



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

Toimitusketjun jäljitettävyyttä ja näkyvyyttä tukevan järjestelmän toteutus

University Of Oulu
Faculty of Information Technology and
Electrical Engineering
Kandidaatin tutkielma
Juho Jama
31st October 2023

Avainsanat

toimitusketju, lohkoketju, jäljitettävyys

Ohjaaja

Pasi Karppinen

Sanamäärä

4176

Alkusanat

Kiitos Pasi Karppiselle hyvästä ohjaustyöstä.

Juho Jama Oulu, 27.10.2023

1 Tiivistelmä

Toimitusketjujärjestelmien maailma on kehittynyt valtavasti viimeisten 20 tai 30 vuoden aikana, ja kehitys jatkuu uuden teknologisen kehityksen myötä. Hajautettu tilikirjan teknologia (distributed ledger technology) on osoittautunut tehokkaaksi työkaluksi talousalan ohjelmistoratkaisuissa, mutta yhä enemmän hajautettuja toimitusketjun hallinnan ohjelmistoratkaisuja on otettu käyttöön myös muilla toimialoilla kuin liiketalouden aloilla. Yksi näistä hajautettujen tilikirjan teknologioista on lohkoketjuteknologia (blockchain), jota käytetään jo laajalti liiketalouden sovellusten kontekstissa, mutta myös yhä enemmän osana toimitusketjujen hallintajärjestelmän kontekstia. Blockchainissa on sisäänrakennettuna useita hyödyllisiä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi tietojen muuttumattomuus, tietojen pysyvyys ja tietojen hajauttaminen. Teoriassa blockchainin ominaisuuksien pitäisi tuoda lisää luottamusta organisaatioiden välille toimitusketjuverkostoissa, koska toimitusketjuverkostot koostuvat osapuolista, jotka eivät usein pysty luottamaan toisiinsa täysin. Tämän mullistavan uuden teknologian käyttö herättää uusia kysymyksiä siitä, millaisia varotoimia tulee tehdä ja mitä tulee ottaa huomioon, jotta ohjelmistokehitysprosessit onnistuvat?

Tämän tutkielman tarkoituksena on tarjota lukijalle ajan tasalla olevaa tietoa lohkoketjuteknologian hyödyntämisestä toimitusketjun järjestelmäkontekstissa ja siitä, kuinka ohjelmistokehitysprosessia voidaan tehostaa käyttämällä hajautettua tilikirjateknologiaa ajatellen tehtyjä ohjelmistokehityksen kehyksiä ja prosesseja. Artikkeliki keskittyy pääasiassa toimitusketjun järjestelmien ja lohkoketjun toteutusprosessiin ja mahdollisuuksiin sekä siihen, miten lohkoketju helpottaa paremman jäljitettävyyden ja läpinäkyvyyden toteuttamista toimitusketjujärjestelmässä. Tutkielmassa perehdytään myös erilaisten toimitusketjujärjestelmän ja lohkoketjuteknologian toteutusprosessien ongelmiin ja ratkaisuihin tarkastelemalla erilaisia ohjelmistokehityksen lähestymistapoja, eli käytännössä ohjelmistokehityksessä käytettäviä kehyksiä ja prosesseja, suunniteltaessa tällaisia distributed ledger -teknologiaa hyödyntäviä toimitusketjujärjestelmiä. Lisäksi artikkeli sisältää myös yksinkertaisen PHP 8:lla kirjoitetun lohkoketjusovelluksen konseptitoteutuksen ja valaisee myös lohkoketjuteknologian taustalla olevia perusperiaatteita.

Hajautetun tilikirjan teknologian hyödyntämistä toimitusketjujen hallintajärjestelmissä koskeva kirjallisuus ja tutkimus sekä prosessia avustavat ohjelmistokehitysprosessit ja -kehykset ovat jatkuvasti kasvavassa trendissä ja viimeaikaisia tutkimuksia on olemassa melko paljon, jotka kattavat hajautetun tilikirjan teknologian käytön toimitusketjujärjestelmien kontekstissa. Mutta vaikka kirjallisuutta on olemassa, monet julkaisuista käsittelevät tutkimusaihetta vain epämääräisellä teoreettisella tavalla, josta ei ole käyttökelpoista käytännön esimerkkitoteutusta. Siksi tässä artikkelissa on pyritty esittelemään myös tapauksia julkaisuista, joihin liittyy todellisen toteutustason lohkoketjuun perustuva toimitusketjujärjestelmäratkaisu.

Tutkimuksen lopputulos viittaa siihen, että lohkoketjuteknologian käyttö toimitusketjujärjestelmien kontekstissa ei päde vain teoreettisissa ympäristöissä, vaan myös käytännön käyttötapauksissa. Tutkielma ehdottaa myös, että hajautetun tilikirjan teknologian integroinnissa toimitusketjun hallintajärjestelmään on useita eri asioita, jotka on otettava huomioon verrattuna perinteiseen ohjelmistokehitykseen, sillä hajautetun tilikirjan teknologian hajautettu luonne vaatii ohjelmistokehittäjiltä erityishuomiota ja kunnollisia uusia työkaluja ja prosesseja toimivaa ohjelmistosuunnittelua varten.

Sisällysluettelo

Alkusanat	3
1 Tiivistelmä	3
Sisällysluettelo	5
2 Johdanto	6
3 Lohkoketju	7
3.1 Ominaisuudet.....	7
3.2 Ongelmat.....	7
3.3 Sovellustavat.....	9
3.4 Käytännön toteutusesimerkki lohkaketjuteknologiasta.....	9
4 Toimitusketju	11
5 Lohkoketjuteknologian mahdollisuudet toimitusketjuissa	13
5.1 Ongelmat.....	13
5.2 Lohkoketjukehykset ja arkkitehtuurit.....	14
5.3 Kehykset ja suunnittelumallit toteutuksen apuna	15
6 Yhteenveto	18
References.....	19

2 Johdanto

Tämä tutkielma käsittelee lohkoketjuteknologian hyödyntämistä toimitusketjun jäljitettävyyden ja näkyvyyden parantamisessa. Tutkielman tarkoitus on vastata kysymykseen ”miten lohkoketjua voidaan hyödyntää toimitusketjujen tietojärjestelmissä ja minkälaisia ohjelmistoteknillisiä asioita tulee ottaa huomioon”. Aihe on tärkeä ja ajankohtainen, koska kuluttajien kiinnostus tuotteiden alkuperää kohtaan on kasvanut ja tuotantoketjujen eettiset kysymykset nousevat enemmän ja enemmän julkiseen keskusteluun (Verbeke et al., 2007). Useilla aloilla toimitusketjujen potentiaalia ei myöskään vielä hyödynnetä kokonaisuudessaan. Esimerkiksi maataloustuotteiden kohdalla suuri osa informaatiojärjestelmistä ainoastaan pitävät kirjaa ja seuraavat tilauksia ja lähetyksiä, mutta niistä puuttuu läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä tukevat ominaisuudet. Nämä ominaisuudet voisivat parantaa ruuan laatua ja ruoka-aineiden turvallisuutta ja sen myötä myös kuluttajat ovat alkaneet etsiä tietoa toimitusketjuista (Verdouw et al., 2012).

Tutkielmassa pyritään myös selvittämään, minkälaista tutkimusta on tehty liittyen lohkoketjuteknologian viemisestä konkreettisesti järjestelmätasolle käytännön käyttötapauksia varten ja minkälaisia kehyksiä ja suunnittelumalleja lohkoketjun käyttöönottoa varten on luotu. Aiheessa on myös tietoturvanäkökulma: luottamuksen säilyttämiseksi on tärkeää, ettei esimerkiksi vihamielinen toimija pysty käpälöimään toimitusketjun tietoja ja parhaassa tapauksessa tiedot voidaan varmentaa ilman keskitettyä välikättä. Väärinkäytöksiä välttämiseksi hyvä vaihtoehto voisi olla käyttää nimenomaan lohkoketjuteknologiaa, jossa tiedot varmennetaan vertaisverkossa ilman keskitettyä palvelua (Caro et al., 2018).

