

Juri Mattila (toim.), Timo Seppälä, Taneli Hukkinen,  
Arto Laikari, Kalle Markkanen, Riikka Koulu, Kai Jia

## **Lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuudet palkkatulojen verotuksessa**

**Huhtikuu 2019**

Valtioneuvoston selvitys-  
ja tutkimustoiminnan  
julkaisusarja 2019:30



Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:30

## Lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuudet palkkatulojen verotuksessa

Juri Mattila (toim.)

Timo Seppälä

Taneli Hukkinen

Arto Laikari

Kalle Markkanen

Riikka Koulu

Kai Jia

Valtioneuvoston kanslia

ISBN PDF: 978-952-287-733-8

Helsinki 2019

## Kuvailulehti

<b>Julkaisija</b>	Valtioneuvoston kanslia		24.4.2019
<b>Tekijät</b>	Juri Mattila (toim.), Timo Seppälä, Taneli Hukkinen, Arto Laikari, Kalle Markkanen Riikka Koulu, Kai Jia		
<b>Julkaisun nimi</b>	Lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuudet palkkatulojen verotuksessa		
<b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b>	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:30		
<b>ISBN PDF</b>	978-952-287-733-8	<b>ISSN PDF</b>	2342-6799
<b>URN-osoite</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-733-8">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-733-8</a>		
<b>Sivumäärä</b>	105	<b>Kieli</b>	suomi
<b>Asiasanat</b>	verotus, tietojärjestelmät, teknologia, kehittäminen, soveltava tutkimus, tutkimus, tutkimustoiminta		
<b>Tiivistelmä</b>	<p>Selvityksessä tarkasteltiin, voidaanko lohkokejuteknologiaan perustuvia älykkäitä sopimuksia hyödyntää palkkatulojen verotuksen prosessiin automatisoimisessa. Tavoitteena oli myös selkeyttää lukijalle alan käsitteistöä sekä haasteita ja mahdollisuuksia veroviranomaisen näkökulmasta.</p> <p>Osana selvitystä laadittiin myös havainnollistava konseptualisointi lohkokejuperusteisten älysovimusten soveltamisesta verotuksen prosessiin. Konseptualisoinnilla kartoitettiin lohkokejuteknologian hyödyntämisen kipupisteitä julkishallinnon kontekstissa, mm. kustannusten ja tietoturvan näkökulmasta. Teknologia- ja arkkitehtuurinäkökulmaa laajennettiin kattaamaan myös hajautetut tilikirjaratkaisut.</p> <p>Lohkokejuteknologia mahdollisuuksista on keskusteltu viime aikoina runsaasti. Viime vuosina alan käsitteet ovat keskustelussa laventuneet saaden uusia merkityksiä, mikä on entisestään paisuttanut odotuksia. Lohkokejtut ja hajautetut tilikirjat eivät kuitenkaan toistaiseksi ole onnistuneet lunastamaan niihin ladattuja odotuksia.</p> <p>Selvityksen valossa lohkokejuteknologian hyödyntämismahdollisuudet palkkaverotuksen kontekstissa näyttävät heikkoina. Hajautettujen tilikirjojen soveltamismahdollisuudet näyttävät hieman valoisampina. Niiden osalta käsitteellinen rajanveto perinteisiin integroiviin tietojärjestelmäratkaisuihin nähden on kuitenkin häilyvä, ja hyödyt siten vaikeasti arvioitavissa.</p>		
Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. (tietokaytoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.			
<b>Kustantaja</b>	Valtioneuvoston kanslia		
<b>Julkaisun myynti/jakaja</b>	Sähköinen versio: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Julkaisumyynti: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		

## Presentationsblad

<b>Utgivare</b>	Statsrådets kansli	24.4.2019
<b>Författare</b>	Juri Mattila (ed.), Timo Seppälä, Taneli Hukkinen, Arto Laikari, Kalle Markkanen Riikka Koulu, Kai Jia	
<b>Publikationens titel</b>	Blockkedjeteknologi i beskattningen av löneinkomster	
<b>Publikationsseriens namn och nummer</b>	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2019:30	
<b>ISBN PDF</b>	978-952-287-733-8	<b>ISSN PDF</b> 2342-6799
<b>URN-adress</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-733-8">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-733-8</a>	
<b>Sidantal</b>	105	<b>Språk</b> finska
<b>Nyckelord</b>	beskattning, informationssystem, teknologi, utveckling, tillämpad forskning, forskning, forskningsverksamhet	
<b>Referat</b>	<p>Denna studie klarlägger huruvida intelligenta avtal eller distribuerade konton baserade på block-kedjeteknik kunde utnyttjas i automatiseringar av löneinkomstens beskattningsprocesser. Vi förtydligar också de centrala begreppen samt teknikens utmaningar och möjligheter ur skattemyndighetens perspektiv.</p> <p>Vi utarbetade en illustrativ konceptualisering av tillämpningen av blockkedjebaserade smarta avtal inom skatteprocessen. Konceptualiseringen användes för att identifiera smärtpunkter vid utnyttjandet av blockkedjeteknik, med fokus på offentlig förvaltning, kostnader och säkerhet.</p> <p>Potentialen i blockkedjeteknik och decentraliserade konton har diskuterats brett. Under de senaste åren har begreppen inom fältet blåsts upp och nya betydelser har lagts till, vilket ytterligare haussat förväntningarna på fenomenets revolutionära effekter. Dessvärre har blockkedjor och distribuerade konton inte ännu lyckats lösa in de laddade förhoppningarna.</p> <p>Vår slutsats är, att potentialen för utnyttjande av blockkedjeteknologi i samband med lönebeskattning är svag. Möjligheterna att tillämpa decentraliserade konton verkar något ljusare, men de begreppsmässiga avgränsningarna - och därmed analysen av fördelarna - till traditionella integrerade IT-system är luddiga.</p>	
	Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan. (tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt	
<b>Förläggare</b>	Statsrådets kansli	
<b>Beställningar/ distribution</b>	Elektronisk version: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Beställningar: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>	

## Description sheet

<b>Published by</b>	Prime Minister's Office	24.4.2019	
<b>Authors</b>	Juri Mattila (ed.), Timo Seppälä, Taneli Hukkinen, Arto Laikari, Kalle Markkanen Riikka Koulu, Kai Jia		
<b>Title of publication</b>	The applicability on blockchain technology to salary income taxation		
<b>Series and publication number</b>	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2019:30		
<b>ISBN PDF</b>	978-952-287-733-8	<b>ISSN PDF</b>	2342-6799
<b>Website address URN</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-733-8">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-733-8</a>		
<b>Pages</b>	105	<b>Language</b>	Finnish
<b>Keywords</b>	taxation, data systems, technology (information), development, applied research, research, research activities		
<b>Abstract</b>	<p>This study examined whether blockchain-based smart contracts can be used to automate the process of taxing wage income. The aim was also to clarify the relevant concepts and to elucidate the challenges and opportunities from the perspective of the tax authority.</p> <p>As a part of the study, an illustrative conceptualization of a smart contract wage tax application was also drafted. The conceptualization was used to identify points of friction in the utilization of blockchain technology, especially in the context of public administration.</p> <p>The potential of blockchain technology and distributed ledgers has been widely discussed recently. In recent years, the concepts in the field have expanded and taken on new meanings, further inflating the beliefs about the revolutionary effects of the phenomenon. However, for the time being, blockchains and distributed ledgers have not succeeded in delivering on those expectations.</p> <p>In the light of this study, the potential for exploiting blockchain technology in the context of wage income taxation seems unfruitful. The possibilities for applying distributed ledgers appear somewhat brighter. However, as the conceptual demarcation of distributed ledgers and traditional integrative IT systems is somewhat vaguely defined, the benefits of such application are difficult to estimate.</p>		
	<p>This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.</p>		
<b>Publisher</b>	Prime Minister's Office		
<b>Publication sales/ Distributed by</b>	Online version: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Publication sales: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimuspäätelmät.....</b>	<b>12</b>
2.1	Lohkoketjuteknologiasta yleisesti .....	12
2.2	Päätelmät tutkimuskysymyksittäin.....	13
2.3	Toimenpidesuosituksset.....	16
<b>3</b>	<b>Verotuksen haasteet digitalisoituvassa maailmassa .....</b>	<b>18</b>
3.1	Yksityishenkilöiden ja yritysten globalisoituvat sopimussuhteet.....	18
3.2	Keikkatalous ja työmarkkinoiden pirstoutuminen .....	19
3.3	Maksuliikenne irrallaan datasta .....	19
3.4	Maksupalveluiden monipuolistuminen.....	20
3.5	Kansainvälinen kilpailu innovaatioista ja yrittäjistä .....	21
3.6	Haasteet kokonaisuutena: Tiedonsaanti- ja toimintakykykkyyksien turvaaminen .....	22
<b>4</b>	<b>Näkemyksiä uuden teknologian mahdollisuuksista verotuksessa .....</b>	<b>24</b>
4.1	Automaatio .....	24
4.2	Verotuksen ajantasaisuus, kustannustehokkuus ja yksityisydensuoja .....	25
4.3	Verotusmoduulit, rajapinnat ja ekosysteemiajattelu .....	26
4.4	Luotettava tunnistautuminen .....	27
4.5	Mikromaksujen verotus .....	28
4.6	Mahdollisuudet kokonaisuutena: Asiakas toiminnan keskiöön.....	29
<b>5</b>	<b>Lohkoketjuteknologian kuvaus .....</b>	<b>30</b>
5.1	Lohkoketju tietorakenteena .....	30
5.2	Lohkoketju vertaisverkkojärjestelmänä .....	31



5.3	Kryptorahakkeet lohkoketjujärjestelmän kannustinmekanismina .....	32
5.4	Lohkoketjuteknologia osana laajempaa teknologiapinoa .....	36
5.5	Hajautetut tilikirjat .....	38
5.6	Lohkoketju ja hajautettu tilikirja yhteiskunnallisena narratiivina.....	39
5.7	Älykkäät sopimukset.....	40
5.8	Yleisiä väärinkäsityksiä ja lohkoketjuteknologian kritiikkiä .....	42
<b>6</b>	<b>Esimerkkejä lohkoketju- ja DLT-teknologian käytöstä verotuksessa .....</b>	<b>46</b>
6.1	Case: Kiina – DLT-pohjainen transaktiolaskutusjärjestelmä .....	46
6.2	Case: Alankomaat – Lohkoketju- ja älysopimusperusteinen ALV- järjestelmä.....	49
6.3	Kokeiluista yleisesti .....	49
<b>7</b>	<b>Teknologiavertailu .....</b>	<b>51</b>
7.1	Haasteet.....	51
7.2	Vaatimukset .....	52
7.3	Lohkoketjujen standardisointi .....	53
7.4	Lohkoketju- ja älysopimuspalveluja.....	54
7.5	Hankkeessa tarkasteltavat alustavaihtoehdot.....	56
7.5.1	Bitcoin.....	57
7.5.2	Ethereum.....	58
7.5.3	Hyperledger .....	58
7.5.4	Corda.....	59
7.5.5	Quorum.....	59
7.5.6	”Lohkoketju palveluna” (BaaS) .....	61
<b>8</b>	<b>Sovelluskonseptualisoinnin arkkitehtuurikuvaus .....</b>	<b>63</b>
8.1	Arkkitehtuureista yleisesti.....	63
8.2	Lohkoketjuperusteinen lähestymistapa .....	63
8.2.1	Sovellusarkkitehtuuri .....	63
8.2.2	Alustan tausta-arkkitehtuuri.....	66
8.3	DLT-perusteinen lähestymistapa.....	67
8.3.1	Arkkitehtuurin komponentit.....	67
8.3.2	Arkkitehtuurin rajapintamäärittelyt .....	69
8.3.3	Arkkitehtuurin käyttäjänäkymä.....	70
8.3.4	Arkkitehtuurin toiminnallinen määrittely .....	71

