mukaan (Euroopan komissio, 2023a, s. 139). Tulli pyrkii estämään laittomien lähetysten pääsyn yhteiskuntaan tekemällä fyysisiä tarkastuksia ja tiedonkeruuta ja onkin täten tärkeä taho toimitusketjujen turvaamisessa (Porakbar & Zuidwijk, 2018).

Tulliprosessien rooli kansainvälissä toimitusketjuissa on hyvin merkittävä ja se vaikuttaakin koko toimitusketjun ajan. Kuvassa 1 on esitetty tämä merkitys Euroopan komission näkökulmasta. Kuvan ylälaidassa on esitetty kaupallinen virta, joka lähtee siitä, että tuotteet ostetaan ja päättyy siihen, että tuotteet vapautetaan markkinoille. Kaupallisen virran alapuolella on kuvattu mitä tapahtuu samanaikaisesti tulliprosessien kannalta.



Kuva 1. Nykyinen tulliprosessi Euroopan Unionissa (Euroopan komissio, 2023a, s. 137)

Tulliprosessi on hyvin keskeisesti mukana koko toimitusketjun ajan ja siihen osallistuu useita huolitsijoita lähettäjän ja maahantuojan lisäksi. Tämän lisäksi prosessi pitää sisällään useita eri dokumentteja, jotka tulee toimittaa eri toimistoihin. Nämä asiat liitettynä kansainväliseen toimitusketjuun aiheuttaa tulliprosessi merkittäviä monimutkaisuuksia.

Tulliprosessien monimutkaisuus ei rajoitu yksittäisiin vaiheisiin vaan kokonaisuuteen, johon useat eri tahot osallistuvat liikutellen valtavaa määrää dokumentteja samanaikaisesti. Tämä saattaa johtaa virheisiin, joka puolestaan aiheuttaa viiveitä toimitusketjuissa. Tavarat voidaan luovuttaa vasta, kun ilmoitetut tiedot on todettu oikeiksi ja säännösten mukaisiksi (Sitisara ja muut, 2022). Tulliprosesseilla voikin olla merkittävä vaikutus toimitusketjujen viivästysten suhteen.

2.2 Tulliprosessien rooli toimitusketjujen sujuvuudessa

Tulliprosessit vaikuttavat merkittävästi toimitusketjujen sujuvuuteen ja täten myös tehokkuuteen. 2020-luvulla tulliketjujen sujuvuudessa korostuu erityisesti tullimenettelyjen nopeuden, ennakoitavuuden ja digitalisaation merkitys, joilla on suuri merkitys rajanylitysten sujuvoittamisessa sekä toimitusketjujen häiriöherkkyyden vähentämisessä. Tullihallinnolla on myös merkittävä rooli kestävän kehityksen tavoitteiden (SDG) saavuttamisessa (Kim & Kim, 2020). Tämä tarkoittaa sitä, että modernit tulliprosessit eivät ainoastaan sujuvoita kaupankäyntiä vaan myös tukevat useita Yhdistyneiden Kansakuntien kestävän kehityksen tavoitteita.

Tulliprosessien toimivuudessa on kuitenkin suuriakin eroja eri maanosien välillä. Drinkwaterin ja Robinsonin (2023) tutkivat missä määrin tulli- ja kauppamääräykset ovat esteenä kaupalle eri Afrikan maissa. Taulukossa 1 on esitetty tuloksia heidän tutkimuksestaan.

	Ei tiedä %	EI vaikutusta %	Ei este %	Pieni este %	Kohtalainen este %	Merkittävä este %	Erittäin vakava este %	N
Tuojat (Kaikki)	0,7	4,2	23,1	23,8	23,1	18,3	6,8	6990
Alemman tulotason maat	0,8	1,8	22,9	23,8	22,8	19,9	8	2744
Alemman keskiluokan maat	0,7	6,4	23,2	23,8	23,3	17,5	5,2	3703
Ylemmän keskiluokan maat	0,4	1,8	23,2	23,6	23,8	15,1	12,2	543
Viejät (kaikki)	0,7	1,2	24	24,7	23,7	18,9	6,8	4179
Alemman tulotason maat	0,8	1,4	24,3	23,5	21	20,8	8,2	1307

Alemman keskiluokan maat	0,8	1	20,9	26,7	26	19,1	5,5	2401
Ylemmän keskiluokan maat	0,4	1,7	38,6	17,8	19,1	12,1	10,2	471
Tuonnit ja viennit (Kaikki)	0,5	0,9	20	24	25,6	21,3	7,7	2326
Alemman tulotason maat	0,3	1	22,4	22,4	22,1	23,4	8,6	783
Alemman keskiluokan maat	0,7	0,8	17,7	25,7	28,1	21,4	5,7	1275
Ylemmän keskiluokan maat	0	0,8	24,3	20,9	24,3	14,9	14,9	268

Taulukko 1. Tullisääntelyn ja kauppamääräysten koettu esteellisyys yritysten toiminnalle tulotason mukaan Afrikan maissa (Drinkwater & Robinson, 2023)

Taulukon yritysten kokemukset esteistä riippuvat jonkin verran siitä harrastaako yritys tuontia, vientiä vai molempia. Drinkwater ja Robinson (2023) mukaan ne yritykset, jotka harjoittavat sekä tuontia että vientiä kokevat tullisääntelyn merkittävimmin esteeksi. Tämä näkyy merkittävästi taulukossa ylemmän keskiluokan maissa, joissa sekä vientiä että tuontia harjoittavista yrityksistä 14,9 prosenttia koki asian erittäin vakavaksi esteeksi.

Taulukon perusteella on selkeää, että tullisääntely ja kauppamääräykset aiheuttavat Afrikan maissa merkittävää esteellisyyttä sekä viennissä, että tuonnissa. Tullisääntelyiden ja kauppamääräysten ollessa hyvin vahva esimerkki tullitoiminnasta onkin Afrikan maiden tapauksessa tullitoiminnalla hyvin merkittävä rooli toimitusketjujen sujuvuuteen. Vaikka tutkimus koskee Afrikan maita se havainnollistaa miten tullisääntely voi muodostua merkittäväksi esteeksi yritysten toiminnalle myös muissa maanosissa.

Sitisara ja muut (2022) mukaan jokaisessa tulliprosessin vaiheessa käsitellään suurta määrää asiakirjoja, jotka ovat kotoisin monista eri lähteistä. Sama ilmeni myös Euroopan komission kuvasta 1. Taulukossa 1 on havaittavissa myös hyvin paljon eroja maiden tulotasojen mukaan. Maiden kokemaa esteellisyyttä voidaankin mahdollisesti arvioida myös Euroopan unionin tasolla jakamalla maat kyseisiin tulotasoihin.

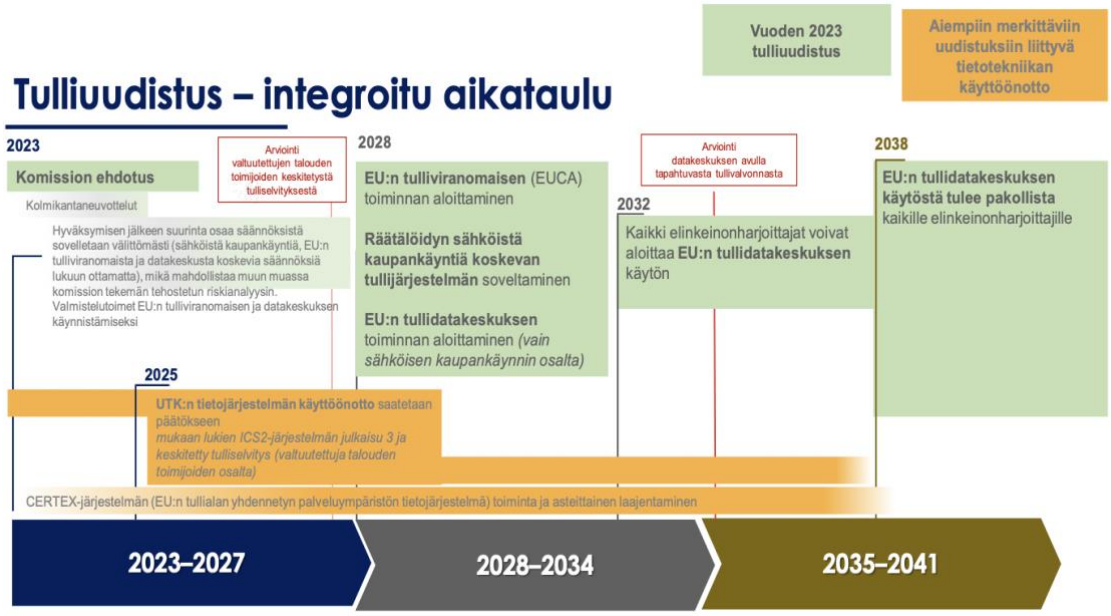
Tullisääntelyn esteet eivät rajoitu ainoastaan vain yksittäisiin vaiheisiin, vaan ne heijastuvat koko toimitusketjuun. Mitä monimutkaisempi toimitusketju on, sitä suuremmaksi virheiden todennäköisyys kasvaa. Tämä korostui sekä Taulukossa 1, että Euroopan komission esittämässä prosessikaaviossa. Ongelmia aiheuttaa myös se, että paperisia prosesseja käytetään edelleen laajasti kansainvälisessä kaupassa (Sitisara ja muut, 2022).

2.3 Euroopan unionin tulliuudistus

Euroopan unioni käynnisti vuonna 2023 laajan tulliuudistuksen, jonka tavoitteena on vähentää sääntöjen noudattamisesta aiheutuvia kustannuksia ja tukea Euroopan unionin ja sen jäsenvaltioiden etuja ja sisämarkkinoita (Euroopan komissio, 2023b). Uudistuksen tavoitteena on tuoda muun muassa taloudellisia etuja, kuten myös tehokkuuden kautta syntyviä etuja. Uudistuksessa luodaan muun muassa Euroopan unionin uusi tullidatakeskus, joka tuottaa myös valtavia säästöjä jäsenvaltioille (Euroopan komissio, 2023b).

Euroopan komission (2023b) suunnitelmien mukaan tulliuudistus on jaettu kolmeen vaiheiseen. Nämä vaiheet on esitelty kuvassa 2. Ensimmäinen vaihe tapahtuu vuosina 2023–2027, jolloin merkittävänä tekijänä vuonna 2025 luodun unionin tullikoodeksin tietojärjestelmän käyttöönotto saatetaan loppuun. Tämä tarkoittaa käytännössä vuoden 2013 tulliuudistuksen loppuun viemistä, jonka ansiosta tietojärjestelmien pitäisi olla täysin digitalisoituja vuoden 2025 loppuun mennessä (Euroopan komissio, 2023b).