Tämän tutkielman tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus, johon tieteellisten lähteiden hakua varten on käytetty suurimmaksi osaksi IEEE Xplore -palvelua, sekä joitain lähteitä varten Google Scholar -palvelua. Tutkielman lähteitä varten käytettyjä yleisimpiä hakusanoja olivat ”blockchain”, ”supply chain”, ”supply chain management system”, ”traceability”, ”transparency”, ”visibility”, sekä niiden yhdistelmät. Saaduista hakutuloksista valittiin tutkielman kannalta hyödyllisimmät ja luotettavimmat julkaisut.

3 Lohkoketju

”Lohkoketju on lahjomaton digitaalinen tilikirja transaktioista jotka voidaan ohjelmoida tallentamaan rahatalouden transaktioiden lisäksi käytännössä mitä tahansa, joihin liitetään arvoa” kuuluu tunnetuin lohkoketjun määritelmä itseltään lohkoketjun kehittäjiltä Don ja Alex Tapscottilta (Golosova & Romanovs, 2018). Lohkoketjuteknologia on tänä päivänä parhaiten tunnettu Bitcoin-kryptovaluutan mahdollistajana. Sen käyttötavat ovat kuitenkin paljon laajemmat ja käyttö kryptovaluutoissa on vain pieni osa lohkoketjuteknologian sovellusmahdollisuuksia.

3.1 Ominaisuudet

Lohkoketju muodostuu perättäisistä lohkoista, joissa jokainen lohko pitää sisällään edellisen lohkon kryptografisen tiivisteen. Nämä lohkon metatiedot luodaan automaattisesti jokaiselle lohkolle, joten niitä ei voi muokata ja siinä missä lohkon varsinainen sisältö voi vaihdella sovellustavan mukaan, metatiedot ovat universaaleja riippumatta lohkoketjun käyttötavasta. Jokainen lohko varmistaa siis edellisen lohkon ja kaikkien edeltävien lohkojen aitouden, joten lohkoketjun sisältöä muokataksaan täytyisi väärentää kyseisen lohkon lisäksi myös kaikki sitä edeltävät lohkot (Golosova & Romanovs, 2018).

Lohkoketjun tärkeimmät ominaisuudet ovat hajautettavuus, pysyvyys (persistence), anonymiteetti (anonymity), jäljitettavuus (traceability) ja sovellettavuus (applicability). Kryptografiset algoritmit ja konsensusalgoritmit (consensus algorithm) ovat tärkeimpiä osia lohkoketjun toteutuksessa, sillä ne mahdollistavat perinteisen keskitetyn mallin korvaamisen (Saadatmand & Daim, 2019). Konsensus on lohkoketjun solmujen yhteinen sopimus siitä, mitkä transaktiot hyväksytään ja mitkä hylätään. Konsensus saavutetaan konsensusalgoritmeilla (Patil et al., 2020). Hajautettavuus tekee lohkoketjusta kustannustehokkaamman ja parantaa datan konsistenssia (Saadatmand & Daim, 2019).

Puhdas lohkoketjujärjestelmä koostuu solmuista, jotka yhdessä muodostavat vertaisverkon (peer to peer network). Lohkoketjun solmut ovat nimettömiä ja sitä myöten tunnistamattomia eli anonymiä ja yleensä verkko ei paljasta osallistujien identiteettejä (Saadatmand & Daim, 2019). Vaikka solmut ovat nimettömiä, transaktiot voidaan kuitenkin jäljittää, sillä jokainen erillinen lohko pitää sisällään tiedon edellisestä lohkoista.

Tulevaisuuden kannalta kvanttikoneiden yleistyessä lähitulevaisuudessa lohkoketjuteknologia on pitkälti resistentti kvanttilaskennan vaikutuksille. Siinä missä järjestelmät, joissa käytetään salausalgoritmeja, etenkin symmetriset salausmenetelmät ja alle 128-bittiset salaustavat, ovat tulevaisuudessa nopeasti murrettavissa (*Kvanttilaskenta: Kvanttiturvallinen digitaalinen salaus, miksi ja miten?*, 2022), lohkoketjun käyttäessä tiivistefunktioita ketjun muodostamiseen, ei kvanttilaskennan avulla esimerkiksi voida helposti väärentää lohkoja.

3.2 Ongelmat

Vaikka lohkoketjulla on edellisessä kappaleessa esiteltyt hyödylliset ominaisuutensa, voivat ne myös kääntyä käyttäjänsä vastaan. Xu et al. (2016) toteavat julkaisussaan, että lohkoketjun ominaisuudet tekevät useat erilaiset hyökkäysmahdollisuudet mahdottomiksi, mutta toisaalta sen ominaisuudet kuten konsensusalgoritmien

käyttäminen ja anonymiteetti voivat tehdä siitä haavoittuvaisen muille hyökkäysmahdollisuuksille. Tällaisia hyökkäysmahdollisuuksia ovat muunmuassa niin kutsuttu 51% hyökkäys, digitaalisen identiteetin varastaminen ja rahanpesu (Xu, 2016).

51% hyökkäyksessä yksittäisellä lohkoketjun solmulla eli toimijalla on käytössään huomattavasti enemmän laskentatehoa verrattuna muihin solmuihin. Näin tehdessään solmu voi yksinään hyväksyä uusia lohkoja lohkoketjuun ja yliajaa muiden solmujen transaktiot ja näin ollen hallitsee täysin lohkoketjun sisältöä. Tälle hyökkäykselle ovat erityisen alttiita etenkin pienet lohkoketjuverkostot (Xu, 2016).

Xu et al.:n (2016) mukaan digitaalisen identiteetin varastamisen mahdollisuus taas perustuu siihen, että lohkoketjun toimijoiden identiteetti on säilötty yksityiseen avaimeen (private key), jonka avulla lohkoketjun transaktiot sidotaan toimijoihin. Jos avain varastetaan, kukaan ei sitä voi palauttaa, sillä kuten esimerkiksi pankkijärjestelmissä keskitetty taho valvoo väärinkäytöksiä, lohkoketjun hajautetun luonteen vuoksi yksikään kolmas taho ei voi korjata väärinkäytöksiä (Xu, 2016). Toisaalta, tällaiseen ongelmaan voidaan vastata käyttämällä keskitettyä avaimenhallintapalvelua autentikointia ja autorisointia varten, mutta silloin ei enää puhuta puhtaasti lohkoketjuteknologiaan perustuvasta järjestelmästä.

Lohkoketjua voidaan ajatella eräänlaisena tietokantana, mutta sitä ei tule käsitellä tavanomaisena tietokantana, kuten esimerkiksi relaatiotietokannat. Lohkoketjussa data on muuttumatonta, ellei sitä erikseen muuteta erillisellä transaktiolla. Muutetun datan lohko ja sen sisältö kuitenkin säilyvät ja tämä voi aiheuttaa ongelmia niin kustannusten, kuin juristien asioiden kanssa. Lohkoketjua ei tulisi käyttää sellaisen datan säilömiseen, jota joudutaan muuttamaan usein, koska lohkoketjun muutosoperaatiot ovat kalliita. Juridisia ongelmia voi tulla, kun vihamielinen toimija syöttää ketjuun laitonta tai muuten haitallista dataa. Tällainen väärinkäytön tapaus on tiedossa esimerkiksi Bitcoin-kryptovaluutan lohkoketjun kohdalla, jossa vihamielinen toimija on onnistunut säilömään Bitcoinin lohkoketjuun laitonta aikuisviihdemateriaalia (<https://internetofbusiness.com/bitcoin-blockchain-contains-illegal-porn-say-researchers/>). Toisaalta lohkoketjun muuttumatonta luonnetta voi olla mahdollista muuttaa muutettavammaksi käyttämällä niin kutsuttuja kameleonttitähtäysfunktioita (chameleon hash function), joiden avulla lohkoketjun lohkoihin voitaisiin tehdä muutoksia. Kameleonttitähtäysfunktioilla tarkoitetaan sellaisia kryptografisia tähtäysfunktioita, jotka pystyvät luomaan tähtäystörmäyksiä (hash collision), eli samoja tähtäysfunktioita eri syötteestä, tehokkaasti takaporttiavaimen (trapdoor key) avulla (Ashritha et al., 2019).