8.3.5	Tietoturva ja hallinnointi.....	72
<b>9</b>	<b>Kustannusvaikutukset .....</b>	<b>74</b>
9.1	Älysopimusten kustannukset.....	74
9.2	DLT-alustat ja digitalisaatio .....	76
9.3	Älysopimusten optimointiperiaatteet.....	76
9.4	Lohkoketjuteknologian vaikutukset sovellusten elinkaarikustannuksiin.....	78
9.4.1	Infrastruktuurin ylläpitokustannukset .....	78
9.4.1.1	Virtualisointi.....	78
9.4.1.2	Palvelimet, tallennuskapasiteetti ja tietoverkot.....	79
9.4.1.3	Kiinteistö-, tila- ja energiakustannukset.....	79
9.4.2	Alustan työkalukustannukset.....	80
9.4.3	Suorat sovelluskehityksen kustannukset.....	81
<b>10</b>	<b>Säätelyn näkökulma .....</b>	<b>83</b>
10.1	Lohkoketjut oikeudellisen säätelyn haasteena .....	83
10.2	Älysopimukset sopimusoikeuden näkökulmasta .....	84
10.3	Älysopimukselle rakentuvan verotilin työoikeudellinen ulottuvuus .....	85
10.4	Älysopimukselle rakentuva verotili vero-oikeuden näkökulmasta.....	86
10.5	Älysopimusten hyödyntäminen tietohallinnon ja tietosuojan kannalta.....	87
10.6	Tehokkaiden oikeussuojakeinojen välttämättömyys .....	88
10.7	Säätelyn näkökulmasta yleisesti .....	89

## LUKIJALLE

Tämä tutkimusraportti on tuotettu yhteistyössä Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n ja Helsingin yliopiston kesken. Raportti on tuotettu Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoimintaan lukeutuvan *Lohkoketjuteknologian ja ohjelmoitavan rahan hyödyntämismahdollisuudet palkkatulojen verotuksessa* -tutkimushankkeen pohjalta, joka puolestaan on ollut osa laajempaa Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan tekoälytutkimuksen hankekokonaisuutta.

Raportin luvut 1–6 on kirjoittanut Juri Mattila Elinkeinoelämän tutkimuslaitokselta. Luvun 3 ja 4 sisältö pohjautuu taustoittaville asiantuntijahaastatteluille, joita on ollut toteuttamassa myös Timo Seppälä Elinkeinoelämän tutkimuslaitokselta. Seppälä osallistui myös luvun 2 toimenpidesuosittelun laadintaan. Luvun 6 laadinnan keskeisessä roolissa oli Kai Jia (University of Electronic Science and Technology of China) taustoittavan selvitys- ja käännöstyön muodossa. Luvun 7 on kirjoittanut Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n Arto Laikari. Luvun 8 laadintaan ovat osallistuneet Juri Mattila, Timo Seppälä, Arto Laikari, sekä lisäksi BitPandan Taneli Hukkinen Ethereum-älysovimuksen koodaustyön ja kuvausmäärittelyn muodossa. Luvun 9 ovat tuottaneet Juri Mattila, Timo Seppälä sekä Taneli Hukkinen. Luvun 10 ovat laatineet Kalle Markkanen ja Riikka Koulu Helsingin yliopistosta.

Juri Mattila  
Huhtikuu 2019

## Lohkoketjuteknologia

Lohkoketjuteknologialla (engl. 'blockchain technology') tarkoitetaan menetelmää vertaistietojärjestelmien luomiseksi täysin ilman keskuskontrollia harjoittavia palveluntarjoajia. Menetelmä itsessään koostuu useista eri komponenteista, kuten vertaisverkkoteknologiasta, julkisen avaimen salausmenetelmästä, digitaalisista kryptorahakkeista, algoritmista kannustinrakenteista, sekä kryptografisesti linkitetystä tietorakenteesta ja sen moniversiohallinnan tekniikoista.

Tunnetuimpana esimerkkinä lohkoketjuteknologian sovelluksista voidaan mainita Bitcoin-kryptorahakejärjestelmä. Sitä voidaan luonnehtia eräänlaiseksi avoimen maksujenvälitysverkon ja uudenlaisen omaisuusluokan yhteensulauksiksi, jossa yhdistyy rahan, arvopaperin ja joukkorahoitusinstrumentin elementtejä, ja jolla ei ole yksilöitävissä olevaa liikkeellelaskijaa tai suoraa impliittistä käyttöarvoa.

## Hajautetut tilikirjat (DLT)

Hajautetuilla tilikirjoilla (engl. 'distributed ledger', DLT) tarkoitetaan menetelmää, jonka avulla useat eri toimijat voivat ylläpitää yhteistä tietokantaa aiempaa yhteisemmin ja läpinäkyvämmiin järjestelmään osallistuvien tahojen kesken. Hajautettujen tilikirjojen potentiaalin on ajateltu perustuvan yhteisen tietokannan käytöstä saavutettaviin tehokkuus-erilaisissa transaktioissa, toiminnoissa ja prosesseissa.

Eräs kuvatus kaltaisista DLT-kehityshankkeista on esim. finanssialan R3-konsortion Corda-alusta. Sitä voidaan kuvailla tietojärjestelmätekniologiaksi organisaatiosiiilojen rajat ylittävälle tietoveroilille. Vaikka Corda soveltaa hyvin rajoitetussa määrin joitakin lohkoketjuteknologian elementtejä (esim. ns. UTXO-transaktiomallia), ei se laajemmin hyödynnä lohkoketjuihin liitettyjä ominaisuuksia tai järjestelmärakenteita.

(Mattila *et al.*, 2018)

# 1 Johdanto

Tässä tutkimushankkeessa tarkastellaan, voidaanko lohkoketjuteknologiaan perustuvia älykkäitä sopimuksia tai hajautettuja tilikirjoja laajemmin hyödyntää palkkatulojen verotuksen prosessiin liittyvän työnkulun automatisoimisessa. Selvityksen tavoitteena on selventää lohkoketjuihin liitettyjä käsitteitä, sekä näiden käsitteiden taustalla olevia eri teknologisia vaihtoehtoja. Lisäksi selvityksessä kuvataan julkisten toimijoiden yleisiä haasteita ja mahdollisuuksia eri alustojen ja teknologioiden kehittyessä.

Osana selvitystä on myös laadittu havainnollistava konseptualisointi lohkoketjuperusteisten älysopimusten soveltamisesta verotuksen prosessiin<sup>1</sup>. Älysopimusten avulla mm. eri prosessien työnkulkuun liittyvää logiikkaa voidaan tallentaa ja suorittaa lohkoketjuvertaisverkossa hajautetusti. Niiden on ajateltu mahdollistavan yrityksille huomattavasti aiempaa laajemmat mahdollisuudet yrityksen omien tietojärjestelmien ulkopuolelle ulottuvaan prosessiautomaatioon ja ulkoisten prosessien hallintaan. Toisaalta käytännössä lohkoketjuteknologian soveltamiseen liittyy kuitenkin useita huomattavan suuria teknologisia sekä juridisia haasteita, joita niin ikään raportissa käsitellään. Esimerkiksi käyttökustannusten osalta lohkoketjujärjestelmien hyödynnettävyys on monessa suhteessa varsin kyseenalainen. Konkreettisen älysopimuksen muotoon koodatun konseptualisoinnin kautta on haluttu valottaa sitä, miten hyvin verotuksen prosessi on kuvattavissa älysopimuksen keinoin, sekä toisaalta tunnistaa niitä kipupisteitä, joita lohkoketjuteknologian hyödyntämiseen yleisesti ottaen sekä erityisesti julkishallinnon kontekstissa liittyy.

Tutkimuslöydösten dokumentoinnin ohella, raportin tavoitteena on tarjota selkeä kuvaus lohkoketjuteknologiaan linkittyvistä eri ilmiöistä, niiden hyödyistä, haasteista ja sovellettavuudesta. Keskeisenä raportin pyrkimyksenä on lisäksi ollut myös oikaista yleisiä lohkoketjuteknologiaan liittyviä väärinkäsityksiä ja paisuteltuja lupauksia. Viime vuosina lohkoketjukäsitteistön käyttö on laventunut käsittämään useita hyvin erilaisia teknologiakonfiguraatioita, mikä on ollut omiaan luomaan vääriä mielikuvia ilmiöön linkitettyjen teknologioiden sovellettavuudesta ja hyödyistä. Selkeämmän kokonaiskuvan avulla mahdollistuu tutkimuspanostuksten ja kehityspyrkimysten kohdistaminen jatkossa parhaalla mahdollisella tavalla.

---

<sup>1</sup> <https://github.com/hukkinj1/demo-eth-tax>

## 2 Tutkimuspäätelmät

**Lohkoketjukeskustelun käsitteet ovat viime vuosina laventuneet ja niihin on ladattu paljon odotuksia. Selvityksen valossa lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuudet näyttävät kuitenkin palkkaverotuksen kontekstissa heikkoina. Hajautettujen tilikirjojen osalta soveltamismahdollisuudet ovat paremmat, mutta soveltamisen hyödyt jäävät epäselviksi tavanomaisempiin ratkaisuihin verrattuna. Tiedon hankinnan ja hyödyntämisen edistämiseksi tutkimusryhmä suosittaa kohdistettuja lisätutkimuksia sekä avoimen kansallisen tietopankin määrittelyä soveluskokeilujen dokumentaatioille ja lähdekoodille.**

### 2.1 Lohkoketjuteknologiasta yleisesti

Lohkoketjuteknologian mahdollisuuksiin on julkisessa keskustelussa ladattu paljon odotuksia. Viime vuosina alan käsitteet ovat keskustelussa vahvasti laventuneet ja niihin on liitetty uusia merkityksiä. Lohkoketju-termin yhteyteen assosioidaankin nykyään hyvin monenkaltaisia eri teknologia- ja järjestelmäratkaisuja ja sanaa on alettu käyttää yleistä transformaatiota kuvaavassa merkityksessä jopa digitalisaatio-käsitteen tasoisessa laajuudessa. Niin ikään hajautettujen tilikirjojen määritelmä on laventunut kattamaan lähestulkoon millaisia tahansa hajautettuja tietojärjestelmäkonfiguraatioita. Lisäksi itse hajauttamisen käsitettä on alettu käyttää mitä moninaisimmissa eri merkityksissä, mikä on niin ikään tehnyt DLT-järjestelmien systemaattisesta luokittelusta ja analysoinnista vaikeaa. Myös lohkoketjuteknologiaan ja DLT-ratkaisuihin pohjautuvat älysovitussopimusjärjestelmät on paikoin alettu mieltää tekoälykeskusteluun linkittyvänä asiana ja niitä on ajoittain erheellisesti tulkittu tekoälykeskustelun käsitteistön kautta.

Lohkoketjuteknologia ei viime vuosina ole onnistunut lunastamaan siihen ladattuja odotuksia sovelluskehityksen suhteen (Ks. esim. Orłowski, 2018; Burg et al., 2018). Osaltaan kyse lienee siitä, että odotukset ovat paisuneet suhteettomiin mittoihin ja kohdistuneet väärin asioihin. Kun lohkoketjuteknologian perusluonne avointen vertaisverkostojen kasvattamisen työkaluna on yrityksissä heikosti hahmotettu, on sitä usein alunperinkin yritetty soveltaa jo lähtökohtaisesti väärin tarkoitukseen. Toisaalta lohkoketjuteknologian perusinfrastruktuurin kehitykseen itsessään liittyy edelleen mitattavia haasteita, mikä tekee sen tehokkaasta hyödyntämisestä ylipäätään hankalaa.