Vaihe 2 toteutetaan vuosina 2023–2034. Sen tärkeimmät kohdat ovat Euroopan unionin tulliviranomaisen (EUCA) toiminnan aloittaminen sekä Euroopan unionin tullidatakeskuksen toiminnan aloittaminen. Näiden on tarkoitus tuoda tietotaitoa sekä dataa yhteen paikkaan ja säästää kustannuksia jäsenvaltioilta.



Kuva 2. Euroopan unionin tulliuudistuksen aikataulu (Euroopan komissio, 2023b)

Uudistuksen viimeinen vaihe sijoittuu vuosille 2035-2041, jolloin tullidatakeskuksen käytöstä tehdään kaikille pakollista. Vuonna 2035 tehdään myös perusteellinen uudelleentarkastus, jossa arvioidaan kehittämisen tarvetta(Euroopan komissio, 2023b).

Kokonaisuudessaan tulliuudistus lisää digitalisaatiota Euroopan unionin tullitoiminnassa. Tämän lisäksi se yksinkertaistaa prosseja, sillä datakeskuksen ansiosta toimijat pääsevät operoimaan vain yhden keskitetyn tullihallinnon kanssa (Euroopan komissio, 2023b).

Digitaaliset ja yhtenäiset prosessit luovat edellytykset lohkoketjuteknologian laajamittaiselle käytölle Euroopan unionin tullijärjestelmässä. Yhtenäisen tullihallinnon avulla on mahdollista integroida lohkoketjuteknologia kattamaan koko Euroopan unionin talousaluetta.

2.4 Tulliprosessien haasteet ja kehittämistarpeet

Tulliprosessien monimutkaisuus aiheuttaa haasteita, jotka saattavat johtaa suuriinkin viiveisiin tavaroiden toimituksessa. Haasteena on muun muassa se, että prosesseihin osallistuu useita eri huolitsijoita. Tämän lisäksi muun muassa dokumentaation varmentaminen on vaikeaa. Tulliprosesseilla on myös merkittävä rooli kriisitilanteiden hallinnassa, ja niillä voidaan helpottaa tai vaikeuttaa tavaroiden liikkumista (Euroopan komissio, 2023a, s.6). Tällaisia toimia ovat esimerkiksi pakotteet tai lisätullit. Nämä keinot tuovat lisähaasteita tulliprosesseihin sillä niiden valvomista varten dokumentaatioon tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota.

Tarkasteluhetkellä pakotteet ja lisätullit näkyvät esimerkiksi Euroopan Unionin asettamassa tuontikielloissa Venäläiselle nesteytetylle maakaasulle (Tulli, 2025).

2.4.1 Hiilirajamekanismi CBAM

CBAM on Euroopan unionin ilmastopoliittinen väline, jolla varmistetaan, että EU:n ulkopuolelta tuodut tuotteet kohtaavat saman hiilen hinnan kuin EU:ssa tuotetut vastaavat tuotteet (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2023). Tulli (n.d.-a) mukaan EU:n ulkopuolelta tulevista tuotteista CBAM-tuotteita ovat sähkö, rautamalmi sekä tietyt rauta- ja terästavarat sekä lannoitteet, alumiinitavarat, sementtitavarat ja kemikaalit. CBAM-tuotteiden valvominen vaatii tarkkaa dokumentaatiota, jossa on ilmettävä muun muassa mistä tuotteet ovat kotoisin ja mitä materiaalia ne ovat.

2.4.2 Pakotteet

Euroopan komission (2023a) mukaan Venäjä -pakotteet osoittavat tullin keskeistä roolia unionin turvallisuuden varmistamisessa. Pakotteiden valvonta edellyttää kykyä tunnistaa ja estää kiellettyjen tavaroiden liikkuminen. Tämä voi olla hyvin vaikeaa sillä pakotteet vaihtelevat ja tavaroita liikkuu valtavasti päivittäin. Tullin (n.d.-b) mukaan Venäjään on kohdistettu yhdeksäntoista eri pakotepakettia. Tämä itsessään tekee

pakotteiden valvomisesta haastavaa sillä suuri määrä pakotteita tarkoittaa niiden vaihtuvan todella usein

Euroopan komission (2023a) mukaan unionin tullitoiminta on yhtä vahvaa kuin sen heikon lenkki. EU-maiden välillä on suuria eroja resurssien suhteen, joten pakotteiden kiertäminen on tätä kautta mahdollista. Nykyisellään datan laatu on suhteellisen heikkoa, joka myös omalta osaltaan vaikeuttaa pakotteiden valvontaa (Euroopan komissio, 2023a). Tämä johtaa siihen, että pakotteiden kiertäminen on mahdollista myös siksi, ettei tulliviranomaisilla usein ole käytössä tarpeeksi tarkkaa dataa tuotteiden alkuperän varmistamiseksi. Tämä korostaa tarvetta yhtenäiselle dataympäristölle ja uusille teknologisille ratkaisuille.

2.4.3 Tullietuudet ja CN-nimikkeet

Tullin (n.d.-c) mukaan tullietuudella tarkoitetaan Euroopan unionin ulkopuolelta tulevasta tavarasta saatavaa tullialennusta, joka perustuu Euroopan unionin sopimuksiin. Etuuksia ei myönnetä automaattisesti vaan ne vaativat oikeita menettelyjä ja dokumentaatiota.

Euroopan komission (2025, s. 1) mukaan yhdistetty nimikkeistö (CN) muodostaa perustan yhteisille tullimaksuille, ulkomaankaupan tilastoinnille sekä kaikelle unionin tuonti- ja vientipolitiikalle. Nimikkeistön avulla määritellään tullitariffit eri tuotteille ja esimerkiksi tullietuuksia varten on käytettävä oikeita nimikkeitä. Tullin (n.d.-d) mukaan nimikkeistöön tulee muutoksia vuosittain, joka vaatii tarkkuutta nimikkeiden käsittelyssä. Tullietuuksien määrittämiseen käytetään myös tavaran alkuperää (Tulli, n.d.-c). Tavaroiden alkuperän selvittäminen on lisäksi pakollista kaikissa tullauksissa. Tämä voi kuitenkin olla haastavaa epätarkan dokumentaation vuoksi, tai jos tuotetta on valmistettu esimerkiksi monessa eri maassa.

Etuuskohteluiden myöntäminen on käytännössä haastavaa heikon tai hajanaisen dokumentaation vuoksi. Tämän vuoksi tulliprosessien kehittämistä tarvitaan, jotta

saadaan entistä luotettavampia ja läpinäkyvämpiä dokumentointikeinoja. Lohkoketjuteknologia voi tarjota mahdollisuuden tuotantoketjuun ja alkuperään liittyvien tietojen tallentamiseen, joka auttaisi alkuperän jäljittämisessä, kuten myös oikean CN-koodin määrittelemistä. Tämä vuorostaan voisi helpottaa esimerkiksi etuuskohteluiden myöntämistä.

3 Lohkoketjuteknologia ja sen soveltaminen tullitoiminnoissa

Lohkoketjuteknologia voi parantaa tulliprosessien tehokkuutta ja lisätä toimitusketjun läpinäkyvyyttä. Sen tietorakenne tukee erityisesti monitoimijaisia prosesseja, joissa osapuolet tarvitsevat yhteistä luottamuspohjaa ja dataa. (Wang ja muut, 2021; Irannezhad, 2020). Tulliprosesseissa useat yritykset ja viranomaiset toimivat yhdessä luottaen toistensa tarjoamiin tietoihin. Lohkoketjuteknologia tarjoaa tässä mielessä hyvin mielenkiintoisen mahdollisuuden kehittää kyseisiä prosesseja. Yleinen näkökulma onkin, että lohkoketjut voivat tehdä jäljittävyydelle ja läpinäkyvyydelle samaa mitä internet teki kommunikaatiolle (Subramanian ja muut, 2020). Kyseessä onkin teknologia, jolla on suuret mahdollisuudet tehostaa asiaa laajalla mittakaavalla.

3.1 Lohkoketjuteknologian perusteet

Lohkoketjuteknologia eli hajautettu kirjanpitoteknologia (DLT) on hajautettu tietojärjestelmä, jonka ideana on tarjota läpinäkyvä, muuttumaton ja turvallinen tapa jakaa tietoa useiden osapuolten välillä (Subramanian ja muut, 2020, s. 21). Teknologia perustuu siihen, että digitaaliset tapahtumat tallennetaan lohkoihin ja suojataan kryptografisesti ja liitetään toisiinsa muodostaen ketjun (Subramanian ja muut 2020, s.21). Subramanian ja muut (2020) mukaan lohkon eheys ei nojaa keskitettyyn järjestelmään eikä viranomaiseen vaan sen varmistaa hajautettu konsensus, jossa verkon solmut yhdessä validoivat uudet tapahtumat. Tämä tekeekin rakenteesta erittäin luotettavan.

Kuvassa 2 on havainnollistettu lohkoketjun perusrakenne. Jokainen lohko sisältää transaktiodataa, aikaleiman sekä viittauksen edelliseen lohkoon, minkä vuoksi lohkoketjun rakennetta ei voi muuttaa jälkikäteen ilman, että koko ketju rikkoutuu, mikä tekee siitä muuttumattoman (Subramanian ja muut, 2020, s. 23–24). Tämä mekanismi estää ketjuun tehtävät luvattomat muutokset.

Kuva 3. Lohkoketjun rakenne (Subramanian ja muut, 2020, s. 23–24)

Lohkoketju koostuu alkulohkosta, johon liitetään peräkkäin rajaton määrä uusia lohkoja. Lohkot yhdistetään toisiinsa niin sanottujen hash-funktioiden avulla, joissa alkuperäinen data muunnetaan kiinteän mittaiseksi merkkijonoksi (Okazaki, 2018). Hash-funktioiden keskeinen ominaisuus on, että pienikin muutos alkuperäisessä datassa tuottaa täysin erilaisen hash-arvon, eikä hash-arvosta voida johtaa alkuperäistä dataa Subramanian ja muut, 2020, s. 23–24). Näiden ominaisuuksien ansiosta ketjuun tehdyt luvattomat muutokset paljastuvat nopeasti, mikä tekee lohkoketjusta turvallisen ja muuttumattoman.

Lohkoketjuun lisättävä data vahvistetaan konsensusmekanismien avulla (Belu, 2020). Konsensusmekanismit ovat menetelmiä, joiden avulla verkon osallistujat pääsevät yhteisymmärrykseen siitä, mitkä tapahtumat hyväksytään osaksi lohkoketjua. Lohkoketjuissa on käytössä useita erilaisia konsensusmekanismeja, jotka toimivat teknisesti eri tavoin. Taulukkoon 2 on listattu neljä erilaista konsensusmekanismia, joita vertailtiin Kim ja Kim tutkimuksessa vuonna 2023.