Yksityisyys on suuri huolenaihe kun on kyse toimitusketjun transaktioiden turvallisesta säilömisestä lohkoketjuun, sillä toimitusketjun data on saatavilla kaikille lohkoketjun solmuille (Wang et al., 2021). Suljetut lohkoketjut, kuten Hyperledger Fabric käyttävät omia menetelmiään salausta ja pääsynhallintaa varten, mutta julkiset lohkoketjut eivät itsessään suoraan tue sitä. Wang et al. (2021) esittävät julkaisussaan salaamista varten ratkaisuksi yksityisyysongelmaan attribuuttipohjaista salausta (Attribute-based Encryption, ABE), jonka ominaisuudet voivat yksinkertaistaa järjestelmän käyttäjien avainten hallintaa mahdollistamalla niin sanottujen attribuuttien käyttämisen pääsyavainten luomisessa. ABE:n etu on se, että sillä voidaan saavuttaa edistyneempi pääsynhallinta käyttäen hyväksi attribuutteja ja näin pääsy voidaan yksittäisten käyttäjien sijaan antaa erilaisille attribuuttien määrittämille ryhmille. Heikkona puolena on se, että nykyiset ABE-järjestelmät kuitenkin käyttävät usein keskitettyä

avaimenhallintajärjestelmää (Private Key Generator, PKG) (Wang et al., 2021).

3.3 Sovellustavat

Lohkoketjun ensimmäinen käyttötapa oli Bitcoin-kryptovaluutan mahdollistajana. Bitcoin-kryptovaluutan keksijä Satoshi Nakamoto valjasti lohkoketjuteknologian toimimaan maailman ensimmäisen kryptovaluutan perustana ja esitteli toimintaperiaatteen julkaisussaan vuodelta 2009 (Nakamoto, 2009). Bitcoinin jälkeen useat eri tahot ovat julkaisseet uusia kryptovaluuttoja, kuten esimerkiksi kryptovaluutta Ethereum. Kaikki kryptovaluutat eivät kuitenkaan perustu lohkoketjuteknologialle, kuten esimerkiksi IOTA (Korotkyi & Sachov, 2019).

Saadatmand & Daim (2019) mukaan siitä huolimatta, että lohkoketjuteknologiaa käytetään paljon kryptovaluutoiden toteutuksissa, sillä on paljon potentiaalia myös finanssimaailman ulkopuolella. Eräs potentiaalisimmista käyttötavoista ovat niin sanotut älykkäät sopimukset (smart contracts), jossa tarkoitus on vahvistaa osapuolten tekemät sopimukset algoritmilla ja tallentaa ne lohkoketjuun. Lohkoketjun soveltamisen hyödyt myös tässä sovellusmahdollisuudessa ovat parantunut jäljitettävyyttä, virheiden määrän vähentyminen sekä turvallisuus (Saadatmand & Daim, 2019).

Toinen jatkuvasti yleistynyt ja tämän tutkielman kannalta merkittävin lohkoketjuteknologian sovellustapa on käyttö erilaisten useammasta toimijasta koostuvien ja organisaatioiden välistä luottamusta vaativien prosessien seuraamisessa. Tällainen sovelluksen ala on esimerkiksi eri alojen toimitusketjut. Etenkin sovellusmahdollisuuksien merkitys maatalouden ja lääketeollisuuden alojen kohdalla on huomattava. Tästä lisää kohdassa 'Lohkoketjuteknologian mahdollisuudet toimitusketjuissa'.

3.4 Käytännön toteutusesimerkki lohkoketjuteknologiasta

Yksinkertainen käytännön esimerkki lohkoketjun toteutuksesta voidaan ohjelmoida esimerkiksi PHP:lla. Ydintoimintoja varten olio-ohjelmoinnin periaatteita noudattavassa toteutuksessa voidaan luoda luokat yksittäiselle lohkolle ja singleton-suunnittelumallin mukainen luokka lohkoketjulle. Lohkoketjun olio pitää sisällään eli koostuu taulusta lohko-luokan oliota.

Esimerkissä (<https://gitlab.com/juhojama/supblo>) (Jama, 2022) *Block*-luokan metodit toteuttavat lohkokokohtaiset toiminnallisuudet, kuten seuraavan lohkon sekä ensimmäisen lohkon eli niin sanotun ”genesis-lohkon” (genesis block) luomisen, sekä lohkon tiivistysten laskemisen. *Blockchain*-luokka taas pitää sisällään lohkoketjua koskevat metodit, sekä staattisen funktion singleton-suunnittelumallia varten.

Block-luokan metodista *calculateHash* nähdään, että lohkon tiivistettä varten tarvitaan lohkon metatietojen lisäksi myös lohkon hyötykuorman (payload) eli niin kutsutun sovelluskohtaisen datan. Näin ollen jos vihamielinen toimija yrittäisi muokata ketjun lohkon dataa, sen tiiviste muuttuisi ja seuraavan lohkon viittaus edelliseen lohkoon ei enää olisi oikea, vaan ketju katkeaisi ja olisi mitätöity.

Siinä missä esimerkkitoteutuksessa on perustavat toiminnot teoreettisen lohkoketjun luomista varten, se ei sovellu tuollaisenaan julkiseen käyttöön. Jotta lohkoketjuteknologiaa käyttävä ohjelmisto voidaan julkaista yleiseen käyttöön, täytyy

pitää huolta asianmukaisista suojaustoimista. Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on niin sanotun Proof of Work -algoritmin käyttö, jolla mitätöidään lohkojen muokkaamisen mahdollisuus ja kryptovaluuttojen kohdalla niin sanotun Double Spending -ilmiö (Nakamoto, 2009).

```
Array
(
    [0] => Supblo\Block Object
        (
            [index:Supblo\Block:private] => 0
            [previousHash:Supblo\Block:private] => 0
            [timestamp:Supblo\Block:private] => 1659369969
            [data:Supblo\Block:private] => stdClass Object
                (
                    [content] => genesis block
                )

            [hash:Supblo\Block:private] => d235f21778d67fc911e3a5f13b0427
f0819298abd6dc3c5f1acd0189dcac84d8
        )

    [1] => Supblo\Block Object
        (
            [index:Supblo\Block:private] => 1
            [previousHash:Supblo\Block:private] => d235f21778d67fc911e3a5f13b042
7f0819298abd6dc3c5f1acd0189dcac84d8
            [timestamp:Supblo\Block:private] => 1659369969
            [data:Supblo\Block:private] => stdClass Object
                (
                    [content] => This is the second block
                )

            [hash:Supblo\Block:private] => 9286083b605faf95cb660233d39cca
044621cb13b2daaec38e676e1e788df22a
        )

)
```

Esimerkki kahden lohkon lohkoketjusta, joista ensimmäinen on niin kutsuttu alkulohko, jonka metatiedoissa ei ole tietoa edellisen lohkon tiivistestä. Alkulohkoa seuraava lohko taas pitää metatiedoissaan tiedon edellisen lohkon tiivistestä. Esimerkki otettu toteutusesimerkin ohjelmiston tulosteesta.