## 2.2 Päätelmät tutkimuskysymyksittäin

Tässä raportissa tutkimuskysymyksenä selvitettiin lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuuksia palkkatulojen verotuksen prosesseissa. Laaditun selvityksen valossa lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuudet tässä kontekstissa näyttävät heikkoina. Huomattavaa ongelmallisuutta soveltamisen näkökulmasta aiheuttaa esimerkiksi lohkoketjijärjestelmien avoin järjestelmäarkkitehtuuri ja sen heikko yhteensopivuus julkishallinnon prosesseihin. Tutkimuksen löydökset ja johtopäätökset on avattu tutkimuskysymyksittäin seuraavasti.

### **Tutkimuskysymys 1: Voidaanko lohkoketjuteknologiaa hyödyntäen luoda henkilökohtainen verotili, joka hoitaisi tuloverotukseen liittyvät maksut ilman työnantajan erillisiä maksuprosesseja?**

Kysymykseen vastaamiseksi hankkeessa laadittiin havainnollistava konseptualisointi, jossa henkilökohtainen verotili ja sen työnkulku ohjelmoitiin lohkoketjuteknologiaan pohjautuvana automaattisena Ethereum-älysovimussovelluksena. Koska älysovimukset voidaan Ethereum-alustalla laatia Turing-täydellisiä ohjelmointikieliä käyttäen, ei sopimukseen ohjelmitavien työkulujen muotoon sinänsä liity loogisia rajoitteita. Toisin sanoen, kuten konseptualisoitu älysovimus osoittaa, henkilökohtainen verotili, joka hoitaisi tuloverotukseen liittyvät maksut ilman työnantajan erillisiä maksuprosesseja, voidaan laatia lohkoketjuteknologiaa hyödyntäen.

Vaikka menetelmä on prosessin työnkulun näkökulmasta periaatteessa mahdollinen, edellyttäisi sen soveltaminen mittavia muutoksia verotuksen kokonaisprosessiin. Verotusta ei esimerkiksi kyseisessä menetelmässä voitaisi käytännössä katsoen lainkaan toteuttaa euromääräisenä, vaan prosessi edellyttäisi kryptorahakkeiden käyttämistä verojen maksamiseen. Ethereum-alustan hajautetusta moniversiohallinnasta johtuen älysovimusten toiminta voi pohjautua ainoastaan järjestelmän lohkoketjusta haettaviin ja sinne tallennettaviin tietoihin. Älysovimukset eivät siis voi esimerkiksi suoraan käsitellä pankkitilille talletettuja euroja tilinhallintarajapintojen kautta (esim. PSD2). Vaikkakin lohkoketjun tietokannan ulkopuolelta tuleva ja ulkopuolelle suuntautuva vuorovaikutus on periaatteessa mahdollista ns. oraakkeleita hyödyntämällä, menetetään niiden myötä hyvin herkästi ne hyödyt, joita hajautetulla järjestelmäarkkitehtuurilla muutoin voitaisiin ehkä ajatella saavutettavan. Toisin sanoen, oraakkeleita käytettäessä voidaan kysyä, miksei koko järjestelmää saman tien suunniteltaisi keskitettyyn hallintaan perustuvaksi.

Hajautettujen tilikirjojen osalta laajemmin hyödyntämismahdollisuudet näyttävät hieman lohkoketjuteknologiaa valoisampina. Kun hajautettujen tilikirjojen käsite ylipäätään on löyhemmin määritelty, voidaan DLT-järjestelmäkokonaisuudet helpommin

rakentaa verotuksen ja julkishallinnon prosesseihin yhteensopiviksi. DLT-järjestelmien soveltamisen hyötyaspekteja on kuitenkin verotuksen yhteydessä vaikeaa hahmottaa, kun asiaa tarkastellaan perinteisempiin pilvipalvelu- ja rajapintaratkaisuihin nojaavaa lähestymistapaa vasten. Kuten todettua, DLT-järjestelmien systemaattinen luokittelu on käsitteistön leväperäisyyden vuoksi hankalaa, eikä tässä selvityksessä sen laajuuden huomioiden ole ollut mahdollista esitettyä seikkaperäisemmin selvittää hajautettujen tilikirjojen systematisoitua luonnehdintaa ja soveltamismahdollisuuksia.

## **Tutkimuskysymys 2: Voidaanko älykkäisiin sopimuksiin perustuvalla työnkulun automatisoimisella säästää yksityishenkilöiden palkkatulojen verotusprosessin kokonaiskustannuksissa, huomioiden myös verotuslainsäädännön kehittämiskustannukset?**

Kustannusvaikutusten näkökulmasta lohkoketjijärjestelmän käytöllä saavutettavat hyödyt jäävät niin ikään varsin kyseenalaisiksi. Laskentaoperaatiokohtaisesta veloituksesta johtuen älysopimuspalvelujen käyttökustannukset rakentuvat hyvin eritavoin ja erilaisiksi perinteisiin IT-järjestelmiin verrattuna. Toiminnoista riippuen älysopimusjärjestelmän käyttökustannukset voivat kohota useita kertaluokkia perinteisiä pilvipalveluita hintavammiksi. Myös älysopimusjärjestelmien erityispiirteistä seuraavat lisäedellytykset eritoten käyttökustannusoptimoinnin sekä laadunvalvonnan osalta tarkoittavat käytännössä katsoen sitä, että älysopimuspalveluille rakennettujen sovellusten suorat sovelluskehityksen kustannukset ovat merkittävästi tavanomaista sovelluskehitystyötä korkeammat.

On siis selvää, etteivät lohkoketjuperusteiset älysopimuspalvelut kustannusrakenteeltaan sovellu perinteisiä pilvipalvelupalustoja vastaaviin toimintoihin, eikä niitä tulisiakaan nähdä toistensa korvikkeina. Siinä, missä pilvipalvelupalustat voidaan ymmärtää massatietovarantoina ja paikallisten palvelinten ja tietojärjestelmien vaihtoehtona tai jatkeena, ovat lohkoketjuperusteiset älysopimusjärjestelmät ennemminkin maailmanlaajuisesti hajautettuja äärellisiä automaatteja (engl. *finite state machine*)—siis eräänlaisia yhtenäisessä tilassa toimivia ”maailmantietokoneita” (ks. esim. Saito-Yamada, 2016; Wood, 2016).

Myös lainsäädännöllisestä näkökulmasta lohkoketjuteknologian sovellusten lainopillinen tila näyttää useiden oikeudenalojen ja oikeuskysymysten valossa toistaiseksi varsin epäselvältä. Lohkoketjuteknologian sääntely on toistaiseksi ollut pistemäistä ja yksittäisiin ongelmiin pureutuvaa. Sääntelytoimenpiteet ovat toistaiseksi kohdistuneet lähinnä rikos- ja vero-oikeudellisiin seikkoihin, mm. sopimus-, työ-, ja tietosuojalainsäädännön jäädessä vähemmälle huomiolle. Käytännössä lohkoketjuteknologian sovelta-



mispyrkimykset palkkaverotuksen prosesseihin edellyttäisivät mittavia juridisia selvityshankkeita sekä luultavasti myöskin lainsäädännöllisiä uudistuksia, joiden kustannuksia on tämän selvityksen valossa mahdotonta arvioida.

### **Tutkimuskysymys 3: Millaisia toiminnallisia arkkitehtuurivaihtoehtoja verotusprosessin työnkulun automatisoimiseksi voidaan hahmotella ja mitkä ovat niiden keskeiset erot, heikkoudet ja vahvuudet?**

Hankkeessa hahmoteltiin kahta erilaista lähestymistapaa verotusprosessin työnkulun automatisoimiseksi: lohkoketjuperusteista älysovimussovellusta, sekä DLT-perusteista järjestelmäarkkitehtuuria.

Lohkoketjupohjaisen älysovimussovelluksen heikkoutena voidaan mainita ensinnäkin lohkoketjujärjestelmien skaalautuvuushaasteet. Vaikka erilaisia ratkaisuja skaalautuvuuden parantamiseksi on kehitteillä, lohkoketjujärjestelmien soveltaminen laajassa mittakaavassa on edelleen ongelmallista. Osaltaan järjestelmien rajallisesta kapasiteetista ja toisaalta myöskin eri tavoin rakentuvasta hinnoittelumallista johtuen, lohkoketjujärjestelmien käyttökustannukset voivat niin ikään muodostua laajamittaisissa käyttösovelluksissa erittäin korkeiksi.

Lohkoketjujärjestelmissä on toistaiseksi hyvin tavanomaisesti sovellettu ns. työntodistukseen perustuvaa konsensusmekanismia (ks. luvut 5.1 ja 5.2). Merkittävimmässä lohkoketjujärjestelmissä työntodistuksen laskentaan käytetty prosessointitehon määrä on viime vuosina ajoittain kasvanut huimiin mittoihin. Vaikka energiataloudellisempia konsensusmekanismeja on tätä nykyä jo kehitetty, liittyy niiden käyttöön avoimissa järjestelmissä edelleen haasteita, joiden vuoksi työntodistuksen käytöstä ei keskeisimmässä lohkoketjujärjestelmissä ainakaan toistaiseksi ole vielä luovuttu. Näin ollen lohkoketjujärjestelmät näyttävät nykyisellään myös varsin epäekologisenä lähestymistapana.

Yhtenä ongelmakohtana lohkoketjujärjestelmien osalta voidaan pitää myös niiden tietoturvaan liittyvää haasteellisuutta. Lohkoketjujärjestelmien hajautettu arkkitehtuuri ja niissä sovellettu tietorakennemalli ovat avanneet uudenlaisia hyökäkäysvektoreita ja haavoittuvuuksia, joista läheskään kaikkia ei luultavasti vielä toistaiseksi olla hahmotettu. Lisäksi järjestelmän koodivirheisiin sekä esim. kryptografisten avainten hallinnassa tapahtuviin lipsahduksiin voi liittyä huomattavia riskejä mittavien omaisuuserien menetyksistä (ks. esim. Kirk, 2018).

DLT-perusteisen arkkitehtuuriratkaisun etuina voidaan nähdä mm. lohkoketjujärjestelmiä selkeämmät hallintorakenteet, parempi laskennallinen suorituskyky, taloudellisuus

ja ympäristöystävällisyys, sekä järjestelmäkokonaisuuksien vapaampi konfiguroitavuus. DLT-järjestelmien osalta näyttö soveltamisen hyödyistä perinteisempiin ratkaisuihin verrattuna jää kuitenkin varsin ohueksi.

Hahmoteltujen arkkitehtuurivaihtoehtojen lisäksi on syytä muistaa, että kolmantena vaihtoehtona suunnittelussa voidaan tietenkin tukeutua perinteisempiin tietojärjestelmäärkkiehtuurien muotoihin. Niiden etuna voitaneen nähdä ainakin se seikka, että niiden suunnittelusta ja toteutuksesta on vuosikymmenten ajalta näyttöä siitä, millaiset ratkaisut on havaittu toimivaksi ja millaiset taas puolestaan ei. Myös tietoturvan osalta perinteisempien ratkaisujen hyökkäysvektorit ja haavoittuvuudet on luultavasti vielä toistaiseksi lohkoketju- ja DLT-järjestelmiä huomattavasti laajemmin kartoitettu.