Kategoria	PoW	PoA	PoS	DPoS
Viive/Vastausaika	10 min	5 min	1 min	3 s
TPS	≥7	≥14	≥300	≥500
Laskentateho	Korkea	Matala	Keskitaso	Keskitaso
Skaalautuvuus	Heikko	Keskitaso	Hyvä	Keskitaso
Hajautuneisuusaste	Korkea	Matala	Keskitaso	Keskitaso
Laiteriippuvuus	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Turvallisuus	Heikko	Keskitaso	Keskitaso	Keskitaso

Konsensumetodi	Laskentatehoon perustuva	Aktiivisuuteen perustuva	Panokseen perustuva	Panosäänestyksiin perustuva
Soveltuvuus	X	△	O	△

Taulukko 2. Eri konsensumekanismien vertailu (Kim ja Kim, 2023)

Taulukon perusteella eri mekanismit tarjoavat erilaisia ominaisuuksia suorituskyvyn, laskentatehon, skaalautuvuuden, turvallisuuden ja laiteriippuvuuden näkökulmasta. Kim ja Kimin (2023) mukaan Proof-of-Work (PoW) perustuu laskentatehoon, siinä verkon louhijat kilpailevat laskentatehollaan siitä, kuka saa validoida seuraavan lohkon ja lisätä sen lohkoketjuun. Tätä mekanismia käytetään Bitcoinissa, jonka turvallisuus perustuu siihen, että väärinkäytön tekeminen edellyttäisi valtavan määrän laskentatehoa. Täten PoW-mekanismi käyttää runsaasti energiaa. Taulukon mukaankin se on luokiteltu ei soveltuvaksi.

Vastaavasti Proof-of-Authority (PoA) perustuu siihen, että validoinnista vastaavat ennalta valitut ja tunnistetut toimijat, jotka voivat hyväksyä uusia tapahtuma lohkoketjuun (Kim ja Kim, 2023). PoA ei vaadi korkeaa laskentatehoa, sillä sen validointi perustuu yksittäisten henkilöiden, kuten viranomaisten varaan. Täten se toimiikin hyvin verkoissa, joissa validoivat toimijat voidaan valita etukäteen. Sen skaalautuvuus ja vähäinen riippuvuus laitteistosta ovat sen etuja, samalla sen hajautuneisuus on huomattavasti pienempi verrattuna avoimiin lohkoketjuihin. Se voi siten olla käyttökelpoinen esimerkiksi viranomaisprosessissa mutta ongelmia voi olla tilanteet, joissa useiden riippumattomien viranomaisten tulee validoida.

Proof-of-Stake (PoS) perustuu siihen, että lohkoketjun validointiin osallistuvat solmut valitaan panosten perusteella (Kim ja Kim, 2023). Mitä enemmän solmut ovat panostaneet eli lukinneet verkon omaisuutta, sitä todennäköisemmin ne pääsevät tuottamaan seuraavan lohkon. Verkko ei vaadi suurta määrää laskentatehoa, sillä väärinkäytökset voivat johtaa asetettujen panosten menettämiseen. PoS on

huomattavasti nopeampi ja skaalautuvampi verrattuna PoA ja PoW -verkkoihin. Kim ja Kim (2023) valitsivat sen vertailussa parhaaksi vaihtoehdoksi heidän järjestelmäänsä.

Delegoitu Proof-of-Stake (DPoS) on PoS-mekanismin muunnella, jossa verkon osallistujat eivät itse validoi lohkoja, vaan äänestävät validoivat osallistujat (Kim ja Kim, 2023). Sen etuina on erittäin korkea suorituskyky, mutta riskinä taas, että valta keskittyy tietyille edustajille. Täten se ei olekaan sopivat oikein sopiva viranomais- ja tullisovelluksiin.

Käytännössä näiden verkkojen konsensus muodostuu verkkojen solmujen eli palvelimien ja tietolaitteiden välisen yhteistyön kautta. Nämä solmut voivat sijaita tulliprosesseissa esimerkiksi huolitsijoilla tai tulliviranomaisilla. Jokainen ylläpitää omaa kopiotaan ketjusta, jolloin ketju perustuu siis internettiin. Uutta tietoa lisättäessä ketjuun solmut tarkastavat sen oikeudellisuuden. Esimerkiksi PoA-konsensusmekanismin ollessa käytössä valikoidut tahot varmistavat lisättävän tiedon oikeuden. Vasta kun solmut ovat tarkastaneet tiedot ja päätyneet yhtenevään näkemykseen sen oikeudellisuuden, tieto tallennetaan osaksi lohkoketjua (Kim ja Kim, 2023). Tällöin tieto varmennetaan aina ennen sen lisäämistä ja rakenteen avulla se on näkyvissä koko verkolle.

Ketjut voidaan jakaa myös sen mukaan ovatko ne avoimia vai suljettuja. Avoimissa verkoissa kuka tahansa voi osallistua sen toimintaan, jolloin ongelmaksi voi koitua esimerkiksi luottamuksellisen tiedon käsittely tai verkon hallinta (Okazaki, 2018). Vastaavasti suljetuissa, luvanvaraisissa lohkoketjuissa tietyt ylläpitäjät määrittelevät osallistujien vastuut, roolit, käyttöoikeustasot ja oikeudet validoida transaktioita (Okazaki, 2018). Tulliprosesseissa suljettu verkko on välttämätön, sillä lähetysten tiedot ovat lähes aina salassa pidettäviä.

Oikean menetelmän valita ei ole pelkästään tekninen valinta sen määrittäessä lohkoketjujärjestelmän vastuunjaon, hallintamallin ja tietosuojan tason. Tulliprosessien

vaatiessa suljettua verkkoa PoA-konsensusmenetelmä on taulukon perusteella Euroopan unionin tulliuudistuksen näkökulmasta kaikkein käytännöllisin. Vaikka PoS olisi teknisesti tehokkaampi, sen avoin malli tekee siitä säädeltyihin tulliprosesseihin huonommin sopivan.

Lohkoketjuteknologian keskeisiin sovelluksiin kuuluu älykkäiden sopimusten (Smart Contracts) käyttö. Älykkäät sopimukset ovat automaattisia ja itsestään suoritettavia sopimusohjelmia, jotka käynnistävät automaattisesti toimenpiteitä tai maksuja, kun tietyt ehdot täyttyvät (Irannezhad, 2020). Niiden ollessa osa muuttamatonta lohkoketjua ne mahdollistavat luotettavan ja automatisoidun päätöksenteon ilman manuaalista puuttumista.

Näiden ominaisuuksien ansiosta lohkoketjuteknologia tarjoaa tulliprosesseille alustan turvalliselle, läpinäkyvälle ja automatisoidulle tiedonvaihdolle ympäristössä, jossa on monia toimijoita. Teknologialla onkin hyvin laajasti erilaisia sovelluskohteita tulliprosesseissa.

3.2 Lohkoketjuteknologian sovellukset tulliprosesseissa

Lohkoketjuteknologialla on useita potentiaalisia sovelluskohteita tulliprosesseissa sillä sen keskeiset ominaisuudet vastaavat moniin tulliprosessien nykyisiin haasteihin. Belun (2020) mukaan eri sovellukset nopeuttavat tulliselvityksiä, parantavat riskienhallintaa ja mahdollistavat tavaroiden reaaliaikaisen seurannan, sekä parantavat alkuperä- ja sisältötietojen luotettavuutta. Tässä luvussa tarkastellaan erilaisia lohkoketjuteknologian sovelluksia ja niiden käyttökohteita tulliprosesseissa.

3.2.1 Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys

Läpinäkyvyys ja jäljitettävyys ovat keskeisiä tekijöitä tulliprosessien luotettavuuden ja tehokkuuden varmistamisessa. Irannezhadin (2020) mukaan perinteisissä toimitusketjuissa transaktiot kärsivät usein epäjohdonmukaisuuksista ja ristiriidoista,

jotka johtuvat suuresta paperimäärästä, useista sidosryhmistä ja inhimillisistä virheistä niiden kulkiessa useiden eri järjestelmien läpi. Kyseiset tekijät vaikeuttavat myös toimitusketjujen läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä.

Irannezhadin (2020) mukaan lohkoketjuteknologia voi auttaa lisäämään toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja tehokkuutta. Lohkoketjujen tietorakenne eroaa jo olemassa olevista rakenteista salaustekniikkansa vuoksi, joka takaa sisällön muuttumattomuuden peruuttamattomuuden. Tämä tietorakenne tekee siitä erityisen soveltuvan prosesseihin, joissa tarvitaan läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä. Lohkoketjuissa tapahtumat tallentuvat yhteiseen aikajärjestyksessä etenevään peruuttamattomaan tietokantaan, jota toimitusketjujen osapuolet voivat tarkastella samanaikaisesti (Irannezhad, 2020; Subramanian ja muut, 2020).

Lohkoketjun tuoma etu läpinäkyvyydessä ja jäljitettävyydessä tuo lisäarvoa erityisesti. tavaroiden alkuperätietojen varmistamiseen. Toimitusketjun tapahtumat tallentuvat muuttumattomaan jaettuun tietokantaan, jonka avulla alkuperään ja materiaaliin liittyvät tiedot voidaan jäljittää läpinäkyvästi.

3.2.2 Dokumentaation automatisointi

Tulliprosessit sisältävät suuren määrän asiakirjoja, kuten alkuperätodistuksia, laskuja ja tullaus- ja luovutuspäätöksiä. Näiden käsittely on sekä hidasta, että virhealtista (Belu, 2020). Virheet johtavat viiveisiin, mutta myös mahdollisiin lisäkustannuksiin mikäli niitä ilmenee auditoinneissa.

Lohkoketjuteknologiaan perustavissa ratkaisussa dokumenttien tarkastusta ja hyväksyntää voidaan automatisoida älykkäiden sopimusten avulla. Liaqatin ja muiden (2024) esittelemässä SmartOil-järjestelmässä lohkoketjuun tallennetun datan verifiointi tehtiin älykkäiden sopimusten avulla. Nämä älykkäät sopimukset suorittivat datan tarkistukset automaattisesti ilman manuaalista puuttumista, joka vähensi dokumentaatiovirheitä ja nopeutti tulliselvityksiä.

Älykkäitä sopimuksia voidaan käyttää myös esimerkiksi tullimaksujen automaattiseen maksamiseen (Wang ja muut, 2019). Tällöin maksu suoritetaan automattisesti älykkään sopimuksen ehtojen mukaisesti esimerkiksi silloin, kun tullaus- ja luovutuspäätökset on saatu. Tämän seurauksena lohkoketjuteknologian sovelluksilla voidaan merkittävästi vähentää dokumentaatiosta johtuvia riskejä ja nopeuttaa prosesseja.