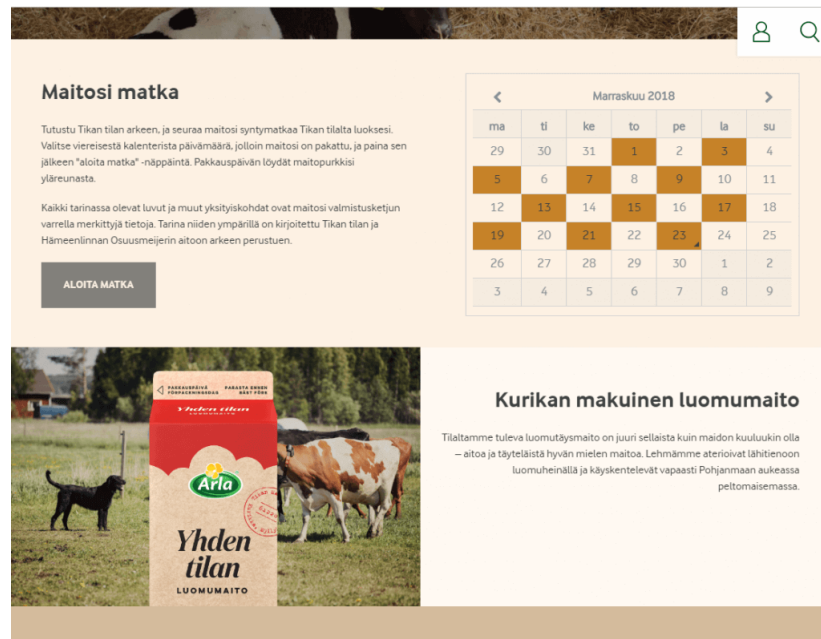
4 Toimitusketju

Toimitusketjulla tarkoitetaan prosessia, jossa raaka-aineet ja valmiit tuotteet toimitetaan tavarantoimittajalta asiakkaalle (Stevens, 1989). Laajemmin toimitusketju koostuu kahdesta tai useammasta laillisesti erillään olevasta organisaatiosta, jotka ovat yhteydessä toisiinsa materiaalien tai tiedon jakamisen kautta. Organisaatiot voivat olla esimerkiksi yrityksiä, jotka tuottavat osia tai komponentteja, joita taas toiset yritykset käyttävät lopputuotteiden eli asiakkaalle päätyvien tuotteiden tuottamiseen. Toimitusketjun oleellisia osia ovat myös logistiikka, joka toimittaa materiaalit seuraavalle organisaatiolle tai lopputuotteen kuluttajalle ja joissain tapauksissa ajatellaan myös itse kuluttajan olevan merkittävä osa toimitusketjua (Stadtler, 2008). Jokaisen toimitusketjun tarkoitus on minimoida raaka-aineiden ja tuotteiden ketjun kulut ja näin maksimoida yleisesti toimitusketjun aikana asiakkaalle luodun arvon (supply chain surplus) suhde kuluihin (Chopra & Meindl, 2001). Toimitusketjujen monimutkaistettua ja laajennettua, myös hyökkäykset toimitusketjuja vastaan ovat yleistyneet (Johny & Priyadharsini, 2021).

Toimitusketjun hallintaan liittyy nykyään paljon erilaisia järjestelmiä, kuten esimerkiksi sen avuksi kehitetyt toimitusketjunhallintajärjestelmät. Elektronisesta toimitusketjujen hallinnasta on tullut äärimmäisen tärkeä osa nykyaikaisten yritysten toimintaa (Somapa et al., 2018). Toimitusketjun hallintajärjestelmien (Supply Chain Management Systems, SCM) tarkoitus on integroida yhteen eri osapuolet, kuten tavarantoimittajat, tavarantuottajat ja asiakkaat. Näin saavutetaan parempi tehokkuus niin yksittäisten yritysten kohdalla kuin myös koko toimitusketjun osalta (Chopra & Meindl, 2001). Toimitusketjun organisaatioiden välinen integraatio on merkittävä kilpailuetu toimitusketjun tehokkuuden suhteen ja sen takia tehokas toimitusketjunhallintajärjestelmä on tärkeä osa toimitusketjun toimivuutta (Stadtler, 2008).

Jäljitettävyys (traceability), läpinäkyvyys (transparency) ja näkyvyys (visibility) ovat nousseet keskeisiksi tiedonjaon kulmakiviksi toimitusketjun hallinnassa (Somapa et al., 2018). Näiden käsitteiden määritelmät usein jäävät kuitenkin vajavaisiksi, osittain koska käsitteitä käytetään usein kirjallisuudessa sekaisin (Papert et al., 2016). Toimitusketjun näkyvyydellä tarkoitetaan sitä, missä määrin toimitusketjun sisällä olevilla toimijoilla on pääsy toimitusketjun kaikille toimijoille hyödyllisiin avaintietoihin (Barratt & Oke, 2007). Näkyvyys ei siis ole yksioikoinen arvo, vaan arvojen skaala, joka kertoo kuinka näkyvää toimitusketjun toiminta on (Barratt & Oke, 2007). Käytännössä näkyvyys mittaa sitä, kuinka hyvin tuotantoketjun eri toimijat jakavat tietoa toiminnastaan toisilleen ja sillä tavoitellaan tehokkaampia toimitusketjun prosesseja (Somapa et al., 2018). Jäljitettävyydellä taas tarkoitetaan mahdollisuutta selvittää tuotteiden ja raaka-aineiden alkuperä ja mahdollisesti myös muita tietoja tuotantoympäristöstä, kuten tietoa työskentelyolosuhteista, sijainneista, lämpötiloista ja muista sensoreilla mitattavista arvoista (Somapa et al., 2018). Toimitusketjun hyvä jäljitettävyys on tärkeää esimerkiksi tapauksissa, joissa tuote-erästä löytyy virhe tai kun tuotteen alkuperä täytyy pystyä varmistamaan esimerkiksi eettisten kysymysten vuoksi, kuten esimerkiksi tuotteiden väärentäminen, työntekijöiden työskentelyolot ynnä muut. Yksi jäljitettävyuden mahdollistaja on tuotantoketjun läpinäkyvyys, joka kuvastaa sitä, kuinka hyvin jäljitettävyys toteutuu tuotantoketjussa. Toimitusketjun läpinäkyvyys kertoo siitä, kuinka luotettavasti ja kattavasti tuotantoketjun prosesseista ja materiaaleista voidaan hakea tietoa ja kuinka helposti tieto on kuluttajien saatavilla. Hyvin toteutettu

toimitusketjun läpinäkyvyys voisi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kuluttaja voisi tarkistaa ostamansa elintarviketuotteen raaka-aineen alkuperän ja muita tietoja esimerkiksi elintarvikkeen tuotantoon liittyvistä asioista selaimella käytettävän verkkopalvelun kautta. Eräs kotimainen käytännön esimerkki tällaisesta verkkopalvelusta on Empirica Oy:n toteuttama Arlan Maitoketju (<https://www.empirica.fi/arla-maitoketju-tuo-lapinakyvytta-maidon-toimitusketjuun/>). Palvelusta asiakas voi ostamansa maitopurkin tiedot syöttämällä nähdä tietoja maidontuotannon prosesseista, kuten miltä tilalta maito on ja minkälaisia asioita tilalla ja muussa tuotantoketjussa on tapahtunut kyseisen maitoerän tuotannon aikana.



Maitosi matka

Tutustu Tikan tilan arkeen, ja seuraa maitosi syntymatkaa Tikan tilalta luoksesi. Voitse viereisestä kalenterista päivämäärä, jolloin maitosi on pakattu, ja paina sen jälkeen "aloita matka" -näppäintä. Pakkauspäivän löydät maitopurkkisi yläreunasta.

Kaikki tarinassa olevat luvut ja muut yksityiskohdat ovat maitosi valmistusketjun varrella merkittyjä tietoja. Tarina niiden ympärillä on kirjoitettu Tikan tilan ja Hämeenlinnan Osuusmeijerin aitoon arkeen perustuen.

ALOITA MATKA

Marraskuu 2018						
ma	ti	ke	to	pe	la	su
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	1	2
3	4	5	6	7	8	9

Yhden tilan LUOMUMAITO

Kurikan makuinen luomumaito

Tilaltamme tuleva luomutäysmaito on juuri sellaista kuin maidon kuuluikin olla – aitoa ja täyteläistä hyvän mielen maitoa. Lehmämme aterioivat lähitienoon luomuheinällä ja käyskentelevät vapaasti Pohjanmaan aukeassa peltomaisemassa.