## 2.3 Toimenpidesuosituksukset

### Toimenpide 1: DLT-järjestelmien systematisointi ja hyötyanalyysi

Kuten todettua, lohkoketjukeskustelulle—kuten teknologiailmioille ehkä yleisesti laajemminkin—on tunnuksenomaista, että teknologiakäsitteiden merkitys on jatkuvassa muutoksessa. Tässä selvityksessä on jokseenkin seikkaperäisesti luonnosteltu määritelmällistä eroa lohkoketjuteknologian ja hajautettujen tilikirjojen välillä, sillä sekaannuksen vaara näiden kahden hyvin erilaisen ilmiön välillä on toistaiseksi keskusteluissa ollut ilmeinen. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että rajanveto hajautettujen tilikirjojen ja digitalisaation perinteisemmän integraatiokehityksen välillä on nyt vastaavalla tavoin hämärtyneessä. Yhteiskunnallisen keskustelun selkiinnyttämiseksi ja kehityshankkeiden saattamiseksi oikealle polulle tutkijaryhmä suosittaa DLT-järjestelmien määrittelyjen selkeää systematisointia sekä hyötynäkökulmien kriittistä arviointia lisätutkimuksen keinoin. Myös hajauttamisen käsitteen systematisoinnille on selvästi tarvetta.

### Toimenpide 2: Avoimen kansallisen tietopankin määrittely sovelluskokeilujen dokumentaatiolle ja lähdekoodille

Tutkimuksessa havaittiin, että vaikkakin lohkoketju- ja DLT-käyttötapauksia on maailmalla hahmoteltu ja uutisoitu varsin laajasti, itse hyödyntämiskokeilujen tuloksista on varsin niukasti tietoa tarjolla. Lähtökohtaisesti pilotoivat yritykset tai muut toimijat eivät ole saattaneet kokeiluidensa dokumentaatioita tai lähdekoodia jälkikäteen avoimesti tarkasteltavaksi. Tutkijaryhmä esittääkin suosituksena, että määriteltäisiin viranomaisvetoisesti avoin kansallinen tietopankki, johon digitalisaation sovelluskokeilujen dokumentaatioita ja konseptualisointujen sovellusten lähdekoodia voitaisiin tallentaa kansa-

laisten, yritysten ja muiden tahojen vapaasti hyödynnettäväksi. Julkisrahoitteisen korkeilevan tutkimuksen ehtoissa voitaisiin tällöin myös esimerkiksi edellyttää dokumentaatioiden ja tuotosten julkaisemista kyseisessä tietopankissa.

## 3 Verotuksen haasteet digitalisoituvassa maailmassa

Osana hanketta selvitettiin, millaisia tarpeita ja vaatimuksia pilotoitavalle järjestelmälle tulisi asettaa verottajan digitalisaation haasteisiin vastaimiseksi. Tarvekartoituksessa esille nousi erityisesti huoli tiedonsaantiedellytysten heikkenemisestä, johtuen esimerkiksi teknologia- ja maksuliikennepalveluiden palvelukanavien irtaantumisesta varsinaisista tarvara- ja palveluvirroista.

### 3.1 Yksityishenkilöiden ja yritysten globalisoituvat sopimussuhteet

Eräs digitalisaation kehityksen tunnusomainen piirre on ollut alustatalouden rantautuminen Eurooppaan ja myös Suomeen kuluneen vuosikymmenen aikana (lisää alustoista katso Ailisto et. al, 2016). Amazonin, Alibaban ja eBayn kaltaisten kauppapaikojen sekä yleisen verkkokaupan kasvun myötä yhä suurempi osuus suomalaisten kuluttajien ostotapahtumista suuntautuu ulkomaille (lisää kappapaikoista katso Nikali et. al., 2015; Kotiranta et. al., 2017)<sup>2</sup>.

Tutkimusten mukaan myös yritysten arvoketjurakenteet globalisoituvat ja paikallinen palvelutarjonta laajenee globaaliksi kilpailuksi. (vertaa vastaavasta globaalista ohjeituksesta OECD – Transfer Pricing guidelines)<sup>3</sup>. Pelkän viennin merkitys sarvon mittarina on menettänyt merkitystään, sillä yhä useampi yritys synnyttää jalostusarvonsa erilaisina puolivalmisteina, tuonti- ja vientipanosten erotuksena (Ali-Yrkkö et al., 2017).

Globalisoituvat ja edelleen fragmentoituvat sopimussuhteet muodostavat haasteen verotukselle sekä itse verotusprosessin että myöskin valvonnan toteuttamisen näkökulmasta. Kun sopimussuhteita muodostetaan enenevässä määrin erilaisissa globaa-

---

<sup>2</sup> Verottajan erilliset toimenpiteet mahdollistaneet miljoonien Eurojen arvonlisäveron kotiuttamisen globaaleita markkinapaikoilta Suomen kansantalouteen.

<sup>3</sup> <http://www.oecd.org/tax/transfer-pricing/oecd-transfer-pricing-guidelines-for-multinational-enterprises-and-tax-administrations-20769717.htm>

leissa organisaatorakenteissa, kuten monikansallisilla alustoilla (katso siirtohinnoittelusta esim. Seppälä et. al., 2014) sekä ulkomaisten kumppanien kanssa, korostuu verosopimusten ja kansainvälisen yhteistyön merkitys monessa eri suhteessa.

## 3.2 Keikkatalous ja työmarkkinoiden pirstoutuminen

Alustatalous on tuonut mukanaan myös työn pirstoutumisen kehityskulkua (laajemmin aiheesta katso ”Havaintoja ”Upworkers in Finland” -kyselystä” Pajarinen et. al., 2018. Alustat, kuten esim. Uber, AirBnB, Taskrabit ja Amazon Mechanical Turk ovat hämärtäneet työn ja yrittäjyyden välistä rajapyykkiä luomalla puitteet uuden kaltaiselle globaalille ”pienyrittäjyydelle”. Tunnuspiirteenä tämänkaltaisille työn tekemisen tavoille on se, etteivät ne täysin mielekkäästi istu palkkatyön tai liiemmin perinteisesti ajatellun yritystoiminnan kontekstiin. Myös laajemmin työmarkkinoilla ennakoidaan pitkän aikavälin kehityskulkua kohti lyhytkeisempia ja dynaamisempia työsuhteita. (katso keikkatalouden eri muodot Ailisto, et. al., 2016 s. 15; katso keikkatalouden erilaiset alustatyypit Pajarinen et. al., 2018; katso Ailisto et. al., 2016 alustatalouden politiikkasuositukset, toimenpide 1 - Mahdollista yrittäjä- ja työntekijäroolien välinen sukkulointi digitaloudessa, s. 36)

Verotuksen näkökulmasta keikkatalouden trendi ja työmarkkinoiden pirstoutumiskehitys luovat haasteen siitä, kyetäänkö yhteiskunnassa vastaamaan uusiin työn tekemisen tapoihin tarkoitusta vastaavilla ja oikein mitoitetuilla verotusmenettelyillä. Esimerkiksi pienyrittäjiksi määrittyvien toimijoiden työn tekemisen ehdot ja käytänteet eivät välttämättä olennaisesti poikkea työntekijän asemasta. Vaikkakin siis tavanomainen elinkeinonharjoittajaan kohdistuva verotusmenettely saattaisi tiettyssä mielessä olla työntekijän palkkatulojen verotusta soveltuvampi vaihtoehto, voi lain tasa-arvoisuuden nimissä olla kohtuutonta, että verotusmenettely jäisi kokonaan pienyrittäjän itsensä harteille.

## 3.3 Maksuliikenne irrallaan datasta

Digitalisaation tälle ajalle on ominaista, että maksujenvälityspalveluiden palvelukanavat eriyvät varsinaisen tuote- ja palvelutarjonnan palvelualustoista. Esimerkiksi ulkomaisista verkkokaupoista tehtyjen verkko-ostosten maksuliikenne välittyy Euroopassa yleisimmin luottokorttiyhtiön kautta, eikä niinkään verkkokaupan ylläpitäjän suorittamana. Kun sähköinen maksuliikenne on irrallaan sähköisestä tuote- ja palveluvirrasta,

ei yhteiskunnassa useinkaan ole yksilöitävissä tahoja, jolla olisi kokonaisnäkyvyys siihen, miten sähköiset tuote- ja palveluvirrat linkittyvät niitä vastaaviin sähköisiin maksuihin. Näin ollen esimerkiksi ulkomaille suuntautuvan ja ulkomailta saapuvan verkkokaupan laajuutta on nykyisellään vaikea arvioida, ja esitetyt arviot vaihtelevat suuresti. (Digibarometri, 2014; lisää digitaalisten palveluiden arvoketjuista ja niihin liittyvistä huomioista katso mm. Kalm et. al., 2014, s. 4-5.)

Onkin todettu laajemmin, että nyky-yhteiskunnasta puuttuvat mekanismit ja mittarit digitaalisen talouden ymmärtämiseen ja mittaamiseen. (Brynjolfsson–McAfee, 2014) Näin ollen sama mittaamisen vaikeus heijastuu myös verotusprosesseihin. Kun maksuliikennettä ei voida linkittää tavaroiden ja palveluiden virtaan kattavan kokonaisnäkyvän saavuttamiseksi, muodostaa tämä haasteen verotukselle erityisesti valvonnan osalta. Sen lisäksi, ettei verotuksen laukaisevaa tapahtumaa voida välttämättä luotettavasti maksuliikenteestä identifioida, ei toisaalta myöskään tavaroiden ja palveluiden virrasta voida tunnistaa, onko verotusperusteen ollessa läsnä sitä vastaava maksuvelvoite myöskin täytetty<sup>4</sup>.

### 3.4 Maksupalveluiden monipuolistuminen

Viime vuosikymmenen aikana finanssialaa mullistavat FinTech-startupit, kuten esim. Revolut ja Ripple, ovat alkaneet tarjota vaihtoehtoisia kanavia sähköisen maksuliikenteen toteuttamiselle perinteisten pankkien rinnalla. Myös alustatalouden internet-jättiläiset, kuten Google, Amazon, Baidu ja Tencent, ovat viime vuosina nousseet perinteisten maksunvälityspalveluiden haastajiksi (Jia & Kenney, 2017). Samalla uudet teknologiat, kuten esim. lohkoketjuteknologia, ovat avanneet uusia teknologisia ratkaisuja sähköisen maksuliikenteen perustaksi. Sekundääristen finanssipalveluiden moninaistessa onkin alettu keskustella pankki- ja finanssitoiminnan koko palveluarkkitehtuurin, arvoketjun ja kontrollin pirstaloitumisesta (engl. 'the unbundling of banking') (Mattila et al., 2018).

Uudet ketterät markkinatoimijat ja uusi teknologia ovat tehneet maksupalveluiden integroimisesta pääasialliseen palvelutarjontaan huomattavasti aiempaa helpompaa. Osa alustapalveluntarjoajista onkin alkanut itse tarjota maksupalveluita, ikään kuin pääasiallisen tarjontansa tukitoimintona (esim. AliBaba & AliPay). Osa puolestaan on saumattomasti integroinut toisen maksupalveluntarjoajan palvelut omaan palvelualueensa (esim. eBay & PayPal).

---

<sup>4</sup> Vero, Tulli, Suomen Pankki ja muut toimijat ovat aloittaneet selvityksen tavara-, palvelu- ja digitaalisten virtojen integroimiseksi yhdeksi tietovirraksi.

Usean erilaisen maksukanavan valvonta asettaa uudenlaisia haasteita verottajan resurssien riittävyydelle sekä osaamisen kehittämiseksi. Sen lisäksi, että itse valvonnan toteuttaminen voi jatkossa vaatia enemmän uudenlaista monitaituruutta, myös itse maksuliikennedatan kerääminen voi juridisesti olla aiempaa työläämpää ja haastavampaa.