3.2.3 Kansainvälinen yhteistyö

Tulliprosessit eivät rajoitu vain yksittäiseen valtioon, vaan ne muodostavat laajan yhteistyöverkon, jossa tieto kulkee yli rajojen huolitsijoiden, yritysten ja viranomaisten välillä. Nykyisellään tieto on hajautunut eri tahoihin ja järjestelmiin, minkä vuoksi kattavan kokonaiskuvan muodostaminen lähetyksistä on vaikeaa ja samankaltaisia tietoja joudutaan toimittamaan useita kertoja eri viranomaisille (Euroopan komissio, 2023a, s.141). Yksi EU:n tulliuudistuksen päätavoitteista on yhteisen tullidatakeskuksen perustaminen, jonka tarkoituksena on kerätä tieto yhteen järjestelmään (Euroopan komissio, 2023b).

Lohkoketjuteknologialla olisi valtavasti käyttömahdollisuuksia tullidatakeskuksessa, sillä se tarjoaa mekanismin, jolla yhteinen data voidaan jakaa ja validoida hajautetusti mutta tehokkaasti. Okazaki (2018) esittämän näkemyksen mukaan lohkoketjuteknologian avulla tulliviranomaisten rooli voi muuttua kohti dataohjautuvaa rajanviranomaista, jolla on aiempaa kattavampi näkyvyys kansainvälisiin tavaravirtoihin. Näkemys on linjassa EU:n tulliuudistuksen kanssa, jolla pyritään luomaan tilanne, jossa tulliviranomaisilla on entistä kattavampi kuva, jota voidaan hyödyntää moniin asioihin koko unionin tasolla (Euroopan komissio, 2023b). Näin ollen lohkoketjuteknologia tukee vahvasti EU:n tavoitteita niin intentionaalisena mahdollistajana, kuin teknisellä tasolla.

3.2.4 Riskienhallinta

Euroopan komission (2023a, s.141) mukaan EU:n tullien riskienhallintaa heikentää tällä hetkellä datan hajanaisuus ja epätasaiset resurssit. Tämä johtaa siihen, ettei riskejä kyetä havaitsemaan tehokkaasti ennen tavaroiden saapumista. Kim ja Kimin (2020)

mukaan monet tullihallinnon nykyisin käyttämistä tietojärjestelmistä eivät kykene tukemaan vielä kehittynyttä riskianalyysiä. Analyysin perusteella kontteja luokitellaan, joiden perustella osa joutuu menemään fyysisen tarkistuksen läpi (Porakbar ja Zuidwijk, 2018). Datan heikon laadun vuoksi monet kortit jäävät tarkistamatta.

Lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä tulliviranomaiset voisivat muodostaa reaaliaikaisen ja yhdenmukaisen tietopohjan, jonka perusteella riskiarviointia voitaisiin tehdä aikaisemmin. Irannezhad (2020) toteaa, että lohkoketjuteknologia mahdollistaa datan jatkuvan päivittymisen ja transaktioiden aikaleimatun tallentumisen. Tämä auttaa riskianalyysin aikaisemmassa tekemisessä.

Myös esimerkiksi älykkäät sopimukset voivat olla avuksi riskianalyysien tekemisessä. Esimerkiksi yritysten riskiluokituksia voidaan automaattisesti päivittää älykkäiden sopimusten avulla. Jonka avulla voitaisiin myös korkean riskin yritysten lähetyksen ohjata automaattisesti fyysiseen tarkastukseen.

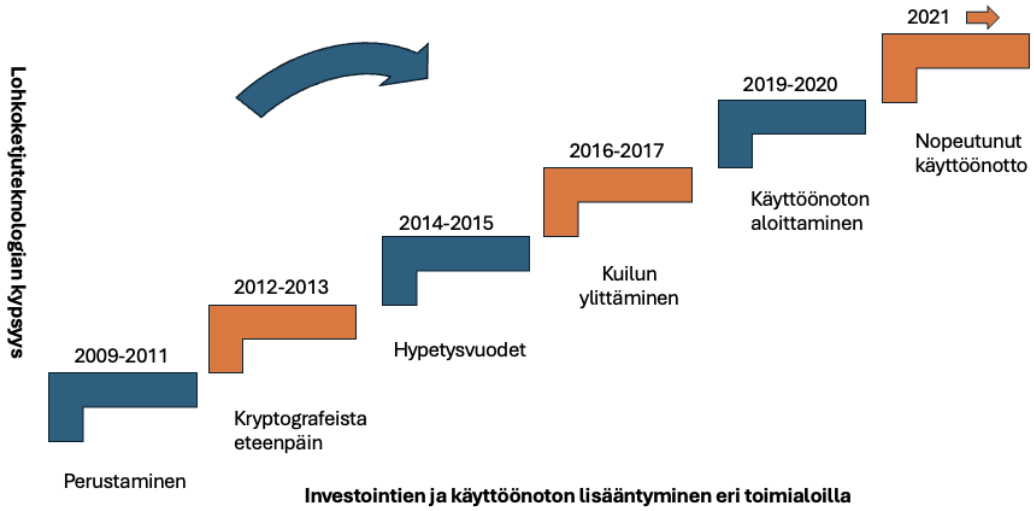
Lohkoketjuteknologian soveltamista tulliprosesseihin tukee erityisesti Proof-Of-Authority (PoA) -tyyppinen konsensusmalli, jossa tapahtumien validoinnista vastaavat ennalta tunnistetut ja valtuutetut viranomaiset. Luvanvaraiset lohkoketjuverkot hyödyntävät yleensä identiteetinhallintaa ja roolipohjaista validointia, joiden avulla voidaan määritellä ketkä saavat toimia verkon validoijina (Popoola ja muut, 2024). PoA-pohjainen lohkoketjuverkko vahvistaakin tullien riskienhallintaa parantamalla datan eheyttä, saatavuutta ja läpinäkyvyyttä.

3.3 Käyttöönoton haasteet

Vaikka lohkoketjuteknologialla on huomattava potentiaali tulliprosessien tehostamiseen, sen käyttöönotto ei ole ongelmatonta. Lohkoketjuteknologioiden hyödyntäminen vaatii sekä teknologisia että organisaatiollisia muutoksia, joita ei voida toteuttaa pelkästään järjestelmiä uusimalla (Irannezhad, 2020). Käyttöönottoon liittyvät

haasteet ovatkin usein syvälle organisaatioon juurtuneita rakenteellisia ongelmia, jotka heijastavat koko toimitusketjun toimintaan.

Teknologiset haasteet muodostavat merkittävän osan lohkoketjuteknologian käyttöönottoon liittyvistä haasteista. Yksi keskeinen syy tähän on se, että kyseinen teknologia on edelleen suhteellisen uutta. Popoola ja muut (2024) mukaan lohkoketjuteknologiaa on alettu ottamaan laajemmin käyttöön vasta vuodesta 2021 lähtien. Tämä vaikuttaa siihen, ettei osaavaa työvoimaa on toistaiseksi rajallisesti saatavilla, ja lisäksi uudet ratkaisut ovat usein myös kustannuksiltaan kalliita ottaa käyttöön. Kuvassa 4 on esitetty lohkoketjun käyttöönoton kehityskaari.



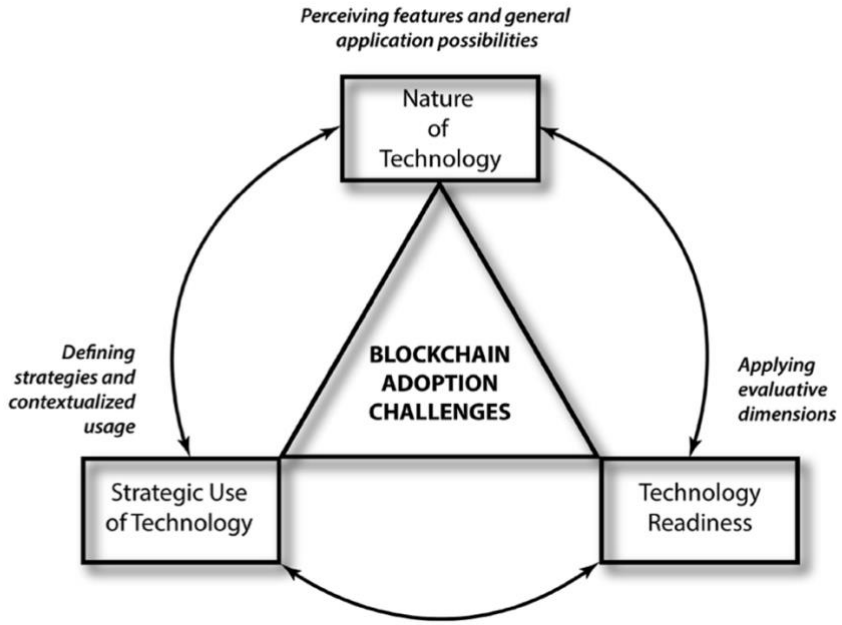
Kuva 4. Lohkoketjuteknologian käyttöönoton kehityskaari (Popoola ja muut, 2024)

Kuvan 4 mukaan lohkoketjuteknologia on perustettu vasta vuosina 2009–2011. Ensimmäinen kyseistä teknologiaa hyödyntävä sovellus oli Bitcoin. Tämän jälkeen kehitys on ollut suhteellisen nopeaa ja sen suosio on kasvanut. Lohkoketjuteknologia on vuosien saatossa muovautunut myös logistiikan käyttöön. Tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia, sillä teknologiaa ei ole alun perin suunniteltu käytettäväksi logistiikan sovelluksiin.

Teknologian uutuuden lisäksi käyttöönottoa vaikeuttavat erityisesti datan laatuun, turvallisuuteen ja omistajuuteen liittyvät kysymykset. Chen ja Lloyd (2025) mukaan se,

että lohkoketjut tarjoavat merkittäviä etuja ketjujen muuttumattomuuden ja jäljitettävyyden kannalta, ne eivät kuitenkaan ratkaise ongelmaa, jossa alkuperäinen data on heikkolaatuista.

Chen ja Lloydin (2025) esittelemä malli (Kuva 5) jäsentää lohkoketjuteknologian käyttöönottoon liittyvät haasteet kolmeen keskeiseen ulottuvuuteen. Mallissa haasteet teknologian luonteeseen, teknologiseen valmiuteen sekä teknologian strategiseen hyödyntämiseen.



Kuva 5. Lohkoketjuteknologian käyttöönoton haasteet (Chen ja Lloyd, 2025)

Kuvan 5 malli havainnollistaa miksi lohkoketjuteknologian käyttöönotto on luonteeltaan kokonaisvaltainen muutosprosessi. Teknologian luonteella viitataan lohkoketjun sisäisiin ominaisuuksia, kuten konsensusmekanismeihin. Nämä ominaisuudet vaativat uusia teknologisia ratkaisuja, jotta lohkoketjut saadaan liitettyä osaksi olemassa olevia järjestelmiä. Teknologinen valmius taas korostaa organisaation valmiutta omaksua uusi teknologia. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi, että yrityksen infrastruktuuri ja osaaminen ovat riittävällä tasolla. Vastaavasti teknologian strategisella käytöllä tarkoitetaan, että ratkaisut tulisi ottaa osaksi laajempaa strategiaa. Tämä tarkoittaa, että organisaatiolla tulee olla strategia, data järjestelmät ja henkilöstöosaaminen omaksua uusi järjestelmä. Käyttöönotto onkin haastavaa ja voikin täten olla hyvin kallista.