Figure 1: Selaimesta otettu kuvakaappaus loppukäyttäjän näkymästä Arlan Maitoketjusta

5 Lohkoketjuteknologian toimitusketjuissa

mahdollisuudet

Lohkoketjuteknologia on urauurtava ja useiden eri alojen toimintatapoja mullistava teknologia edellä mainittujen ominaisuuksien vuoksi (Saadatmand & Daim, 2019), joten sen hyödyntäminen toimitusketjujen toiminnassa voi tulevaisuudessa tehdä suuria muutoksia eri alojen toimintaan. Lohkoketjuteknologiaa hyödyntämällä toimitusketjuissa, voitaisiin vähentää esimerkiksi valelääkkeiden liikkumista toimitusketjussa, estää haitallisten lääkkeiden päätyminen asiakkaiden käyttöön (Johny & Priyadharsini, 2021) ja vähentää korruptiota esimerkiksi maailmanlaajuisissa kuljetusketjuissa (Sarker et al., 2021). Maailmanlaajuisista kuljetustoimialaa koskevan tutkimuksen mukaan lohkoketjua voidaan käyttää työkaluna korruption kitkemiseksi (Sarker et al., 2021). Aikaisemmin korruptiota vastaan on käytetty juridisia keinoja, mutta jatkuvasti kehittyvät digitaaliset resurssit tulevat olemaan suurena apuna prosesseja ja asiakirjoja koskevien väärinkäytösten vähentämisessä.

Vaikka teoriassa lohkoketjuteknologian hyödyt toimitusketjun toimivuuden parantamisessa ovat hyvin selkeät, on toimitusketjujen ala kuitenkin nuori sovelluksen ala lohkoketjuteknologian osalta (Perboli et al., 2018). Tutkimuksessaan Perboli et al. (2018) esittävät myös, että siinä missä kirjoitettu tieto lohkoketjusta finanssimaailman ulkopuolelta on vajaavaista, niin on myös ehdotetut strategisen tason ratkaisut maatalouden alalla. Useat julkaisut esittävät näin ollen lohkoketjuteknologiaa hyödyntäviä teorialaisten ratkaisuja, mutta useimmissa niissä teoriaa ei ole viety käytännön tasolle. Kappaleeseen *Kehykset ja suunnittelumallit toteutuksen apuna* on koottu ratkaisumalleja, joissa esitettyä teoriaa on myös sovellettu käytännön toimintaympäristöissä ja joiden pohjalta on rakennettu organisaatioiden tarpeita täyttäviä järjestelmiä.

5.1 Ongelmat

Siinä missä lohkoketju on hyvä tapa lisätä toimitusketjun jäljitettävyyttä ja varmistua tiedon säilyvyydestä, se ei välttämättä yksinään ratkaise tuotantoketjun toimijoiden välisiä luottamusongelmia (Malik et al., 2019). Toimitusketjun toimija voi esimerkiksi syöttää lohkoketjuun virheellistä dataa ja tähän lohkoketjuteknologia itsessään ei ole ratkaisu, koska lohkoketjuun syötetylle datalle voidaan taata korkeintaan lohkon sisältämän datan muuttumattomuus. Tällainen väärinkäytön mahdollisuus voi olla esimerkiksi kalatalouden tuotantoketjussa, jossa kalastajat työskentelevät itsenäisesti ja usein ilman valvontaa (Wang et al., 2021). Tiedon oikeellisuuden varmistus täytyy siis tehdä muilla keinoilla. Malik et al. esittävät paperissaan (Malik et al., 2019) toimijoiden väliseen luottamusongelmaan ratkaisuksi palkinto- ja vastuullisuusjärjestelmää, joka palkitsee luottamuksen arvoisia toimijoita. Lohkoketjuteknologiaa ei tässä mielessä voida ajatella minkäänlaisena hopealuotina, joka ratkaisee kaikki ongelmat, vaan sen rinnalle tarvitaan mm. edellä mainitusta syystä muita järjestelmiä ja ratkaisuja paikkaamaan sen puutteet.

Julkaisussa (Wang et al., 2021) esitetyssä BE-FAQT -järjestelmässä (Blockchain-Enabled Fish Provenance and Quality Tracking) he esittävät ratkaisuksi kalastusaluksilla tapahtuviin väärinkäytöksiin tuotantoketjun kalaerien tiedoissa olevien kalastajan älypuhelimella ottamien kuvien hyödyntämistä, sekä IoT-laitteiden (Internet of Things) sensorien luomaa dataa ja näin ollen tuotantoketjuun syötettyä jäljitettävyyss-

sekä laadunvalvontainformaatiota olisi vaikeampi väärentää. Samalla käyttämällä sensorien dataa vähennetään manuaalista työtä ja saadaan tarkempaa tietoa elintarvikkeiden matkasta ruokapöytään. BE-FAQT -järjestelmässä kalastusaluksella tapahtuva toiminta saaliin pyynnin jälkeen on seuraavanlainen: kalastajat ottavat kuvan saaliista ja linkittävät kuvat lukemalla NFC-merkin, josta selviää kalan tunnistetiedot. Kuvista, saaliin saantiajasta, sijainnista ja muista kalan alkuperätiedoista muodostetaan sitten tiivistetieto ja data säilötään IoT-lohkoketjuun. Saaliin paikkatiedon lisäksi BE-FAQT -järjestelmä tallentaa paikkatiedot myös kalanreitistä mereltä kauppapaikalle saakka laatikoissa olevien GPS-jäljitinlaitteiden avulla.

5.2 Lohkoketjukehukset ja arkkitehtuurit

Lohkoketjupohjaiset järjestelmät koostuvat usein keskitetyistä osista, kuten web-palvelimista ja hajautetuista osista, kuten lohkoketjut itse. Wessling et al. (2019) mukaan tällaisen osittain hajautetun järjestelmän suunnittelussa on yhtenä haasteena määrittellä se, mitkä osat tulisi olla keskitettyjä ja mitkä hajautettuja. Lohkoketjujärjestelmien toteutuksen suunnittelun tuloksena syntyvistä ohjelmistotuotannon ei-toiminnallisista vaatimuksista kuten turvallisuudesta ja kulujen hallinnasta ei ole vielä myöskään kattavaa tietoa: siinä missä keskitettyjen järjestelmien arviointiin on useita lähestymistapoja, tutkimus hajautettujen järjestelmän osien kohdalla on hyvin aikaisessa vaiheessa (Wessling et al., 2019).

Wessling et al. (2019) esittävät julkaisussaan ratkaisuksi lohkoketjujärjestelmien suunnitteluongelmaan uudenlaista lohkoketjuorientoitunutta (blockchain-oriented) näkökulmaa ja ideaa ohjelmistoarkkitehtuurisista lohkoketjutaktiikoista (blockchain tactics). Esitettyjen lohkoketjutaktiikoiden olisi tarkoitus antaa suuntalinjat esimerkiksi lohkoketjuteknologian tuomiseen olemassa olevaan järjestelmään (Wessling et al., 2019). Julkaisussa esitellyssä mallissa prosessi lohkoketjuteknologian tuomisesta osaksi järjestelmää voidaan jakaa neljään eri tapahtumaan. Ensimmäinen tapahtuma on niin sanottu stimulantti, jossa määritellään mikä on projektin päämäärä. Määritelty päämäärä voi olla esimerkiksi se, että projektin jälkeen järjestelmästä on tehty vähemmän keskitetty ja lisätty hajautettavia komponentteja. Seuraavat vaiheet ovat Wessling et al:n (2018) esittämät lohkoketjutaktiikat: arkkitehtuurinen suunnitteluvaihe (Wessling et al., 2018) ja toteutusvaihe (Wessling et al., 2019). Wessling et al. (2019) mukaan arkkitehtuuriseen suunnitteluvaiheeseen kuuluu prosessi, jossa tehdään arkkitehtoninen luonnos ottaen huomioon järjestelmän sidosryhmät, heidän luottamussuhteensa ja kuinka he ovat yhteydessä toisiinsa. Lopullinen päämäärä on luoda arkkitehtoninen suunnitelma, jossa on otettu huomioon lohkoketjun ominaisuudet ja tasapainotettu hajautetut ja keskitetyt järjestelmän osat ja näin ollen minimoitu järjestelmän kustannukset. Toteutusvaihetta varten Wessling et al. (2019) ehdottavat käyttötapausten laatimista, joita käytetään käyttökustannusten simuloimista varten erilaisissa älysovimusten käytännön toteutuksissa. Kustannusten tunnistaminen on tärkeää lohkoketjuteknologiaa käyttävissä toteutuksissa niin ylläpidon osalta kuin myös muista ohjelmistokehityksen välivaiheista, kuten suunnittelun ja kehitystyön osalta (Rimba et al., 2017).