### 3.5 Kansainvälinen kilpailu innovaatioista ja yrittäjistä

Kun ylikansalliset palvelualustat valtaavat alaa, on myös globaalissa innovaatiokilpailussa huomioitavat ne kilpailun lait ja mekanismit, joita digitaaliset palvelualustat noudattelevat. Esimerkiksi yhdysvaltalaisen digitaalisten palvelualustojen, kuten Googlen ja Applen ”maailmanvalloitus” on osaltaan perustunut niiden kykyyn ruokkia alustaan liittyviä ulkoisia oheisinnovaatioita. Tarjoamalla sovelluskehittäjien käyttöön valmiit työkalut, toiminnan reunaehdot sekä pääsyn globaaliin asiakasmarkkinaan, alustojen verkostovaikutukset on kyetty rakentamaan niin vahvoiksi, ettei niiden valta-asemaa ole ulkoapäin helppoa haastaa. (Ailisto et. al., 2016)

Vastaavalla tavalla, kansainvälisessä kilpailussa innovaatioista ja osaamisesta on niinkään tiedostettava verkostovaikutusten ruokkimisen tärkeys. Osaajien houkuttelemiseksi toimimaan Suomessa on tulijoille kyettävä tarjoamaan houkutteleva innovoimisen ympäristö: riittävästi toimijoita sisältävä elinvoimainen innovaatioekosysteemi sekä mahdollisimman tehokkaat työkalut ja reunaehdot innovaatioiden luomiseen. Viime vuosina myös lainsäädännön vaikutus keskeisenä innovaatiokilpailutekijänä on alettu entistä paremmin tunnistaa (Chander 2015).

Julkissektorilla ylipäättään voidaan katsoa olevan keskeinen rooli alustainnovaatioiden ruokkimisessa, mutta myös osallistujana (Ailisto et. al., 2015; Vartiainen, 2017). On selvää, että esimerkiksi sillä, kuinka helppoa tai vaikeaa ulkomaisen toimijan on perustaa Suomeen yritys—verraten vaikkapa Viron e-kansalaisuuden tarjoamiin mahdollisuuksiin—on keskeinen vaikutus sille, mihin maahan toimija innovaatiotoimintansa loppupelissä sijoittaa. Vastaavasti esimerkiksi verotusjärjestelmän selkeys ja vaivattomuus on tässä suhteessa ymmärrettävä keskeisenä kilpailutekijänä.

Vaikka verotuksen rooli osana kansainvälistä innovaatiokilpailua olisikin tiedostettu, ei siihen vastaaminen kuitenkaan välttämättä ole helppoa. Uusien innovaatioiden asemoituessa aiempien toimialaluokitteluiden välimaastoon (esim. Uber ja AirBnB), on linjavedot pystyttävä määrittelemään tarkoituksenmukaisella ja oikein kohdistuvalla tavalla. Esimerkiksi lohkoketjuteknologian osalta on nähty, ettei alan innovaatiotoimijoita

riitä houkuttelemaan pelkkä lainsäätäjän neutraali suhtautuminen kyseiseen teknologiaan, jos positiivista ja etukäteispainotteisesti selkeyttävää regulaatioasennetta signaloivia innovaatioekosysteemejä on muissa valtioissa tarjolla. (ks. esim. Visram, 2018)

### **3.6 Haasteet kokonaisuutena: Tiedonsaanti- ja toimintakyvykkyyksien turvaaminen**

Kokonaisuutena arvioiden tarvekartoituksessa esiin nousseista haasteista yhteisenä nimittäjänä päällimmäiseksi nousee uhkakuva verottajan tiedonsaanti- ja siten toimintaedellytyksien heikkenemisestä. Monessa haasteessa korostuvat ennen kaikkea alustatalouden kehitys sekä liiketoimintatapoihin ja markkinarakenteisiin kohdistuvat teknologiset muutosvoimat. Osaltaan haasteena esiin nousi huoli siitä, onko verottajalla julkistoimijana riittävää riskinottoa, jotta se kykenee vastaamaan muuttuvan ympäristön haasteisiin innovoimalla itse ja tuottamalla erilaisia palvelumoduuleita alustatalouden eri toimijoille.

Verotuksen tehokkuuden kannalta on olennaista, että yhteiskunnan ja talouden rakenteissa on olemassa keskeisiä palveluntarjoajia (kuten esim. maksupalveluiden tarjoajat ja palkanmaksajat), joihin vaatimuksia ja velvollisuuksia kohdistamalla voidaan verotuksellisia toimenpiteitä kohdistaa ja valvoa tehokkaasti koko palveluntarjoajan asiakaskunnan osalta. Teknologian kehityksen muovatessa markkinarakenteita nämä yhteiskunnan arvoketjurakenteiden keskeiset ”pullonkaulat” tavanomaisesti määrittävät uudelleen, joskus kadoten markkinoilta kokonaan. Tällöin jää pohdittavaksi, mistä löytyy uusi keskeinen rakenne verotuksen tehokkuuden turvaamiseksi.





Kuvio 1. Tarvekartoituksessa tunnistetut haasteet.

## 4 Näkemyksiä uuden teknologian mahdollisuuksista verotuksessa

**Hankkeessa selvitettiin asiantuntijahaastatteluin, millaisia odotuksia lohkoketjuteknologian mahdollisuuksiin verotuksen prosesseissa liittyi. Odotuksissa keskeisinä tekijöinä selkeimmin nousivat esiin tehokkuus, palveluajattelu ja asiakaskeskeisyyden parantaminen. Toisalta näkemyksenä oli, etteivät kuvailut mahdollisuudet niinkään edellytä uutta teknologiaa, vaan ennemminkin toimintatapojen muutosta.**

### 4.1 Automaatio

Lohkoketjuteknologiaan ja hajautettuihin tilikirjoihin perustuvat älysovimukset ovat mahdollistaneet erilaisten transaktioihin liittyvien työnkulkujen ohjelmoimisen (Hukkinen et. al., 2017). Näihin työnkulkuihin varallisuuseriä syötettäessä ne kanavoituvat deterministisesti työnkulussa määritellyllä tavalla järjestelmän eri käyttäjätileille. Toisin sanoen, älysovimusten avulla osapuolet voivat ”lukita” tiettyjä varallisuuseriä toimimaan tietyllä tavoin tietyssä ajan hetkenä tulevaisuudessa, siirtämällä ne älysovimuksen hallinnoitavaksi. (Lauslahti et. al., 2016)

Tarvekartoituksessa osa odotuksista kohdistui siihen, että uudenkaltaisilla maksualustoilla ja -teknologioilla verotuksen prosessia voitaisiin automatisoida luotettavasti ja läpinäkyvästi. Visiona on, että verotukseen syntyisi näin prosessi, josta saadaan automaattisesti data, ja johon verotuksen loogiset säännöt automaattisesti sisältyvät. Etenkin tilanteissa, joissa verotuskäytänteet eivät ole täysin selviä, esim. pienyrittäjien kohdalla, saavutettaisiin huomattavia etuja, mikäli kaikki ansainta voitaisiin kanavoida automaattisen verotusrajapinnan lävitse siten, että verot tulevat automaattisesti hoideutuksi oikealla progression asteella siitä riippumatta, mitä kautta ja millaisin työn tekemisen tavoin ansainta on syntynyt.

## 4.2 Verotuksen ajantasaisuus, kustannustehokkuus ja yksityisyydensuoja

Lähtökohtaisesti on selvää, että on kaikkien edun mukaista, mikäli verotusprosessi voidaan toteuttaa mahdollisimman ajantasaisesti, kustannustehokkaasti, ja mahdollisimman vähäisin yksityisyydensuojan loukkauksin. Tarvekartoituksessa keskeisessä roolissa olivatkin pyrkimykset siihen, että lohkoketjuteknologian ja älykkäiden sopimusten avulla verotusprosessia automatisoimalla verotus voitaisiin toteuttaa nykyistä ajantasaisemmin, ilman ylimääräisiä viivästyksiä. Automaation keinoin veronkannon työtaakkaa olisi myös ehkä mahdollista keventää niin verottajan kuin verotettavienkin puolelta, jolloin koko verotusprosessi voitaisiin toteuttaa huomattavasti nykyistä kustannustehokkaammin.

Lohkoketjuteknologian mahdollisuuksiin ladattiin tarvekartoituksessa odotuksia myös yksityisyydensuojan osalta. Ajatuksena mm. oli, että hyödyntämällä kryptografisia nol-latietotodistuksia (engl. *'zero-knowledge proof'*) verottaja voisi kenties varmistua siitä, että verot on maksettu oikein ilman, että tapahtumien varsinaista sisältöä olisi tarpeen avata verottajalle.

### Nollatietotodistus

Kryptografiassa nollatietotodistuksella tarkoitetaan menetelmää, jolla taho voi todistaa toiselle taholle tietävänsä jonkin tietyn asian, kuitenkin paljastamatta itse tiedon sisältöä kenellekään, ja toisaalta paljastamatta tietävänsä kyseisen tiedon kenellekään kolmannelle osapuolelle. Lohkoketjuteknologian yhteydessä nollatietotodistuksia voidaan käyttää todistamaan transaktioiden aitous ja paik-kansapitävyys, kuitenkin paljastamatta transaktioiden osapuolia tai muita yksityiskohtia. Yksi esimerkki, jossa menetelmää käytetään yleisesti, on ZCash-nimellä tunnettu kryptorahakejärjestelmä.

Vaikka lohkoketjuissa käytettävät nollatietotodistukset ovat algoritmisesti jossain määrin monimutkaisia, itse nollatietotodistuksen periaate on helposti hahmotettavissa esimerkiksi seuraavan klassisen esimerkin avulla:

Matilla kaksi palloa: yksi vihreä ja yksi punainen. Värisokeudesta johtuen Matti ei kuitenkaan kykene erottamaan palloja toisistaan, toisin kuin hänen ystävänsä Maija. Maija haluaa todistaa Matille kykenevänsä erottamaan pallot toisistaan,

kuitenkaan paljastamatta Matille pallojen väriä. Matti laittaa pallot koriin ja nostaa niistä yhden Maijan nähtäväksi. Sen jälkeen Matti palauttaa pallon koriin, ja nostaa joko uudelleen saman pallon taikka valintaansa vaihtaen eri pallon. Nyt Matti kysyy Maijalta, vaihtoiko hän palloa nostojen välissä vai ei.

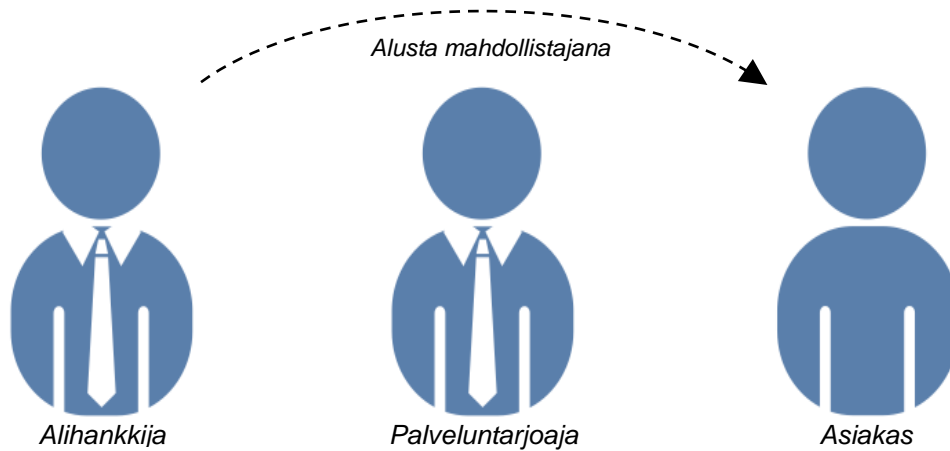
Mikäli Maija ei kykenisi erottamaan palloja toisistaan, olisivat hänen vastauksensa puhtaita arvauksia ja siten tilastollisesti vain 50-prosenttisesti oikeita. Toistamalla testin useita kertoja Matti voi vakuuttua siitä, että Maijan vastaukset ovat tilastollisesti riittävässä määrin sattumasta poikkeavia, jotta hänen voidaan katsoa todistetusti tietävän pallojen värit.