4 Toimitusketjujen tehokkuuden arvioiminen ja mittaaminen

Toimitusketjujen tehokkuus on keskeinen kilpailutekijä kansainvälisessä kaupassa. Nikfarjam ja muut (2015) korostavat toimitusketjujen hallinnan vaikuttavan merkittävästi yritysten menestykseen. Tehokkaiden prosessien merkitys korostuu valtion rajoja ylittävissä toimitusketjuissa, joissa tulliprosessit muodostavat kriittisen vaiheen. Tämän luvun tavoitteena on luoda teoreettinen viitekehitys sille, miten toimitusketjujen tehokkuutta mitataan tulliprosessien näkökulmasta.

4.1 Toimitusketjujen tehokkuus

Tehokkuudella tarkoitetaan yleisesti kykyä tuottaa enemmän arvoa vähemmillä resursseilla. Freichel ja muut (2022) korostavat, että nykypäivän toimitusketjut ovat monimutkaisia ja toimivat ympäristössä, jota leimaavat epävarmuudet ja riskit. Tämä tarkoittaa, että toimitusketjujen tehokkuus ei rajoitu pelkästään kustannusten hallintaan tai nopeisiin läpimenoaikoihin, vaan niiden tulee olla joustavia, läpinäkyviä ja toimivia kriisitilanteissa.

Tehokkaat toimitusketjut muodostuvat useista eri suorituskyvyn ulottuvuuksista, kuten ajasta, kustannuksista, laadusta, luotettavuudesta ja resilienssistä. Toimitusketjun hallinta vaatii, että niitä tarkastellaan kokonaisuutena. Suorituskuyvyn arviointi on tärkeä osa toimitusketjuja ja sen on tunnistettu olevan tärkeä tekijä arvon maksimoinnissa, syklin keston lyhentämisessä ja parannustoiminnoissa (Nikfarjam ja muut, 2015.

Toimitusketjuja tulee myös tarkastella monitoimijaisina järjestelminä, sillä niihin liittyy materiaalivirtaa, tietovirtaa ja rahavirtaa. Zhai ja muut (2019) mukaan perinteiset yksivaiheiset tehokkuusmallit eivät pysty havaitsemaan toimitusketjujen todellisia pullonkauloja.

Tehokkuutta onkin syytä tarkastella monien tekijöiden kautta. Yksi toimitusketjujen keskeisistä tekijöistä on näkyvyys. Freichel ja muut (2022) määrittelevät näkyvyyden eri osapuolten kyvyksi saada tarkkaa ja oikea-aikaista tietoa tavaravirroista. Toinen tärkeä osa on digitalisaatio. Atieh ja muut (2025) toteavat automaatiolla olevan suurin positiivinen vaikutus toimitusketjujen tehokkuudelle.

Euroopan komission (2023a) mukaan nykyiset tulliprosessit ovat monimutkaisia ja digitalisaatio hajanaista. Toimitusketjujen tehokkuuden tarkastelussa tulliprosessien kautta tuleekin huomioida useita eri näkökulmia, sillä tehokkuuteen vaikuttaa laajasti eri asioita. Nämä mittarit tulee määritellä, jotta tehokkuutta voitaisiin arvioida systemaattisesti ja mielekkäästi.

4.2 Miten tehokkuutta mitataan tulliprosessien kautta?

Tässä tutkielmassa tarkastellaankin kuutta KPI-mittaria, jotka on listattu taulukkoon 3. KPI-mittarit valittiin EU:n tulliuudistuksen vaikutustenarvioinnin (Euroopan komissio, 2023a) sekä tulliprosessien tehokkuutta käsittelevän tutkimuskirjallisuudessa esiintyvien teemojen perusteella.

Valittu KPI	Mitä mitataan
Aika	Tulliselvityksen kesto, mahdolliset viiveet
Kustannukset	Tulliselvitystä varten tehtävä työmäärä ja siitä aiheutuvat kustannukset
Laatu	Datan oikeudellisuus
Riskienhallinta	Kuinka paljon turhia tarkastuksia tehdään?
Digitalisaatio/automaatio	Kuinka vahvasti prosessi on digitalisoitu
Näkyvyys	Kuinka tehokkaasti osapuolet saavat oikeaa ja oikea-aikaista tietoa?

Taulukko 3. Valitut KPI:t

Taulukossa esitettyjen KPI-mittareiden arvioiminen vaatii sekä operatiivisen toiminnan, että laadullisen toiminnan tarkastelua. Näiden kuuden mittarin perusteella voidaan arvioida systemaattisesti tulliprosessin tehokkuutta ja sitä, kannattaako esimerkiksi lohkoketjuteknologiaan investoida. Euroopan komission (2023a) mukaan nykyisten tulliprosessien ongelmat ovat monimutkaiset prosessit, heikko datan laatu, puutteellinen digitalisaatio ja hajanainen riskienhallinta. Itsessään nämä ongelmat johtavat myös kohonneisiin kustannuksiin, joten valituilla KPI-mittareilla voidaan mitata hyvin, miten prosessit toimivat suhteessa Euroopan unionissa havaittuihin ongelmiin.

Valitut mittarit toimivatkin hyvin tutkielman teoreettisen analyysin perustana, sillä ne ovat hyvä perusta minkä pohjalta lähteä miettimään tulliprosessien tehokkuuteen vaikuttavia asioita. Valittuihin KPI:hin liittyviä teemoja käsitellään luvussa 5, jonka jälkeen niiden perusteella tehdään luvussa 6 johtopäätöksiä. On tärkeää kuitenkin huomata, että KPI:t toimivat tutkielmassa vain kokonaisarvioinnin tukena.

5 Vaikutukset toimitusketjujen tehokkuuteen

Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen tulliprosesseissa voi parantaa toimitusketjujen tehokkuutta. Lohkoketjun tietojen muuttumattomuus ja se, että tietoihin pääsee reaaliaikaisesti käsiksi ovat niitä asioita, jotka vaikuttavat toimitusketjujen tehokkuuteen positiivisesti (Santoso ja muut, 2025).

Väitettä tukee se, että IBM:n ja Maerskin Tradelens-ohjelmisto on parantanut tietojen saatavuutta ja jäljitettävyyttä globaaleissa toimitusketjuissa (Santoso ja muut, 2025). Tehokkuusvaikutukset eivät rajoitu vain datan käsittelyyn. Empiiriset havainnot kansainvälisessä logistiikassa osoittavat lohkoketjuteknologian helpottavan auditointia, tarkastuksia ja parantavan tulliprosessien tehokkuutta (Yang, 2019).

5.1 Vaikutus prosessin läpinäkyvyyteen ja luotettavuuteen

Läpinäkyvyys ja sen tuottama luottamus ovat keskeisimpiä tekijöistä tehokkuuden arvioimisen suhteen. Nykyisissä prosesseissa tiedon hajanaisuus ja manuaalinen dokumentointi aiheuttavat epävarmuutta siitä onko tieto luotettavaa. Tutkimuskirjallisuudessa nousevana lohkoketjuteknologian keskeisenä hyötynä on se, että kaikki osapuolet näkevät saman aikaleimatun ja muuttumattoman tietokannan, joka parantaa tiedon luotettavuutta ja läpinäkyvyyttä (Santoso ja muut, 2025; Wang ja muut, 2019; Qian ja muut, 2020; Xiong ja muut, 2025).

Läpinäkyvyyden rooli korostuu tulliprosesseissa, koska niissä liikkuu valtava määrä eri toimijoiden tuottamaa tietoa, joka viranomaisten tulee vahvistaa oikeaksi. Tiedon laatuongelmat ovatkin merkittävä haaste viranomaisille, sillä ne hidastavat prosesseja (Gkoni ja muut, 2024). Lohkoketjut voivat ratkaista tämän ongelmaa turvallisella ja automatisoidulla kirjanpidolla älykkäiden sopimusten avulla (Xiang ja muut, 2025).

Lohkoketjuteknologioiden empiiriset sovellukset tukevat tätä näkemystä. Santoso ja muut (2025) osoittavat, että suurten kansainvälisten toimijoiden: Maerskin,

Microsoftin, Amazonin, Walmartin ja Alibaban käyttämät lohkoketjuteknologiaratkaisut ovat parantaneet osapuolten välistä luottamusta kaikkien nähdessä saman aikaleimatun pysyvän tietokannan. Wangin ja muiden (2019) mukaan luottamus on lohkoketjun käytön keskeisin motivaattori, sillä heidän systemaattisessa katsauksessaan 90 prosenttia tarkastelluista tutkimuksista listasi sen tärkeimmäksi lohkoketjun käyttöönottoa ohjaavaksi tekijäksi. Tutkimuksen mukaan luottamus vähentää tiedon manipuloinnin riskiä ja selkeyttää osapuolten välisiä rooleja.

Vastaavia hyötyjä on havaittu myös tulliprosesseihin kehitetyissä ratkaisuissa. Kim ja Kim (2023) osoittavat lohkoketjupohjaisen rautatiekuljetusten tulliselvitysjärjestelmän parantavan merkittävästi tiedon eheyttä, turvallisuutta ja luotettavuutta. Tutkimuksen mukaan lohkoketjuteknologia estää tiedon väärentämisen tapahtumien ollessa muuttumattomia ja alkuperä jäljitettävissä.

Lohkoketjuteknologian roolia tulliprosessien läpinäkyvyyden parantamisessa tukee myös World Customs Organizationin analyysi, jonka mukaan lohkoketju antaa tulleille selkeämmän kuvan kansainvälisistä kauppavirroista, ja tallentaa tavaroiden sijainnin ja tilan seurannan reaaliaikaisesti (Okazaki, 2018). Tämä parantaa tiedon läpinäkyvyyttä merkittävästi ja lisää myös luotettavuutta, mikä heijastuu valituissa KPI-mittareista erityisesti datan laatuun ja prosessien näkyvyyden parantumisena.

5.2 Vaikutukset kustannuksiin ja toimitusaikoihin

Toimitusketjujen tehokkuuden suhteen tärkeitä ovat määritellyistä KPI-mittareista kustannukset ja aika, sillä ne vaikuttavat yrityksen voittoihin ja ovat tärkeitä kilpailumittareita. Usein toimitusaikoihin ja kustannuksiin vaikuttaa negatiivisesti manuaaliset tarkastukset, monimutkaiset tulliprosessit ja huono dokumentaatio, jotka johtavat siihen, että tavarat seisovat tullissa. Idrissi ja muut (2024) tutkimuksen mukaan näitä logistisia haasteita voidaan vähentää lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä.