Wessling et al. (2019) esittävät julkaisussaan myös käytännön kokeen, jonka tarkoitus on näyttää kuinka erilaiset suunnitteluratkaisut ja suunnittelumallien käyttö vaikuttaa älysovimuksen toimintaan. Erityisesti kokeen tarkoitus on havainnollistaa, kuinka transaktioiden kustannus ja algoritmin suorituksen kustannus voivat vaihdella riippuen ohjelmiston suunnitteluratkaisusta. Esimerkkinä Wessling et al. (2019) käyttävät

kokeessaan Ethereum-lohkoketjua, jossa transaktion kustannus koostuu kiinteästä määrästä niin kutsuttua bensaa (gas), sekä muuttuvasta suorituskustannuksesta. Ethereumin bensalla tarkoitetaan valuuttaa, jota maksetaan aina, kun lohkoketjuun tehdään muutoksia. Bensa vastaa murto-osaa lohkoketjuun liittyvää valuttaa ja voidaan näin ollen ajatella olevan oikeaa rahaa (Marchesi et al., 2020). Kustannus on suoraan riippuvainen älysovimuksen algoritmin kompleksisuudesta (Wessling et al., 2019). Kokeessa kävi ilmi, että olio-ohjelmoinnin suunnittelumalleihin kuuluvaa observer-suunnittelumallia käyttämällä tietyissä käyttötapauksissa saadaan aikaan merkittävä säästö bensa-kulutuksessa (Wessling et al., 2019).

5.3 Kehykset ja suunnittelumallit toteutuksen apuna

Ohjelmoinnin suunnittelumalleilla tarkoitetaan yleensä kuvausta yhdessä toimivista luokista, jotka muodostavat yleisesti tiedossa olevan ratkaisun yleiseen ohjelmistosuunnittelun ongelmaan (Tsantalis et al., 2006). Suunnittelumalleilla pyritään siis luomaan todistetusti toimivia, uudelleenkäytettäviä ratkaisuja ohjelmistotuotannon avuksi. Suunnittelumalleja käyttämällä säästetään siis aikaa ja resursseja, kun jokaiseen ongelmaan ei tarvitse etsiä ratkaisua erikseen. Suunnittelumallien käyttö lisää myös koodikannan luettavuutta ja ylläpidettävyyttä (Wessling et al., 2019). Tähän kappaleeseen on koottu erilaisia suunnittelumalleja liittyen ohjelmistoratkaisuihin, joissa on käytetty lohkoketjuteknologiaa osana järjestelmän toimintaa.

Dennis Lamken et al. (2021) esittävät tutkimuksessaan suunnittelumallin nimeltään Blockchain Data Management (BCDM), jonka tarkoitus on tarjota metamalli lohkoketjun lohkojen hyötykuorman sisällölle, työkalut lohkoketjun päällä toimivalle logiikalle (chain code) lohkon datan käsittelyä varten, sekä REST-periaatteiden mukaisen rajapintamallin muiden järjestelmien integraatiota varten toimitusketjujärjestelmään (Lamken et al., 2021). BCDM-mallia on käytetty käytännön konseptitodistuksen luomiseksi NutriSafe-tutkimusprojektin (<https://www.nutrisafe.de/en/>) alaisuudessa, jonka tarkoitus on tehdä ruoantuotannosta ja ruokalogistiikasta kestävämpää käyttäen Distributed Ledger -teknologiaa (DLT). Nutrisafe-projektiin liittyen on julkaistu useita BCDM:n pohjalta tehtyjä avoimen lähdekoodin projekteja, jotka ovat saatavilla Githubissa OTARIS-nimisen yrityksen alla osoitteessa <https://github.com/OTARIS/>.

Yleisesti lohkoketjuteknologian käyttäminen tuotantoketjun tukijärjestelmässä vaatii sen, että tuotantoketjun osa-alueista, kuten tuotteista ja raaka-aineista, luodaan digitaalinen kaksonen (digital twin) lohkoketjuun (Lamken et al., 2021). Digitaalisella kaksosella tarkoitetaan järjestelmään mallinnettua oikean maailman digitaalista verrokkia (Tao et al., 2019). Digitaalisten kaksosten lisäksi on tärkeää voida tallentaa lohkoketjun transaktioihin tieto digitaalisten kaksosten relaatioista toisiinsa. Esimerkin vuoksi voidaan tehdä karkea katsaus juustontuotannon ketjun toiminnasta: maidontuottajan maitoerästä luodaan järjestelmään digitaalinen kaksonen. Maito kuljetetaan juustontuottajalle, jossa juustoerälle luodaan myös digitaalinen kaksonen ja liitetään mukaan tieto siitä, mitä maitoerää juuston tekemisessä on käytetty. Näin saadaan toteutettua raaka-aine-erien jäljitettävyyttä eteen- ja taaksepäin (Lamken et al., 2021). Lamken et al.:n BCDM-ratkaisussa tällaiset digitaaliset kaksokset ja niiden väliset relaatiot on toteutettu niin, että tuotantoketjun tuottajat voivat tallentaa lohkoketjuun uusia malleja tuotteista, sekä luoda relaatioita prosessissa lisäämällä lohkoketjuun uusia tapahtumia. Käytännössä tämä mahdollistaa esimerkiksi tuote-erän takaisinvedon, kun huomataan esimerkiksi, että raaka-aine-erä ei ole ollut vaadittujen laatuvaatimusten

veroinen (Lamken et al., 2021).

Toinen ruokatuotannon toimitusketjuun liittyvä lohkoketjupohjainen kehys on Bruschetta, jonka tarkoitus on tehdä mahdolliseksi extraneitsyt oliiviöljyn tuotannon jäljitettävyyks ja tuotteen aitouden varmistus (Arena et al., 2019). Bruschettaan tallennetaan tiedot oliiviöljyn koko tuotantoketjusta maatilalta valmiiksi tuotteeksi jäljittämistä varten, sillä italialainen extraneitsyt oliiviöljy on usein väärennyksen kohteena. Bruschettan tarkoitus on tarjota loppuasiakkaalle mahdollisuus nähdä tuotteen elinkaaren historia käsittäen niin maanviljelyn, tuotannon, kuin logistiikankin (Arena et al., 2019). Bruschettassa on samanlaisuuksia Arlan maitokolmion kanssa, sillä se tarjoaa samankaltaiset ominaisuudet web-käyttöliittymän kautta loppuasiakkaille ja järjestelmän keskiössä on lohkoketju, johon tuotantoketjun tiedot tallennetaan.

Arena et al.:n (2019) julkaisussa esitetty Bruschetta-järjestelmä käyttää tuotantoketjun toimintojen tietojen keräämiseen myös IoT-teknologioita. Sensoreita käytetään laadunvarmistuksen tietojen keräämiseen ja kerättyjä tietoja tallennetaan lohkoketjuun (Arena et al., 2019). Bruschettan lohkoketjutoiminnallisuudet on rakennettu Hyperledger Fabric -projektin päälle, joka on avoimen lähdekoodin suljettu lohkoketjujärjestelmä (permissioned blockchain). Suljettu lohkoketjujärjestelmä tarkoittaa sitä, että se ei ole julkisesti saatavilla, kuten esimerkiksi Bitcoinin lohkoketju.