Mikäli jokin kolmas taho tarkkailee Matin ja Maijan todistusta, voitaisiin äkkiseltään ajatella, että havainnoimalla todistusta ulkoapäin kyseinen kolmas osapuoli tulisi myöskin tietoiseksi Maijan kyvystä erottaa pallot toisistaan. Näin ei kuitenkaan ole, sillä kolmas osapuoli ei voi sulkea pois sitä mahdollisuutta, että Matti ja Maija ovatkin etukäteen sopineet koko koreografian yhteistyössä keskenään, ja ettei Maija todellisuudessa pystykään määrittämään pallojen väriä.

## 4.3 Verotusmoduulit, rajapinnat ja ekosysteemiajattelu

Yhtenä mahdollisuutena hankkeen tarvekartoituksessa nostettiin esille se seikka, että myös verotuksen palveluarkkitehtuurissa voitaisiin tietyiltä osin noudattaa alustaliiketoiminnan logiikkaa. Alustatoiminnan perusajatuksena on, että sen sijaan, että toimija itse pyrkii ymmärtämään kaikkia asiakkaan tarpeita ja tuottamaan omilla resursseillaan niihin soveltuvat ratkaisut, alustan tarjoaja mahdollistaa innovaatioiden tuottamisen ja asiakkaiden palvelemisen suoraan alustatoimijan ohi, mikäli jollakin muulla taholla on parempi ymmärrys asiakkaan tarpeista ja parempi kyky vastata näihin tarpeisiin oheisinnovaatioilla. (Gawer–Cusumano, 2002)

Verotusmoduuleja sekä rajapintoja voitaisiin hyödyntää mm. entistä laadukkaamman ja laajemman datan keräämiseksi, sekä työntantajien ennakonpidätyksen työtaakan helpottamiseksi. Ajatuksena tältä osin olisi, että verottaja voisi tuottaa moduuleita sekä rajapintoja, joita työnantajat voivat upottaa ja integroida omiin prosesseihinsa verotuksen toteuttamiseksi pienemmillä organisaation omiin tietojärjestelmiin kohdistuvilla rasitteilla.



Kuvio 2. Alusta-ajattelussa palveluntarjoaja ulkoistaa innovoinnin avaamalla asiakkuuden alihankkijoille ennalta määriteltyjen puiteraamien ja työkalujen avulla. (Hagiu, 2014)

## 4.4 Luotettava tunnistautuminen

Odotuksia lohkoketjuteknologian suhteen kohdistui myös mahdollisuuden hyödyntää uutta teknologiaa luotettavan sähköisen tunnistautumisen toteuttamisessa. Sen sijaan, että aikaisemmin omaksuttuja tunnistautumisen tapoja pyritään digitoimaan, voidaan kysyä, olisiko syytä pyrkiä suunnittelemaan täysin uusi digitaalisen tunnistautumisen yleiskäyttöinen arkkitehtuuri.<sup>5</sup>

Sähköisen tunnistautumisen voidaan ajatella koostuvan kolmesta osa-alueesta: 1) henkilön yksilöinnistä, 2) käyttöoikeuden yhdistämisestä kyseiseen henkilöön, ja 3) käyttöoikeuden pätevyyden varmentamisesta. Yhtenä merkittävänä haasteena perinteisten sähköisten tunnistautumisjärjestelmien kehityksessä on eri järjestelmien välinen yhteensopivuus. Lohkoketjuteknologialla on ajateltu voitavan helpottaa käyttöoikeuksien hallintaa ja varmentamista ympäristössä, jossa useiden eri tahojen on kyettävä hallitsemaan sekä varmentamaan erilaisia käyttöoikeuksia. (Birch, 2018).

<sup>5</sup> Valtiovarainministeriössä on tehty erillinen selvitys sähköisen tunnistamisen nykytilasta Suomessa ja sen kehittämistarpeista: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161432/20\\_2019\\_Sahkoinen%20tunnistaminen.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161432/20_2019_Sahkoinen%20tunnistaminen.pdf)

Tunnistaminen	Todentaminen	Varmentaminen
Henkilöllisyys	Digitaalinen identiteetti	Virtuaalinen identiteetti
Henkilön yksilöinti ja tunnistaminen	Käyttöoikeuden yhdistäminen yksilöityyn henkilöön	Käyttöoikeuden hyväksyntä
<i>Kuka henkilö?</i>	<i>Kenen käyttöoikeus?</i>	<i>Käyttöoikeus voimassa?</i>



Kuvio 3. Sähköisen tunnistautumisen kolme osa-alueita. Lohkoketjuteknologialla on ajateltu saavutettavan hyötyjä erityisesti varmentamisen osa-alueella. (Soveltaen Birch, 2018)

## 4.5 Mikromaksujen verotus

Maksupalveluiden moninaistuessa ja uusien teknologioiden mahdollistamana maksupalvelut voidaan toteuttaa kannattavasti yhä pienemmillä summilla. Kehityskulku viitoittaa siten tietä mikromaksujen kasvavalle käytölle ja uusille mikromaksuja hyödyntäville liiketoimintamalleille. Verottajalle mikrotason maksutapahtumien määrän kasvu uusissa maksukanavissa voi muodostaa haasteen valvonnan ja verotuksen työtaakan suhteen.

Sidosryhmähaastatteluissa nousi esille ajatus siitä, että lohkoketjuteknologian mahdollistamien mikromaksualustojen sekä niihin linkittyvien älykkäiden sopimusten avulla olisi mahdollista vastata mikromaksujen verotukselliseen haasteeseen. Muun muassa suoratoistopalveluiden yhteydessä on ehdotettu sovellettavaksi sykäyksittäin tapahtuvaa, reaaliaikaiseen käyttöön perustuvaa *streaming payments* -veloitusmallia. Lohkoketjuteknologian ja älykkäiden sopimusten avulla myös tällaisen reaaliaikaisen maksumallin osalta voitaisiin verotusjärjestely toteuttaa ilman erillistä prosessia.

## 4.6 Mahdollisuudet kokonaisuutena: Asiakas toiminnan keskiöön

Tarvekartoituksessa kartoitettujen mahdollisuuksien osalta yhteisenä tekijänä selkeimmin nousee esiin palveluajattelu ja visio siitä, että teknologian avulla verotuksen asiakaskeskeisyyttä voitaisiin parantaa ja asiakas nostaa entistä selkeämmin toiminnan keskiöön. Vaikka mahdollisuuksia nähtiin laajasti uuden teknologian hyödyntämisessä, toisaalta tarvekartoituksessa nousi esiin myöskin se näkökulma, ettei teknologia yleensä ei ole ongelman ydin, vaan ongelmat ovat muualla.



Kuvio 4. Tarvekartoituksessa tunnistetut mahdollisuudet.

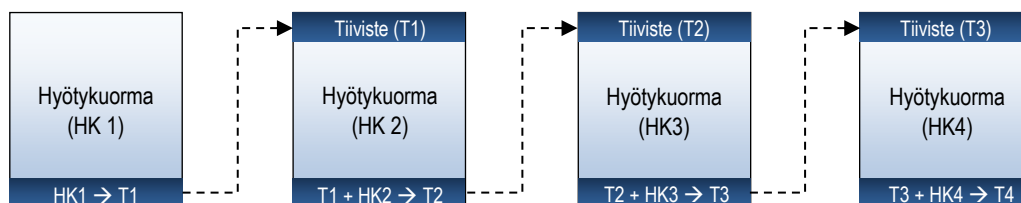
## 5 Lohkoketjuteknologian kuvaus

Lohkoketju-terminologian käyttö on laajentunut huomattavasti viime vuosina. Käsitteiden yhteyteen on assosioitu hyvin monenkaltaisia eri teknologia- ja järjestelmäratkaisuja ja käsitteitä on alettu käyttää yleistä transformaatiota kuvaavassa merkityksessä jopa digitalisaatio-käsitteen tasoisessa laajudessa. Pohjimmiltaan lohkaketjuteknologia voidaan ymmärtää työkaluna avointen vertaisverkkoalustojen synnyttämiseksi ja kasvattamiseksi verkon protokollan kannustinrakenteen sekä järjestelmän sisäisten kryptorahakkeiden kautta. Hajautetut tilikirjat puolestaan näyttävät ennemminkin perinteisen digitalisaation jatkeena.

### 5.1 Lohkoketju tietorakenteena

Lohkoketjuteknologialle ei ole tutkimuskirjallisuudesta tai muutoinkaan löydettävissä selkeää, yksiselitteistä ja yleisesti tunnustettua määritelmää. Käsitteet teknologian luonnehdinnasta eroavat eri keskustelutahojen välillä, ja käsitettä käytetään myös useilla eri keskustelun tasoilla, eri laajuisiin ja tasoisiin asiakokonaisuuksiin viitaten.

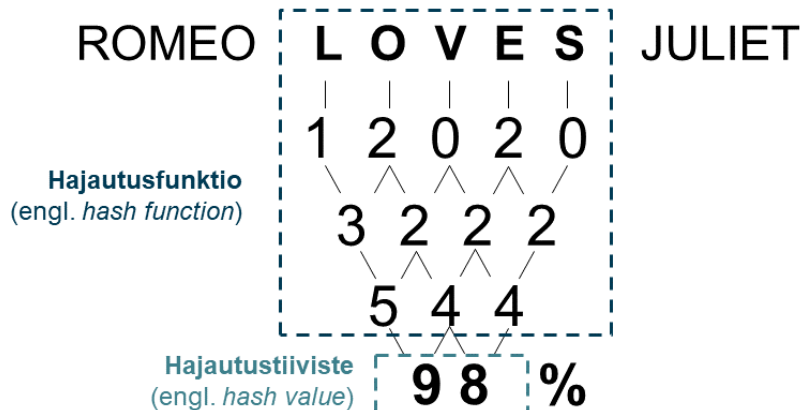
Suppeimmassa merkityksessään 'lohkaketju'-käsitteellä voidaan katsoa tarkoitettavan lohkaketjujärjestelmissä alun perin hyödynnettyä kryptografisesti ketjutettua tietokantarakennetta. Kyseiselle tietorakenteelle on ominaista ns. *append only* -muoto. Toisin sanoen, vanhoja merkintöjä ei milloinkaan poisteta tietokannasta, vaan kaikki kirjaukset (ml. vanhojen tietojen muokkaukset) lisätään tietokantaan uusina kirjauksina. Uudet kirjat paketoitetaan lohkoiksi, jotka ketjutetaan toisiinsa kryptografisten hajautustiivisteiden (engl. *'hash'*) avulla. (Nakamoto, 2008)



Kuvio 5. Lohkoketjutietorakenteessa kaikki muokkaukset lisätään tietokantaan kryptografisesti ketjutettuina lohkoina. Lohkon hajautustiiviste muodostetaan aina kyseisen lohkon hyötykuormasta ja edellisen lohkon hajautustiivisteestä.



Vaikkakin append only- rakennetta noudattavat lohkoketjutietokannat saattavat käytön myötä kasvaa huomattavan kookkaiksi, on lohkoketjumenetelmän etuna tavanomaisiin tietokantoihin verrattuna se, että lohkojen ketjuttamiseen käytetyistä hajautustiivisteistä voidaan nopeasti tunnistaa, ovatko tietokannan eri kopiot sisällöltään toisiaan vastaavia vai eivät.