Lohkoketjuteknologian avulla käsittely voidaan nopeuttaa korvaamalla manuaalisia tarkastusvaiheita älykkäillä sopimuksilla. Tallaisia vaiheita on esimerkiksi dokumenttien lähettäminen ja tallentaminen jossain prosessin vaiheissa. Wang ja muut (2019) mukaan manuaalinen varmennus vie paljon aikaa, kun taas älykkäillä sopimuksilla tämä voidaan automatisoida, jolloin se vie vain vähän aikaa. Heidän mukaansa älykkäät sopimukset voivat vähentää manuaalisia toimenpiteitä ja prosessissa tarvittavia välikäsiä. Nämä vaikutukset nopeuttavat prosessia mutta myös laskevat kustannuksia.

Merkittäviä logistisia haasteita, kuten toimitusviiveet, vaurioituneet tuotteet, virheelliset tiedot ja päällekkäinen tietojen syöttäminen voidaan vähentää hyödyntämällä lohkoketjuteknologiaa (Idrissi ja muut, 2024). Näiden haasteiden vähentäminen nopeuttaa prosesseja ja poistaa niihin liittyviä monimutkaisuuksia.

Toimitusketjun näkökulmasta nopeammat toimitusketjut liittyvät myös lohkoketjuteknologian mahdollistamaan reaaliaikaiseen ja eheään tiedonvälitykseen koko toimitusketjun ajan. Sen hyötynä on se, että yritykset ja viranomaiset voivat tarkastella dokumentteja ilman ylimääräistä manuaalista työtä. Belu (2020) tukee tätä väitettä toteamalla lohkoketjuteknologia sujuvoittavan tavaroiden toimitusta ja samalla parantaen läpinäkyvyyttä sekä luottamusta eri osapuolten välillä.

Nopeammat toimitusajat johtuvat myös siitä, että lohkoketju vähentää prosessiin osallistuvia välikäsiä ja automatisoi useita tarkastusvaiheita. Xiong ja muiden (2025) mukaan älykkäät sopimukset nopeuttavat prosesseja ja vähentävät hallinnollista työtä.

Empiiriset tutkimukset tukevat väitteitä lohkoketjuteknologian kyvystä nopeuttaa toimitusketjuja ja täten vähentää kustannuksia. Wang ja muut (2019) raportoivat, että lohkoketjun hyödyntäminen kaupankäynnin rahoituksessa voi lyhentää käsittelyaikoja 7–10 päivästä jopa vain 1–4 tuntiin. Tämä korostaa välikäsien ja automatisaation merkitystä prosessien nopeuteen.

Kyseiset vaikutukset ovat näkyneet jo konkreettisesti Maersinkin ja IBM:n Tradelens järjestelmässä. Santoso ja muut (2025) mukaan Tradelens vähentää byrokratiaa ja nopeuttaa toimitusaikoja, sillä kaikki osapuolet pääsevät käsiksi samaan läpinäkyvään tietoon. Lohkoketjuteknologia nopeuttaakin merkittävästi prosesseja lisäämällä läpinäkyvyyttä ja parantamalla automatisaatiota. Tämä vähentää usein myös kustannuksia.

5.3 Toimitusketjun sopeutumiskyky ja kestävyys

Toimitusketjujen resilienssillä tarkoitetaan kykyä vastata häiriöihin, palautua niistä ja sopeutua muuttuviin olosuhteisiin (Ponomarov ja Holcomb, 2009). Tämä liittyy vahvasti myös riskienhallinnan KPI-mittariin, sillä häiriöistä palautuminen on tärkeä osa riskien hallintaa. Resilienssin merkitys on korostunut viime vuosina erityisen paljon Koronaviruksen, globaalien jännitteiden ja toimitusketjujen häiriöiden myötä. Informaatiotekniikat, kuten automaatiota, ennakoiva analytiikka ja reaaliaikainen data ovat keskeisiä tekijöitä sen vahvistamisessa (Al-talib ja muut, 2025).

Lohkoketjuteknologia vahvistaakin toimitusketjun resilienssiä tarjoamalla läpinäkyvän, jäljitettävän ja hajautetun tietorakenteen, joka on saatavilla kaikille osapuolille (Al-Talib ja muut, 2025). Wang ja muut (2019) mukaan järjestelmä vähentää riippuvuutta yksittäisistä järjestelmistä sekä pienentää riskiä, että yksittäisten toimijoiden häiriöt häiritsisivät koko toimitusketjua.

Toimitusketjujen resilienssin hyödyt näkyvät konkreettisesti. Kim ja Kim (2023) tutkimuksessa selviää, että lohkoketjujärjestelmä-pohjainen tullijärjestelmä säilytti datan eheyden ja toiminnan jatkuvuuden, vaikka siihen kohdistettiin simuloituja kyberhyökkäyksiä. Heidän mukaansa järjestelmä pystyi palautumaan häiriöistä nopeasti, koska sama tieto oli tallennettu useille solmuille, eikä yksittäinen vika täten pysäyttänyt prosessia. Lohkoketjuteknologian hajautettu rakenne ja sen tuoma joustavuus parantavatkin toimitusketjujen resilienssiä, joka vastaisuudessaan parantaa

tehokkuutta ongelmatilanteissa. Tämä on mahdollista vain, mikäli ketjuun syötetty data on oikeaa, sillä lohkoketjuteknologian kautta syötetty väärä alkuperädata moninkertaistuu verkossa. (Chen ja Lloyd, 2025).

5.4 Prosessin automaatiota tukevat vaikutukset

Toimitusketjujen automatisointi ei ole vain lohkoketjuteknologian varassa, vaan se tulee rakentaa siten että kyseessä on monien eri teknologioiden kokonaisuus. Tallaisia teknologioita on muun muassa tekoäly ja esineiden internet. Lohkoketjuteknologian mielenkiintoisin sovellus automaation näkökulmasta on älykkäät sopimukset.

Älykkäillä sopimuksilla voidaan automaattisesti tehdä jotain ennalta määrättyjä asioita tiettyjen ehtojen täyttyessä. Wang ja muut (2019) mukaan älykkäiden sopimusten keskeinen hyöty verrattuna perinteisiin sopimuksiin on, että ne vähentävät kustannuksia ja viiveitä.

Lohkoketjuteknologian rooli automatisaatiossa ei rajoitu vain älykkäisiin sopimuksiin. Sitä voidaan käyttää ikään kuin alustana automaattisille prosesseille, jolloin sen tuottama arvo perustuukin siihen, että kaikki osapuolet pystyvät käyttämään samaa aikaleimattua tietoa. Belu (2020) mukaan tämä vähentää manuaalisten tarkastuksien tarvetta ja vähentää tilanteita, joissa sama data syötetään useita kertoja eri järjestelmiin. Idrissi ja muut (2024) lohkoketju luo yhteisen alustan datan jakamiselle, jossa se toimii yhdessä IoT ja AI kanssa. Nämä kolme teknologiaa mahdollistavat mielenkiintoisia automaation ratkaisuja.

Nykyisellään automaatio näkyy tulliprosesseissa dokumenttien validoinnin ja riskianalyysin kautta. Qian ja muut (2020) mukaan älykkäillä sopimuksilla voidaan tarkastaa vienti-, tuonti- ja tarkastustietoja ilman manuaalista käsittelyä. Liaqat ja muut (2024) SmartOil-järjestelmässä älykkäitä sopimuksia käytetään datan varmennuksiin, joka vähentää manuaalisia tarkastuksia ja mahdollistaa automaattisen hyväksynnän.

Lohkoketjuteknologiat ovatkin todella potentiaalinen osa tulliprosessien automatisointia sillä ne tarjoavat sekä data-alustan että automaatioratkaisut älykkäiden sopimusten kautta.

5.5 Käyttöönoton riskit

Vaikka lohkoketju on hyvin lupaava teknologia, ei sen käyttöönotto ole täysin riskitöntä toimitusketjujen tehokkuuden näkökulmasta. Idrissi ja muut (2024) huomattavat, että suuri osa lohkoketjuteknologiaa tarkastelevista tutkimuksista on keskittynyt finanssialaan. Täten tulliprosesseihin liittyvät käyttöönoton riskit ovat osin vähemmän tutkittuja ja voivatkin siten realisoitua yllättävillä tavoilla.

Lohkoketjuteknologian tuottama läpinäkyvyys voi muodostua riskiksi joillekin toimitusketjun toimijoille, joille tiedon jakaminen ei ole strategisesti edullista. Wang ja muut (2019) toteavatkin, että osa nykyisistä taloudellisesti vahvoista yrityksistä voivat vastustaa käyttöönottoa pelätessään asemansa puolesta. Kaikki yritykset eivät täten haluakaan lohkoketjuteknologian tarjoamaa läpinäkyvyyttä. Tämä voi johtaa tehottomiin hybridimalleihin. Vastaavasti mikäli kaikki toimitusketjun toimijat eivät sitoudu teknologiaan, lohkoketju ei saavuta haluttuja tehokkuushyötyjä, vaan voi lisätä jopa monimutkaisuutta (Wang ja muut, 2019).

Teknologiset riskit voivat myös heikentää lohkoketjuteknologian hyötyjä tulliprosessissa. Lohkoketjut eivät ole immuuneja kyberuhille. Wang ja muut (2019) mukaan hyökkäys, jossa yksi toimija saa käyttönsä yli 50 % verkon laskentatehosta voi vaarantaa koko järjestelmän. Tämän lisäksi älykkäisiin sopimuksiin liittyy riskejä. (Tyagi ja Goyal, 2021). mukaan niiden koodiin jäävät virheet ovat pysyviä, ja niiden korjaaminen on vaikeaa. Heidän mukaansa tunnetut tapaukset, kuten DAO-hyökkäys ja Parity Wallet -bugi ovat osoittaneet, että virheet älykkäiden sopimusten koodissa voivat johtaa huomattaviin taloudellisiin menetyksiin. Tällaiset virheet voivat johtaa myös esimerkiksi vääränlaisiin tullauksiin ja heikentää tehokkuutta merkittävästi.

Myös datan laatu voi heikentää tehokkuutta merkittävästi. Lohkoketjuteknologia ei korjaa vihreitä alkuperäisessä datassa vaan moninkertaistaa ne verkkoon. Chen ja Lloyd (2025) mukaan väärä tai puutteellinen tieto voi johtaa virheellisiin päätöksiin ja heikentää prosessien näkyvyyttä mikä hidastaa tulliselvityksiä ja lisää kustannuksia.