Kalatalouden saralla Wang et al. (2021) esittävät oman ratkaisunsa, Sydney Fish Marketin kanssa toteutetun järjestelmän nimeltään BE-FAQT. Sydney Fish Market on maailman kolmanneksi suurin kalan kauppapaikka ja siinä mielessä merkittävä kohde luoda järjestelmiä tukemaan jäljitettävyyttä ja laaduntarkkailua. BE-FAQT -järjestelmän arvonluonti tapahtuu sen tekemän laaduntarkkailun ja kalan alkuperän seurannan kautta. Wang et al.:n (2021) mukaan BE-FAQT -järjestelmän avulla kuluttajat voivat varmistaa kalan vahvistetun alkuperän, laadun ja kestävä kalastuksen periaatteiden mukaisen tiedon. Kestävä kalastus on jossain määrin vaikea käsite ja joidenkin mukaan sellaista kuin kestävä kalastus ei ole olemassakaan, johtuen kalakantojen säännönmukaisuudesta, mutta se aihe on tämän tutkielman ulkopuolella. Laaduntarkkailua varten Wang et al. (2021) esittävät julkaisussaan joukon erilaisia IoT-ratkaisuja, joissa he ovat hyödyntäneet muunmuassa konenäköä ja konehajuista. BE-FAQT -järjestelmässä arvonluontia tapahtuu myös muille kuin loppuasiakaille: kalastajat voivat järjestelmän kautta saada palautetta kalojen laadusta ja näin parantaa kalastuskäytäntöjään, sekä kalatuotannon säännöstelytahoit voivat käyttää järjestelmään tallennettua dataa velvollisuuksiensa hoitamiseen tehokkaammin.

Julkaisussaan Wang et al. (2021) esittävät kalatalouden toimitusketjuun perustuvat toiminnalliset vaatimukset. Toimitusketju tässä tapauksessa on aika tyypillinen: ketju alkaa kalastuksesta lähirannoilla, sen jälkeen saalis pakataan astioihin ja astioihin printataan tarrat, joista saalis eli kalaerä ja sen tiedot voidaan tunnistaa. Sen jälkeen kalat jäädytetään ja säilytetään kylmiöissä, jonka jälkeen ne viedään kauppapaikalle myytäväksi. Kauppapaikalla ostajat ja henkilökunta voivat tarkastella kalaerän tietoja astioihin tulostetuista tarroista. Toimitusketjuun osallistuvilla tahoilla on seuraavanlaisia vaatimuksia BE-FAQT -järjestelmää varten: kalastajat haluavat palautetta kauppapaikalta, ostajat ja kuluttajat haluavat luoda kannustimen hyviä kalastuskäytäntöjä ja laadukasta kalaruokaa varten. Yhteistyöyritykset ja kauppapaikka haluavat vähentää mahdollista kalatuotteiden hävikkiä ja tehdä toimitusketjusta tehokkaamman. Kirjanpitoyritykset ja maan hallitus taas haluvat luotettavaa tietoa toimitusketjusta auditointia ja säännöstelyä varten. Ostajat ja kuluttajat haluavat myös

helpon pääsyn luotettavaan kalan alkuperäaineistoon. Näiden vaatimusten pohjalta BE-FAQT on toteuttanut neljä tärkeää ominaisuutta järjestelmään: reaaliaikaisen kalan laadunvalvonnan ja seurannan, riippumattoman ja luotettavan tavan mitata kalan laatua, luotetun alustan kalojen alkuperän todentamista varten, sekä yksityisyyttä kunnioittavan pääsynhallinnan käyttäen attribuuttipohjaista salausta (Wang et al., 2021). BE-FAQT -järjestelmän demonäkymä on kaikille nähtävillä osoitteessa <https://www.befaqt.com/SFMBBoxes/byId/0345579444>. Näkymästä voidaan nähdä kuva saaliista, konenäkö- sekä hajuarvosanat, kalan matka kauppapaikalle esitettynä kartalla, sekä mm. IoT-laitteiden mittaamat arvot esitettynä kronologisesti.

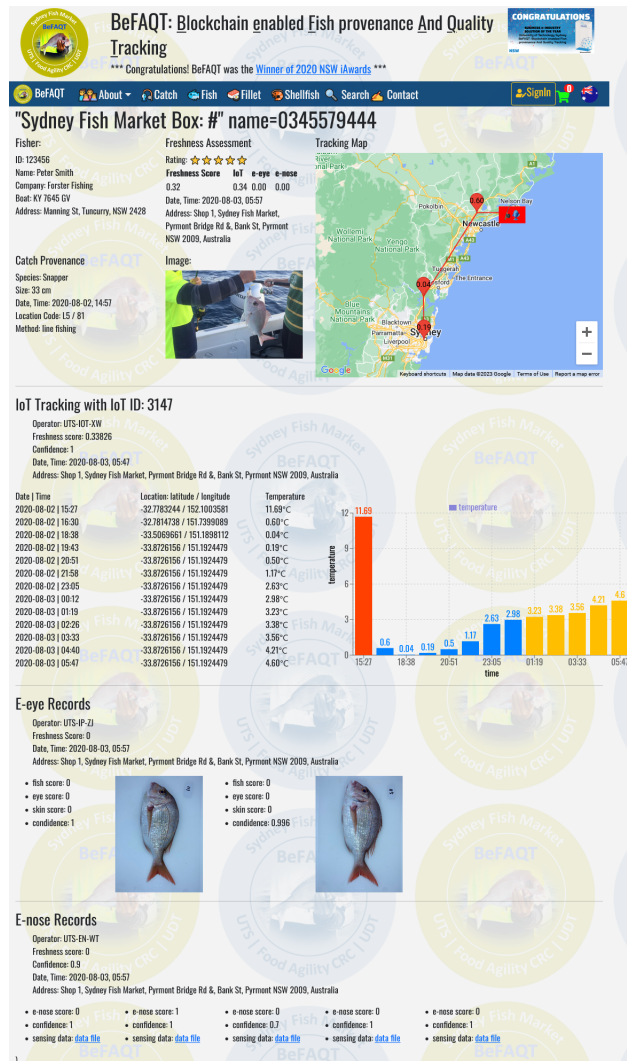


Figure 2: Selaimesta otettu kuvakaappaus loppukäyttäjän näkymästä BE-FAQT -järjestelmästä

6 Yhteenveto

Tämän tutkielman tarkoitus oli esitellä lohkoketjuteknologian hyödyntämisen mahdollisuudet osana toimitusketjujen toimintaa ja tarkemmin, kuinka sen avulla voidaan tukea toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä. Tutkielmassa käytiin läpi lohkoketjuteknologian peruseriaatteen, sekä käytännön esimerkki, jossa on toteutettuna yksinkertaistettu lohkoketjua käyttävä ohjelma. Tutkielmassa esiteltiin myös aikaisemmin tehtyjä lohkoketjua käyttäviä tuotantoketjunhallintajärjestelmiä ja tehtiin katsaus lohkoketjujärjestelmää käyttävien tuotantoketjun järjestelmien toteuttamiseen liittyviin ohjelmistoteknillisiin kysymyksiin, kuten ohjelmistoarkkitehtuureihin ja suunnittelumalleihin.

Tutkielman perusteella voidaan todeta, että lohkoketjuteknologian käyttäminen tuotantoketjujen järjestelmien tukena on potentiaalinen ratkaisu niin teoriassa, kuin myös käytännössä. Käytännön toteutuksia ja julkaisuja niihin liittyen on olemassa, mutta toistaiseksi suhteellisen vähän verrattuna siihen, että kuluttajien tietoisuus mm. toimitusketjujen eettisyydestä on jatkuvassa nousussa. Käytännön toteutusten puute kertoo myös siitä, että ohjelmistoteknillisiä käytäntöjä esimerkiksi ohjelmistoarkkitehtuurien ja suunnittelumallien suhteen on luotu ainakin toistaiseksi hyvin vähän. Kuitenkin kun otetaan huomioon tutkielmassa käytetyt lähteet, voidaan nähdä, että tutkimuksen määrä tutkielman aiheen osalta on jatkuvasti nousussa ja vaikka tutkimus aiheesta on nuorta, sitä tehdään jatkuvasti.