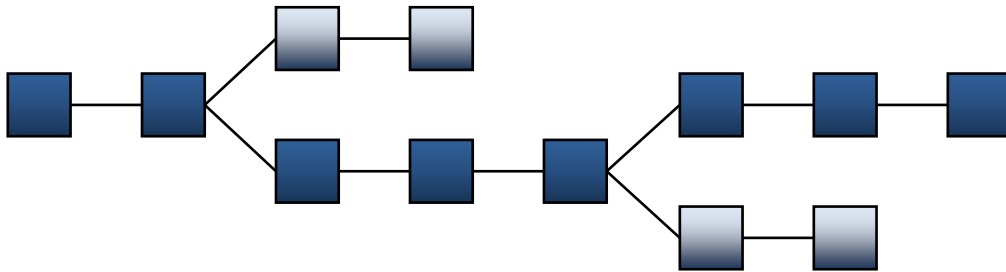
Kuvio 6. Rakkausprosentin laskukaava on yksi karkea esimerkki hajautusfunktioista. Menetelmässä lasketaan kahden henkilön nimiin sisältyvien LOVES-sanan kirjainten lukumäärä ja summat kirjataan keskelle taulukkoon LOVES-sanan alle. Tämän jälkeen vierekkäiset luvut lasketaan aina seuraavalle riville yhteen, kunnes tiivistyvän suppilon lopputuotteena syntyy hajautustiiviste—siis tässä tapauksessa rakkausprosentti. Funktio on yksisuuntainen: tietylle nimiparille muodostuva rakkausprosentti on nopeaa ja vaivatonta selvittää, mutta tietyn prosentin antavan nimiparin määrittely toiseen suuntaan etenemällä on aikaavievää ja vaivalloista. (Mattila, 2016b)

## 5.2 Lohkoketju vertaisverkkojärjestelmänä

Hieman laajemmassa määritelmässä 'lohkoketjuteknologialla' tarkoitetaan lohkoketju-tietorakenteeseen pohjautuvaa epähierarkista vertaismenetelmää hajautettujen ja replikoitujen digitaalisten tietokantojen luomiseksi. Järjestelylle ominaista on, että kuka tahansa voi vapaasti liittää oman tietokoneensa kyseisen verkoston osaksi ja kaikki siihen osallistujat ovat samanvertaisessa asemassa keskenään. Toisin sanoen, järjestelmässä ei ole keskuskontrollia harjoitettavaa, hierarkia-asemassa olevaa tahoa, jolla olisi muihin osallistujiin suoraa määräysvaltaa, vaan jokainen osallistuja säilyttää verkon tietokantaa sekä valvoo sen eheyttä itsenäisesti.

Lohkoketjuvertaisverkkojen järjestelmäkokonaisuudessa hyödynnetään lisäksi useita eri teknologiakomponentteja, kuten esimerkiksi julkisen avaimen salausmenetelmiä (PKI), digitaalisia virtuaalivaluuttarahakkeita ja edellä kuvattua kryptografisesti hajau-

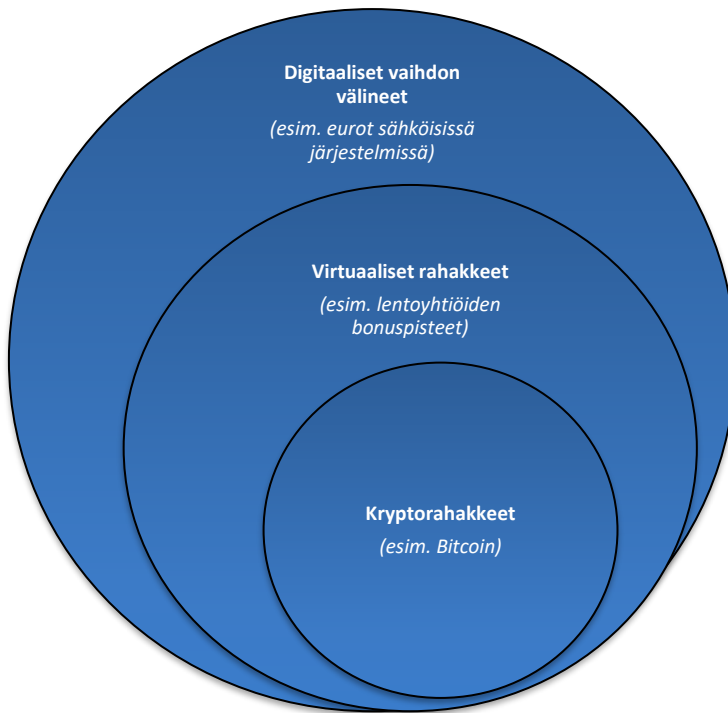
tustiivistein ketjutettua append only -tietokantarakenne. Vaikka lohkoketjuteknologian eri komponenttien muodostama kokonaisuus on teknisesti varsin moniulotteinen, pohjimmiltaan menetelmässä on kysymys lohkoketjutietorakenteen hyödyntämisestä hajautetun moniversiohallinnan (engl. *'distributed multiversion concurrency control'*) eli niin sanotun *konsensuksen* saavuttamiseksi ilman keskuskontrollin tarvetta. Hajautetun moniversiohallinnan avulla toisilleen tuntemattomat tahot voivat samanaikaisesti tehdä verkoston yhteiseen tietokantaan muokkauksia ilman keskinäisten ristiriitojen vaaraa. Toisin sanoen, kaikilla verkoston jäsenillä säilyy yhteinen käsitys verkoston tietokannan muokkaushistoriasta ja tosiasiallisesta tilasta, vaikka eri tahot pyrkisivät muokkaamaan tietokantaa samanaikaisesti eri tavoin, ja ilman, että yksikään taho olisi hierarkia-asemassa muihin nähden päättämässä tietokannan sisällöstä.



Kuvio 7. Konsensumekanismin avulla määritellään, millaista lohkojen ketjua ja tietokannan muokkaushistoriaa pidetään järjestelmässä sen todellisena sisältönä. Esimerkiksi työtodistukseen (engl. *'proof of work'*) perustuvassa konsensusmenetelmässä lähtökohtana on, että suurimman hajautustiivisteiden laskentatyötä sisältävä lohkojen ketju on järjestelmän todenmukainen muokkaushistoria.

### 5.3 Kryptorahakkeet lohkoketjujärjestelmän kannustinmekanismina

Kryptorahakejärjestelmät, eli kansanomaisemmin 'kryptovaluutat' ovat olleet osa lohkoketjuteknologian kehitystä aina vuodesta 2008 asti, jolloin lohkoketjuteknologian ensimmäinen varsinainen sovellus syntyi Bitcoin-kryptovaluuttajärjestelmän muodossa (Nakamoto 2008). Yleiskielellisestä nimestään huolimatta "kryptovaluutan" ei lähtökohtaisesti voida katsoa olevan valuuttaa sanan perinteisessä merkityksessä, vaan sen määritelmä lienee edelleen juridisesti jokseenkin epäselvä. Karkeasti ajatellen Bitcoinin kaltaisia kryptorahakkeita voidaan kuitenkin luonnehtia omaksi omaisuuslajikseen—jonkinlaiseksi rahan, arvopaperin ja joukkorahoitusinstrumentin yhteensulautumaksi, jolla ei ole yksilöitävissä olevaa liikkeellelaskijaa tai suoraa implisiittistä käyttöarvoa.



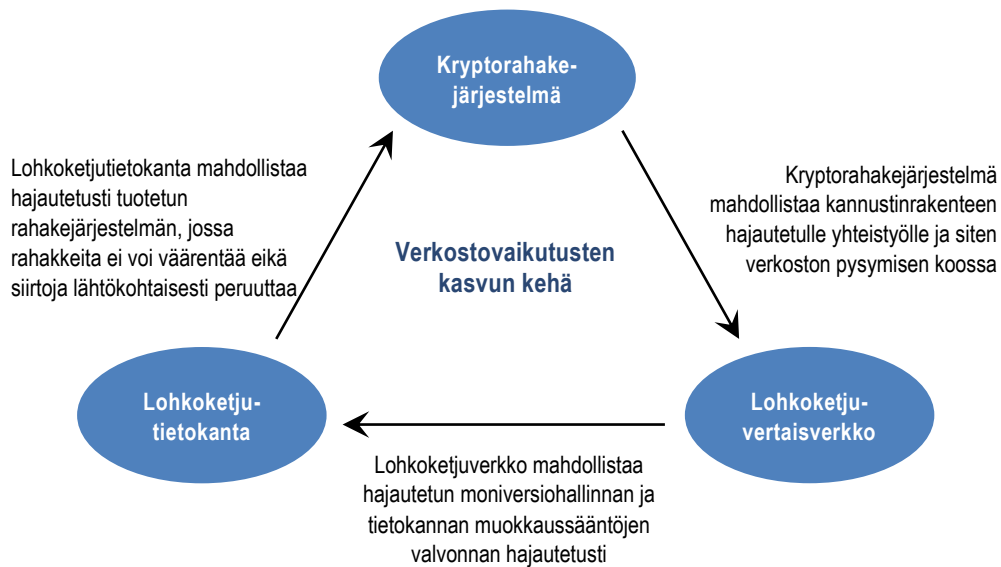
Kuvio 8. Eräs mahdollinen toiminnallinen luokittelu, jossa kryptorahakkeet ovat osa virtuaalisten rahakkeiden kokonaisuutta, ja siten osa laajempaa digitaalisten vaihdon välineiden kirjoa.

Vaihdannan välineiden näkökulmasta kryptorahakkeita voidaan luonnehtia esimerkiksi toiminnallisella luokittelulla (ks. kuvio 5), jossa kryptorahakkeet ovat osa virtuaalisten rahakkeiden kokonaisuutta. Euroopan keskuspankin määritelmän mukaan virtuaalisella rahakkeella tarkoitetaan ”säätlemätöntä digitaalista maksuvälinettä, joka laskeaan liikkeelle ja jota hallinnoidaan sen kehittäjien toimesta, ja jota käytetään maksuvälineenä virtuaalisessa yhteisössä”. (ECB 2012) Virtuaaliset rahakejärjestelmät voivat olla ns. suljettuja (esim. tietokonepelien sisäiset maksujärjestelmät) ts. vailla reaalisia vaikutuksia ympäröivään todellisuuteen, tai avoimia (esim. lentoyhtiöiden lentopisteet) ja siten ulkopuoliseen todellisuuteen linkittyviä.

Virtuaalirahakkeet puolestaan voidaan ymmärtää osaksi laajempaa *digitaalisten vaihdon välineiden* kirjoa. Kaiken kattavaa ja selkeää määritelmää niille on sääntelystä tai muista virallislähteistä haastavaa löytää. Toiminnallisesta näkökulmasta digitaalisiksi vaihdon välineiksi voidaan kuitenkin tässä yhteydessä mieltää kaikki sellaiset digitaalisessa muodossa esiintyvät arvoa kuvastavat mittayksiköt, joita voidaan siirtää sähköisissä tietoverkoissa (kuten esim. pankkitilille talletetut eurot).

Avointen lohkoketjujärjestelmien toimintaan liittyy kehämäinen kausalitettisuuhde, jossa kryptorahakkeilla on keskeinen rooli järjestelmän koossa pitävänä voimana (ks.

kuvio 9). Kryptorahakkeiden välityksellä lohkoketjujärjestelmään voidaan sisäänrakentaa kannustinrakenteita, joiden avulla toisilleen tuntemattomat tahot voidaan valjastaa työskentelemään yhdessä järjestelmän ylläpitämiseksi ja turvaamiseksi. Näiden kannustinten kautta muodostuva avoin yhteistyö mahdollistaa järjestelmän tietokannan säilyttämisen hajautetusti, sekä mm. verkon protokollassa määriteltyjen tietokannan muokkaussääntöjen valvonnan. Muokkaussääntöjen noudattaminen puolestaan on välttämätöntä kryptorahakejärjestelmän toiminnalle: esimerkiksi kertaalleen siirrettyä rahakesummaa ei samalta tililtä voi siirtää enää uudelleen, eikä tilin saldon ylittäviä transaktioita voi tehdä. Rahakejärjestelmän luotettavuuden parantuminen puolestaan tehostaa järjestelmän kannustinten vaikutusta entisestään.