Myös järjestelmien yhteistoimivuus on merkittävä haaste tulliprosessien suhteen, sillä ne perustuvat kansallisiin tietojärjestelmiin, joiden tekniset ratkaisut ja standardit vaihtelevat huomattavasti. Qian ja muut (2020) mukaan yhteensopimattomuus on tärkeää sillä se voi heikentää kokonaistehokkuutta ja kasvattaa kustannuksia. Tämä on suuri riski Euroopan unionin kohdalla. Kuitenkin Euroopan komission (2023b) yksi tulliuudistuksen keskeisistä tavoitteista on datan yhtenäistäminen. Joka helpottaa lohkoketjuteknologian liittämistä osaksi.

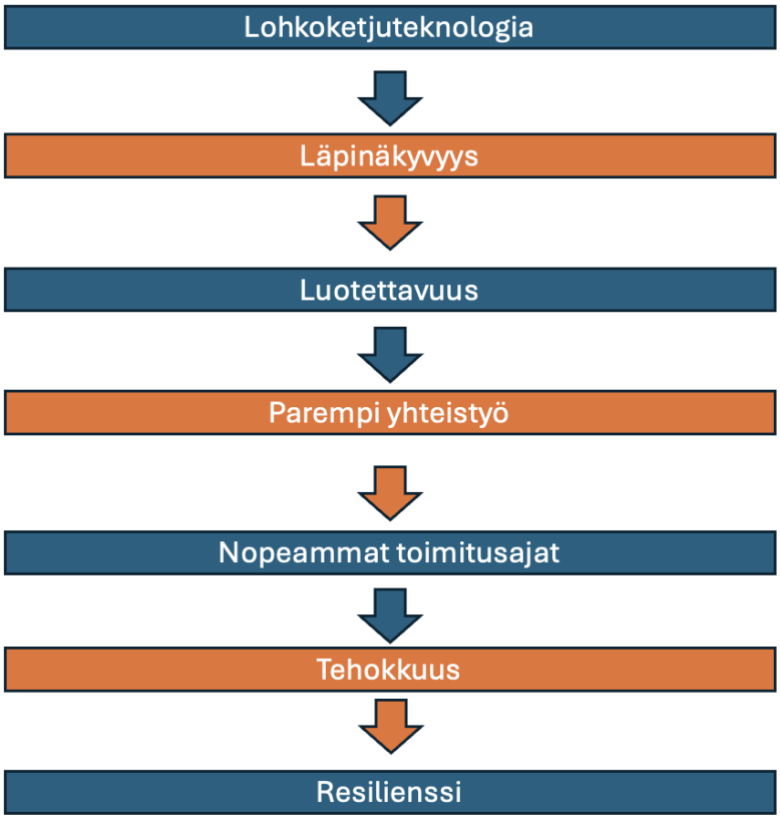
Lopuksi lohkoketjuteknologian vaikutukset tulliprosessien tehokkuuteen riippuvat voimakkaasti siitä, miten teknologiaa käytetään suhteessa muihin automaatioratkaisuihin. Lohkoketju ei yksinään ratkaise toimitusketjujen tiedonkulkuun ja riskienhallintaan liittyviä ongelmia, vaan sen tulee täydentää muita teknologioita, kuten kansallisia tietojärjestelmiä (Idrissi ja muut, 2024). Jos lohkoketju toteutetaan irrallisena, ilman riittävää yhteentoimivuutta näiden teknologioiden kanssa, osa prosessien kriittisestä tiedosta jää järjestelmän ulkopuolelle. Tämä voi heikentää riskienhallintaa ja johtaa tehottamaan hybdriratkaisuun.

Lohkoketjuteknologian käyttöönottoon liittyvät riskit realisoituivat hyvin alkaneessa IBM:n ja Maerskin Tradelens ohjelmistossa, joka lopetettiin taloudellisen kannattamattomuuden vuoksi, sillä se ei saavuttanut tarpeeksi laajaa käyttäjäkuntaa (Najati, 2025). Lohkoketjuteknologioihin liittyvien riskit on tarpeellista huomioida ja analysoida ennen käyttöönottoa eivätkä hyvät tulokset käytön aikana takaa sen taloudellista menestystä.

5.6 Kokonaisvaikutus

Lohkoketjuteknologian vaikutus tulliprosesseihin ei rajoitu yksittäisiin osa-alueisiin, vaan muodostaa kirjallisuuden perusteella toisiaan vahvistavan vaikutusketjun. Kuva 6 havainnollistaa miten kirjallisuudessa tunnistetut vaikutukset muodostavat yhtenäisen konseptuaalisen vaikutusketjun. Sen lähtökohtana on datan läpinäkyvyyden ja luotettavuuden paraneminen. Muuttumaton ja jaettu tietorakenne vähentää tiedon manipuloinnin riskiä ja parantaa osapuolten välistä luottamusta (Wang ja muut, 2019).

Parantunut läpinäkyvyys taas vahvistaa yhteistyötä toimitusketjun toimijoiden välillä. Okazaki (2018) reaaliaikainen pääsy kauppadataan parantaa riskianalyysin laatua ja vähentää turhien tarkastusten määriä. Tämä taas lyhentää prosessien läpimenoaikoja muun muassa älykkäiden sopimusten avulla.



Kuva 6. Lohkoketjuteknologian kokonaisvaikutusketju toimitusketjuissa

Kim ja Kimin (2023) tutkimukset osoittavat, että lohkoketjupohjaisilla tulliselvityksillä voidaan vähentää fyysisiä pysähdyksiä ja lyhentää rajanylitysprosesseja merkittävästi. Tehokkuushyödyt näkyvät sekä kustannusten laskuna, että tavaravirtojen nopeutumisella.

Lohkoketjuteknologia vahvistaa myös toimitusketjujen resilienssiä. Hajautettu tietorakenne vähentää riippuvuutta yksittäisistä järjestelmistä ja mahdollistaa toimintaa myös teknisten ongelmien tai kyberhyökkäysten aikana (Kim ja Kim, 2023).

Havaitut vaikutukset ovat myös hyvin yhdenmukaisia Euroopan unionin vuonna 2023 käynnistämän tulliuudistuksen kanssa. Uudistus painottaa datan laatua, automaatiota ja riskienhallinnan tehostamista (Euroopan komissio, 2023a). Tätä tukee Qian ja muiden (2020) malli, jossa viranomaiset ja yritykset toimivat samalla digitaalisella alustalla. Heidän mukaansa järjestelmän ydin on lohkoketjujärjestelmä, joka linkittää jo olemassa olevat järjestelmät.

Kokonaisuudessa lohkoketjuteknologian vaikutukset muodostavat kumuloitavan vaikutusketjun. Läpinäkyvyys lisää luottamusta, luottamus parantaa yhteistyötä, yhteistyö tehostaa prosesseja ja tehokkaammat prosessit taas johtavat kestävämpiin toimitusketjuihin.

Vaikka lohkoketjuteknologioiden vaikutukset ovatkin hyvin positiivisia ei ne välttämättä ratkaise kaikkea. On huomioitavaa, että laajat organisaatioita kattavat lohkoketjuteknologiaratkaisut ovat hyvin kalliita ja eivät täten välttämättä ole kannattavia pienemille yrityksille. Konseptuaalisen vaikutusketjun positiivinen vaikutus vaatii myös organisaatiollista sitoutumista. Huonolla alkuperäisen datan laadulla sen vaikutukset eivät ole niin hyviä. Tämän lisäksi teknologiaan liittyy laajasti muitakin riskejä, joita on vaikea arvioida ennen laajempaa käyttöönottoa.

6 Johtopäätökset

Tässä tutkielmassa tutkittiin lohkoketjuteknologian hyödyntämistä tulliprosessien automatisoinnissa Euroopan unionin näkökulmasta ja sen vaikutuksia toimitusketjujen tehokkuuteen. Tutkimuksen pääkysymyksenä oli: ” Miten lohkoketjuteknologian hyödyntäminen tulliprosesseissa Euroopan unionissa tehostaa kansainvälisiä toimitusketjuja?”. Tämän lisäksi tutkimusaihetta avustavia tutkimuskysymyksiä oli: ” Mitkä ovat nykyisten tulliprosessien keskeiset haasteet ja kehittämistarpeet?” ja ” Millä tavoin lohkoketjuteknologia voi tuoda lisäarvoa tulliprosesseihin?”, sekä ” Miten toimitusketjujen tehokkuutta voidaan arvioida tulliprosessien näkökulmasta?”.

Lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää tulliprosesseissa hyvin monin eri tavoin. Erityisesti sen hajautettu ja avoin rakenne tarjoavat mahdollisuuksia toimitusketjujen tehokkuuden kehittämiseen. Lohkoketjun hyödyntämisen avulla tulliprosesseissa syntyykin positiivinen kokonaisketju, joka vaikuttaa positiivisesti koko ketjun tehokkuuteen. Käyttöönotto ei kuitenkaan ole täysin ongelmatonta, sillä muun muassa vanhojen järjestelmien yhteensovittaminen aiheuttaa haasteita. Tämän lisäksi tutkimusten perusteella Euroopan unionin tullimuutos luo tekniset ja hallinnolliset edellytykset lohkoketjuteknologian käyttöönotolle.

Tulliprosessien keskeiset kehitystarpeet liittyvät merkittävästi dokumentaation oikeudellisuuden varmistamiseen. Alkuperätodistukset ja materiaalitodistukset ovat asioita, joita tarvitaan maahantuonnissa muun muassa hiilirajamekanismin suhteen ja pakotteiden määrittämiseen. Tällä hetkellä tulliprosessien monimutkainen rakenne vaikeuttaa dokumentaation oikeuden toteamista.

Lohkoketjuteknologia voi tuoda tulliprosesseihin lisäarvoa lisäämällä prosessin läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä. Tämä on mahdollista teknologian tuoman rakenteen avulla. Tämän lisäksi lohkoketjun älykkäiden sopimusten avulla voidaan automatisoida dokumenttien tallentamista, joka säästää aikaa ja vähentää virheitä. Sen avulla voidaan myös parantaa riskienhallintaa sekä kehittää kansainvälistä yhteistyötä.

Toimitusketjujen tehokkuutta tulisi tulliprosessien näkökulmasta arvioida erilaisten KPI-mittareiden avulla. Tutkimuksessa valittiin kuusi KPI-mittaria: aika, kustannukset, laatu, riskienhallinta, automaatio ja näkyvyys. Näiden avulla saadaan laajaa kuvaa, miten hyvin tulliprosessit vaikuttavat toimitusketjujen tehokkuuteen sen koostuessa useista eri osista. Näitä käsitellään luvussa 5, jonka perusteella lohkoketjuteknologian käyttöönotto on kannattavaa toimitusketjujen tehokkuuden näkökulmasta.

Tutkimuksen merkittävin rajoitus oli se, ettei empiiristä tutkimusta aiheesta huomattavasti ole. Suuri osa tutkimuksista olikin täten kirjallisuuskatsauksia, joka vaikeutti analyysin tekemistä. Tämän lisäksi suuri osa aineistoista käsitteli Euroopan unionin ulkopuolisia alueita. Myös EU:n tulliuudistuksen uutuus aiheutti tilanteen, jossa sitä ei juurikaan ole tutkittu vielä, joten sen suhteen jouduttiin tyytymään viranomaislähteisiin.