Tutkimus tämän aiheen ympärillä on merkityksellistä, koska toimitusketjujen hallintajärjestelmien kehittämistä tarjoamaan läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä tarvitaan, sillä on tärkeää varmistaa, että toimitusketjun toiminta on luotettavaa, rehellistä ja avointa. Tämä lisää luottamusta ja uskottavuutta sekä asiakkaiden että sidosryhmien keskuudessa. Lisäksi se auttaa vähentämään väärennöksiä ja laittomuuksia, kuten esimerkiksi laittoman puun hankintaa ja mahdollistaa tuotteiden ja raaka-aineiden alkuperän seuraamisen. Toimitusketjujärjestelmät tarjoavat myös tehokkaan ja tarkan hallinnan tarvittavista toimituksista ja varastoista, mikä parantaa yrityksen suorituskykyä ja tehokkuutta. Läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä tukevan toimitusketjujen toiminnasta vastaavien järjestelmien kehittämisen pääasialliset hyödyt ovat siis rehellisen ja vastuullisen toiminnan ylläpito, sekä organisaatioiden yritysten kilpailukykyyn parantaminen.

References

- Arena, A., Bianchini, A., Perazzo, P., Vallati, C. & Dini, G. (2019). Bruschetta: An iot blockchain-based framework for certifying extra virgin olive oil supply chain. *2019 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, 173–179. <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2019.00049>
- Ashritha, K., Sindhu, M. & Lakshmy, K. (2019). Redactable blockchain using enhanced chameleon hash function. *2019 5th International Conference on Advanced Computing Communication Systems (ICACCS)*, 323–328. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728524>
- Asyrofi, R. & Zulfa, N. (2020). Cloudity: Cloud supply chain framework design based on jugo and blockchain. *2020 6th Information Technology International Seminar (ITIS)*, 19–23. <https://doi.org/10.1109/ITIS50118.2020.9321013>
- Barratt, M. & Oke, A. (2007). Antecedents of supply chain visibility in retail supply chains: A resource-based theory perspective [Supply Chain Management in a Sustainable Environment Special Issue on Frontiers of Empirical Supply Chain Research]. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1217–1233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.003>
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M. & Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: A practical implementation. *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IOT-TUSCANY.2018.8373021>
- Chopra, S. & Meindl, P. (2001). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Prentice Hall. <https://books.google.fi/books?id=gd22AAAAIAAJ>
- Golosova, J. & Romanovs, A. (2018). The advantages and disadvantages of the blockchain technology. *2018 IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/AIEEE.2018.8592253>
- Jama, J. (2022). Blockchain implementation in php [Accessed: 2022-03-30].
- Johny, S. & Priyadharsini, C. (2021). Investigations on the implementation of blockchain technology in supplychain network. *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 1, 1–6.
- Korotkyi, I. & Sachov, S. (2019). Hardware accelerators for iota cryptocurrency. *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 832–837. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783449>
- Kvanttilaskenta: Kvanttiturvallinen digitaalinen salaus, miksi ja miten? (2022). <https://vimeo.com/715164098/a400ae837a>
- Lamken, D., Wagner, T., Hoiss, T., Seidenfad, K., Hermann, A., Kus, M. & Lechner, U. (2021). Design patterns and framework for blockchain integration in supply chains. *2021 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICBC51069.2021.9461062>
- Malik, S., Dedeoglu, V., Kanhere, S. S. & Jurdak, R. (2019). Trustchain: Trust management in blockchain and iot supported supply chains. *2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, 184–193. <https://doi.org/10.1109/Blockchain.2019.00032>
- Marchesi, L., Marchesi, M., Destefanis, G., Barabino, G. & Tigano, D. (2020). Design patterns for gas optimization in ethereum. *2020 IEEE International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE)*, 9–15. <https://doi.org/10.1109/IWBOSE50093.2020.9050163>

- Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Cryptography Mailing list at <https://metzdowd.com>*.
- Papert, M., Rimpler, P. & Pflaum, A. (2016). Enhancing supply chain visibility in a pharmaceutical supply chain: Solutions based on automatic identification technology. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Patil, A. P., Karkal, G., Wadhwa, J., Sawood, M. & Dhanush Reddy, K. (2020). Design and implementation of a consensus algorithm to build zero trust model. *2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/INDICON49873.2020.9342207>
- Perboli, G., Musso, S. & Rosano, M. (2018). Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. *IEEE Access*, 6, 62018–62028. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2875782>
- Rimba, P., Tran, A. B., Weber, I., Staples, M., Ponomarev, A. & Xu, X. (2017). Comparing blockchain and cloud services for business process execution. *2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA)*, 257–260. <https://doi.org/10.1109/ICSA.2017.44>
- Roy, V. (2021). Contrasting supply chain traceability and supply chain visibility: Are they interchangeable? *The International Journal of Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2020-0214>
- Saadatmand, M. & Daim, T. (2019). Blockchain technology through the lens of disruptive innovation theory. *2019 IEEE Technology Engineering Management Conference (TEMSCON)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813566>
- Sarker, S., Henningsson, S., Jensen, T. & Hedman, J. (2021). The use of blockchain as a resource for combating corruption in global shipping: An interpretive case study. *Journal of Management Information Systems*, 38(2), 338–373. <https://doi.org/10.1080/07421222.2021.1912919>
- Somapa, S., Cools, M. & Dullaert, W. (2018). Characterizing supply chain visibility—a literature review. *The International Journal of Logistics Management*.
- Stadtler, H. (2008). Supply chain management — an overview. In H. Stadtler & C. Kilger (Eds.), *Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software, and case studies* (pp. 9–36). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74512-9_2
- Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19(8), 3–8. <https://doi.org/10.1108/EUM00000000000329>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A. & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- Tsantalis, N., Chatzigeorgiou, A., Stephanides, G. & Halkidis, S. T. (2006). Design pattern detection using similarity scoring. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 32(11), 896–909. <https://doi.org/10.1109/TSE.2006.112>
- Verbeke, W., Vanhonacker, F., Sioen, I., Camp, J. V. & Henauw, S. D. (2007). Perceived importance of sustainability and ethics related to fish: A consumer behavior perspective. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(7), 580–585. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[580:PIOSAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[580:PIOSAE]2.0.CO;2)
- Verdouw, C., Sundmaeker, H., Meijer, F., Wolfert, S. & Verhoosel, J. (2012). Smart agri-food logistics: Requirements for the future internet. *Conference Proceedings: 3rd International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2012)*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35966-8_20

- Wang, X., Yu, G., Liu, R. P., Zhang, J., Wu, Q., Su, S., He, Y., Zhang, Z., Yu, L., Liu, T., Zhang, W., Loneragan, P., Dutkiewicz, E., Poole, E. & Paton, N. (2021). Blockchain-enabled fish provenance and quality tracking system. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3109313>
- Wessling, F., Ehmke, C., Hesenius, M. & Gruhn, V. (2018). How much blockchain do you need? towards a concept for building hybrid dapp architectures. *2018 IEEE/ACM 1st International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB)*, 44–47.
- Wessling, F., Ehmke, C., Meyer, O. & Gruhn, V. (2019). Towards blockchain tactics: Building hybrid decentralized software architectures. *2019 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)*, 234–237. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C.2019.00048>
- Xu, J. (2016). Are blockchains immune to all malicious attacks? *Financial Innovation*, 2. <https://doi.org/10.1186/s40854-016-0046-5>
- Zhu, S., Song, J., Hazen, B., Lee, K.-B. & Cegielski, C. (2018). How supply chain analytics enables operational supply chain transparency: An organizational information processing theory perspective. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 48. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-11-2017-0341>