Jatkotutkimus voisi lohkoketjuteknologian ja tekoälyn hyödyntämiseen Euroopan unionin tullien riskienhallinnassa. Tutkimuksessa voitaisiin keskittyä siihen, miten lohkoketjuteknologia tukee tekoälyn roolia riskienhallinnan kohdalla. Lohkoketjuteknologia voisi ratkaista huonon datan laadun, joka yleisesti liittyy tulliprosesseihin.

Lähteet

Al-Talib, M., Al-Saad, W., Alzoubi, A. & Anosike, A. I. (2025). *A systematic review of the literature on the use of information technologies in supply chain management.* International Journal of Industrial Engineering and Operations Management, 7(3), 247–268. https://doi.org/10.1108/IJIEOM-09-2023-0073

Atieh, A. A., Hussein, A. A., Al-Jaghoub, S., Alheet, A. F. & Attiany, M. (2025). *The impact of digital technology, automation, and data integration on supply chain performance: Exploring the moderating role of digital transformation.* Logistics, 9(11). https://doi.org/10.3390/logistics9010011

Belu, M. G. (2020). Blockchain technology and customs procedures. The Romanian Economic Journal, 23(78), 13–26. https://rejournal.eu/sites/rejournal.versatech.ro/files/articole/2020-12-18/3619/2belum.pdf

Chen, X. & Lloyd, A. D. (2025). *Understanding the challenges of blockchain technology adoption: Evidence from China's developing carbon markets*. Information Technology & People, 38(3), 1328–1362. https://doi.org/10.1108/ITP-05-2021-0379

Drinkwater, S. & Robinson, C. (2023). *The impact of customs and trade regulations on the operations of African firms*. Journal of Business Research, 165, 114046. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114046

Euroopan komissio (2023a). *Impact assessment report: Reform of the EU customs union*. Publications Office of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023SC0140&qid=1684913437758

Euroopan komissio. (2023b). *Tulliuudistus – tulliliiton vieminen seuraavalle tasolle* (COM(2023) 257 final). Euroopan komissio. https://eur-lex.europa.eu/

Euroopan komissio. (2025). *Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2025/1926, annettu 22 päivänä syyskuuta 2025, tariffi- ja tilastonimikkeistöstä ja yhteisestä tullitariffista annetun neuvoston asetuksen (ETY) N:o 2658/87 liitteen I muuttamisesta*. Euroopan unionin virallinen lehti. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2025/1926/oj

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2023). Asetus (EU) 2023/956 hiilidioksidipäästöjen rajamekanismin perustamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti, L 130/52. https://tem.fi/documents/1410877/171662013/FI+-+CBAM+05-23+hyväksytty+asetus.pdf/aa1c85e6-fec9-9d2b-23bf-abe8f0a09075/FI+-+CBAM+05-23+hyväksytty+asetus.pdf?t=1692253702157

Freichel, S. L. K., Rütten, P. & Wörtge, J. K. (2022). *Challenges of supply chain visibility in distribution logistics: A literature review*. Economic and Social Development (ESD) Journal, 35(2), 453–466. https://doi.org/10.51680/ev.35.2.16

Grainger, A. (2016). *Customs management in multinational companies*. Noudettu 9.11.2025 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/313573680

Idrissi, Z. K., Lachgar, M. & Hrimech, H. (2024). *Blockchain, IoT and AI in logistics and transportation: A systematic review.* Transport Economics and Management, 2, 275-285. https://doi.org/10.1016/j.team.2024.09.002

Irannezhad, E. (2020). *Is blockchain a solution for logistics and freight transportation problems?* Transportation Research Procedia, 48, 290–306. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520304397

Kim, S-B. & Kim, D. (2020). *ICT Implementation and Its Effect on Public Organizations: The Case of Digital Customs and Risk Management in Korea.* Sustainability *12*(8), 3421. https://doi.org/10.3390/su12083421

Kim, S. & Kim, D. (2023). *Securing the cyber resilience of a blockchain-based railroad non-stop customs clearance system*. Sensors, 23(7), 2914. https://www.mdpi.com/1424-8220/23/6/2914

Liaqat, M., Almazroi, A. A., Shuja, J. & Mustafa, E. (2024). *Securing oil port logistics: A blockchain framework for efficient and trustworthy trade documents*. PLOS ONE, 19(10), e0309526. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0309526

Najati, I. (2025). *Exploring the failure factors of blockchain adopting projects: A case study of TradeLens through the lens of commons theory*. Frontiers in Blockchain, 8, 1503595. https://doi.org/10.3389/fbloc.2025.1503595

Nikfarjam, H., Rostamy-Malkhalifeh, M. & Mamizadeh-Chatghayeh, S. (2015). *Measuring supply chain efficiency based on a hybrid approach*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 39, 141–150. **http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.06.004**

Okazaki, Y. (2018). Unveiling the potential of blockchain for customs. WCO Research Paper, 45. World Customs Organization. Noudettu 11.11.2025 osoitteesta https://www.wcoomd.org/

Ponomarov, S. Y. & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management, 20*(1), 124–143. https://doi.org/10.1108/09574090910954873

Popoola, O., Rodrigues, M., Marchang, J., Shenfield, A., Ikpehai, A. & Popoola, J. (2024). A critical literature review of security and privacy in smart home healthcare schemes adopting IoT & blockchain: Problems, challenges and solutions. Blockchain: Research and Applications, 5, 100178. https://doi.org/10.1016/j.bcra.2023.100178

Pourakbar, M. & Zuidwijk, R. A. (2018). The role of customs in securing containerized global supply chains. European Journal of Operational Research, 271(1), 331–340. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.012

Qian, J., Wu, W., Yu, Q., Ruiz-Garcia, L., Xiang, Y., Jiang, L., Shi, Y., Duan, Y. & Yang, P. (2020). *Filling the trust gap of food safety in food trade between the EU and*

China: An interconnected conceptual traceability framework based on blockchain. Food and Energy Security, 9(4),1-11. https://doi.org/10.1002/fes3.249

Santoso, J. T., Wibowo, M. C. & Baharjo, B. (2025). *Trustworthiness in Supply Chains: Leveraging Private Blockchain Solutions.* International Journal of Supply and Operations Management, 12(2), 123-148. https://dx.doi.org/10.22034/ijsom.2024.110372.3087

Sitisara, S., Rattanawong, W. & Vongmanee, V. (2022). *Revolunized Customs Declaration Documents Preparation Process*. Noudettu 11.11.2025 osoitteesta https://ieeexplore.ieee.org/document/10329700

Subramanian, N., Chaudhuri, A. & Kaykci, Y. (2020). *Blockchain and supply chain logistics Evolutionary Case Studies*. Noudettu 11.11.2025 osoitteesta https://ebookcentral-proquest-com.proxy.uwasa.fi/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=6210914

Tapscott, D. & Tapscott, A. (2017). *How blockchain will change organizations.* MIT Sloan Management Review, 58(2), 10–13. https://mitsmr.com/2gbIHrI

Tulli. (2025). EU:n 19. *Venäjä-pakotepaketti hyväksytty – venäläiselle nesteytetylle maakaasulle tuontikielto*. Noudettu 16.11.2025 osoitteesta https://tulli.fi/-/eu-n-19.-venaja-pakotepaketti-hyvaksytty-venalaiselle-nesteytetylle-maakaasulle-tuontikielto

Tulli. (n.d.-a). *Hiilirajamekanismi (CBAM).* Noudettu 24.11.2025 osoitteesta https://tulli.fi/hiilirajamekanismi

Tulli. (n.d.-b). *Pakotteet.* Noudettu 28.11.2025 osoitteesta https://tulli.fi/pakotteet

Tulli (n.d.-c). *Alkuperä*. Noudettu 28.11.2025 osoitteesta https://tulli.fi/yritykset/tuonti/hyodynna-tullietuudet/tullietuudet-alkupera/alkupera

Tulli (n.d.-d). *CN-nimikkeistö*. Noudettu 28.11.2025 osoitteesta https://tilastot.tulli.fi/nimikkeistot-ja-luokitukset/cn-nimikkeisto

Tyagi, N., K. & Goyal, M. (2021). *Blockchain-based smart contract for issuance of country of origin certificate for Indian Customs Export Clearance*. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 35(16), e6249. https://doi.org/10.1002/cpe.6249

Volpe Martincus, C., Carballo, J. & Craziano, A. (2015). *Customs*. Journal of International Economics, 96(1), 119-137. https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2015.01.011

Wang, J., Liu, J., Wang, F. & Yue, X. (2021). B*lockchain technology for port logistics capability: Exclusive or sharing.* Transport Research Part B, 149, 347–392. https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.05.010

Wang, Y., Han, J. H. & Beynon-Davies, P. (2019). *Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda.* Supply Chain Management: An International Journal, 24(1), 62-84. http://dx.doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0148

Xiong, Y., Ding, L., Guo, S., Choi, T.-M. & Lam, H. K. S. (2025). *The impact of blockchain-enabled smart contracts on firms' operational efficiency*. Journal of Operations Management. Advance online publication. https://doi.org/10.1002/joom.70006

Yang, C.S. (2019). *Maritime shipping digitalization: Blockchain-based technology applications, future improvements, and intention to use*. Transportation Research Part E, 131, 108-117. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.09.020

Zhai, D., Shang, J., Yang, F. & Ang, S. (2019). *Measuring energy supply chains' efficiency with emission trading: A two-stage frontier-shift data envelopment analysis*. Journal of Cleaner Production, 210, 1462–1474. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.355

Gkoni, I., Rigou, M., Thanasas, G. & Balaskas, S. (2024). *Digital transformation of EU customs: eCommerce VAT legislation and a proposed customs clearance application*. Emerging Science Journal, 8(1), 341-354. http://dx.doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-01-024

Liitteet

Liite 1. Tekoälyn käyttö tutkimuksessa

Tutkielmaa tehdessäni olen käyttänyt OpenAI:n CHATGPT 5.0 -kielimallia. Tekoälymallia on käytetty aiheen idean jalostamiseen, sisällysluettelon ideoimiseen. Tämän lisäksi sitä on käytetty apuna lähteiden validoimisessa. Kirjoitusprosessin aikana sitä on käytetty rakenteen parantamisessa ja tekstin ulkoasun parantamisessa, sekä lähdeluettelon tekemisessä. Tämän liäsksi sitä on käytetty englanninkielisen tekstin kääntämisessä, sekä sen varmistamisessa, että tulkitsen lähdeaineistoja oikein. Tiedostan tekoälyn käyttöön liittyvät riskit ja otan täyden vastuun tutkielman sisällöllisistä ja laadullisista piirteistä.