**Kuvio 9. Avoimia lohkoketjujärjestelmiä koossa pitävä kehämäinen kausiliteettisuhte, joka ruokkii verkostovaikutusten kasvua. (Mattila, 2019)**

Kehän jokaisen elementin vahvistuminen siis parantaa kasvun edellytyksiä myös muilla kehän osa-alueilla. Näin syntyy itseään ruokkivien verkostovaikutusten kasvun kehä. Toisin sanoen, jokainen uusi lohkoketjujärjestelmään osallistuva taho hyödyttää läsnäolollaan kaikkia muita järjestelmän osallistujia ja houkuttelee myös uusia tahoja liittymään järjestelmän osaksi.

Pohjimmiltaan lohkoketjuteknologia voidaankin nähdä työkaluna avointen vertaisverkkoalustojen synnyttämiseen avoimen lähdekoodin protokollakehityksen ja siihen sisällytettävien kryptorahakepohjaisten kannustinmekanismien avulla. Kun järjestelmä tällä tavoin suunnitellaan yhteistyön kannustinrakente edellä, voidaan verkon tuottaman lisäarvon jakautuminen määritellä jo ennen järjestelmän syntyä huomattavasti aiempaa yksityiskohtaisemmin ja laajemmin (ks. kuvio 10).

Yllä kuvattu itseään ruokkivan kasvun kehä voidaan nähdä myös keskeisenä lohkoketjualustoja sekä jäljempänä käsiteltäviä DLT-alustoja erottavana määritelmätekijänä. Avointen lohkoketjujärjestelmien olemassaolo, kilpailukyky ja elinvoimaisuus ovat nimittäin vahvasti yhteydessä järjestelmän verkostovaikutusten laajuuteen. Lohkoketjujärjestelmät onkin yleensä jo lähtökohtaisesti suunniteltu ruokkimaan täysin avointa ja rajoittamatonta kasvua järjestelmän kaikilla osa-alueilla niin paljon kuin suinkin mahdollista. DLT-järjestelmien kasvupyrkimykset sen sijaan tavanomaisemmin vaikuttaisivat noudattelevan perinteisemmän alusta-ajattelun logiikkaa, eikä niihin siten välttämättä liity vastaavia verkostovaikutusten kasvutavoitteita järjestelmän kaikilla osa-alueilla.

**Kuvio 10.** Lohkoketjujärjestelmissä entistä suurempi osa järjestelmän tuottamasta arvonnisästä allokoituu jo protokollatasolla järjestelmän sovelluskerroksen sijaan. (Monegro, 2016)



On todettava, että kokonaisuutena arvioiden lohkoketjujärjestelmät ovat monessa suhteessa varsin kankeita ja yleensä myöskin perinteisiä tietojärjestelmiä huomattavasti kalliimpia ylläpitää. Lohkoketjujärjestelmät voivat kuitenkin joissakin tilanteissa olla joillekin toimijoille perinteisiä tietojärjestelmäarkkitehtuureita houkuttelevampia sosiaalisten innovaatioiden teknologisenä perustana. Ruohonjuuritasolta lähtevä hajautetun ja epähierarkisen kasvun menetelmä voi esimerkiksi tarjota mahdollisuuden synnyttää alustoja, jotka muutoin todennäköisesti jäisivät syntymättä esimerkiksi regulatiivisten rajoitteiden vuoksi. Useimmiten tällaisesta tilanteesta ei kuitenkaan vaikuta olevan kysymys yritys- ja julkistoimijoiden sovelluspyrkimyksissä, jotka lähtökohtaisesti pyrkivät toimimaan lakia noudattaen ja sen asettamissa rajoissa.

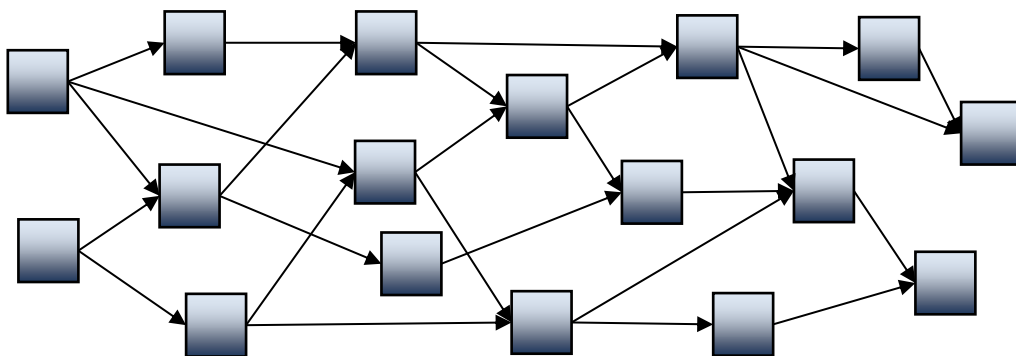
Lohkoketjujärjestelmien sisäisiin kryptorahakkeisiin perustuva kannustinrakenne voidaan yhdestä näkökulmasta mieltää myös uudeksi avoimen lähdekoodikehityksen kaupallistamisen tavaksi. Lohkoketjujärjestelmissä kuka tahansa toimija voi investoida

järjestelmän kehitykseen ostamalla markkinaehtoisesti järjestelmän sisäisiä kryptorahakkeita pois markkinoilta. Kun liikkeelle laskettujen rahakkeiden määrä on järjestelmän protokollan säännöissä rajattu, on ajatuksena, että kaikki järjestelmän verkostovaikutusten kasvua edesauttava toiminta heijastuu suoraan rahakkeiden hintaan. Näin ollen kasvua edesauttanut taho voi myydä sijoituksena hankkimansa rahakkeet takaisin markkinoille tai syöttää ne suoraan takaisin kiertoon käyttämällä niitä vastaan järjestelmän palveluita. (Ks. tarkemmin Mattila–Seppälä, 2018)

## 5.4 Lohkoketjuteknologia osana laajempaa teknologiapinoa

Lohkoketjuteknologian ensimmäisen käyttösovelluksen, Bitcoin-kryptovaluuttajärjestelmän alkuaikoina järjestelmän tietorakenne, verkoston arkkitehtuuri ja käyttäjäsovellus näyttäytyivät luontevasti saman asian eri käänköpuolina, sillä muita laajasti tunnettuja sovelluksia ei juurikaan vielä oltu kehitetty. Piakkoin alalle kuitenkin ilmaantui toimijoita, jotka keskittyivät Bitcoin-järjestelmässä konseptoidun teknologiapinon kehittämiseen ja paranteluun myös erilaisin vaihtoehtoisin ratkaisuin. Jo varhaisessa vaiheessa kävi nimittäin selväksi, ettei täysin hajautettu ja synkronisoitu järjestelmä kovinkaan monipuolisesti sovellu esim. yritysmaailman innovaatioiden teknologiseksi perustaksi. Järjestelmän skaalautuessa lineaarisesti ennemminkin tietokannan moniversiohallinnan luotettavuuden kuin järjestelmän käyttökapasiteetin suhteen, teknologian liittäminen olemassa oleviin prosesseihin oli takkuilevaa ja lisäarvoa tuottavien käyttötapausten hahmottelu perinteisessä maailmassa haastavaa (Ks. esim. Hukkinen et al. 2019).

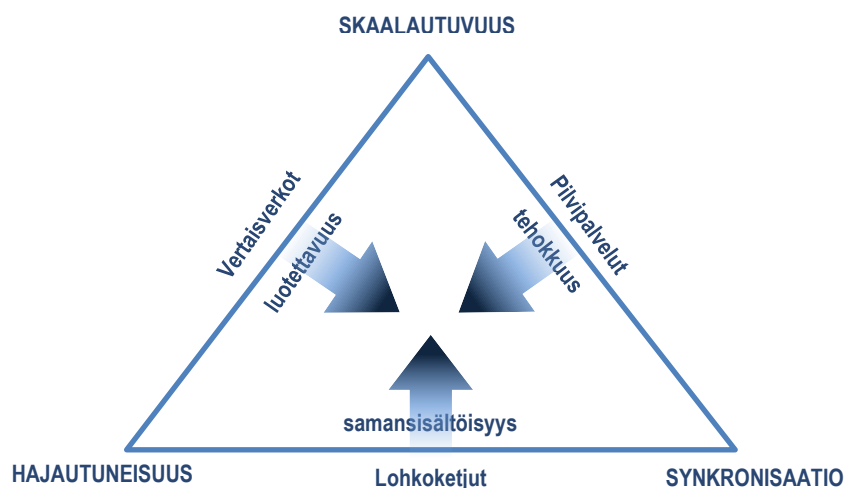
**Kuvio 11.** Lohkoketju-käsitteen käytön laajentumisen myötä termin yhteyteen on assosioitu myös muunlaisia tietorakenteita soveltavia teknologiapinoja. Eräs esimerkki tästä ovat niin sanotut suunnatut syklittömät verkot (engl. 'directed acyclic graph'), joissa lohkojen epälineaarilla ketjuttamisella tavoitellaan parempaa verkon skaalautuvuutta.



Kehityksen seurauksena lohkoketjuteknologian käsite laajeni ajan myötä käsittämään laajan kirjon erilaisia tietorakenteita, teknologiapinoja ja järjestelmäarkkitehtuuria, joiden käyttötarkoitus ja sovellettavuus saattoivat merkittävästikin poiketa toisistaan (Mattila, 2016a). Esimerkiksi edellä kuvattua kehämäistä kausaliteettiketjua ei järjestelmissä enää välttämättä esiintynyt, ja käsitys erilaisilla teknologiakonfiguraatioilla saavutettavista käyttöhyödyistä hämärtyi yleisessä keskustelussa.

Viime vuosina on laajemmin alettu nähdä myös kehitystä, jossa lohkoketjujärjestelmien skaalautuvuuksia tavoitellaan ns. toisen tason (engl. *'layer 2'*) ratkaisulla (esim. Lightning Network, Rootstock, Raiden Network). Yleisesti ottaen niitä voidaan luonnehtia erilaisiksi oheis- ja kuoriverkkoratkaisuiksi, jotka rakentuvat lohkoketjujärjestelmän päälle tai ympärille. Niiden avulla tasapainoa järjestelmän skaalautuvuuden, hajautuneisuuden ja synkronisaation välillä voidaan kehittää, sillä eri kerroksilla voidaan valita erilaisia toisiaan tukevien ominaisuuksien yhdistelmiä. Ajatuksena on, että näin verkostosta kokonaisuutena saatava käyttöhyöty ja lisäarvo on sen yksittäisiä kerroksia suurempi (ks. kuvio 12) (ks. esim. Poon–Dryja, 2016; Poon–Buterin, 2017).

Kuvio 12. Verkkotietokantojen trilemma, jossa mahdollista on saavuttaa täydellisesti korkeintaan kaksi seuraavista ominaisuuksista: 1) hajautettu verkon rakenne, jossa ei ole yksittäisiä murtumis- tai kontrollipisteitä; 2) synkronisoitu moniversiohallinta, jossa kaikki verkon solut näkevät tietokannan jatkuvasti samansisältöisenä; ja 3) luku- ja kirjauskapasiteetin lineaarinen skaalautuvuus käyttöasteen mukaan. Viime vuosina on nähty lähentymistä ääripäiden välillä, sillä eri teknologioiden pohjalta on lähdetty kehittämään erilaisia ratkaisuja, joiden keskiössä on ollut pyrkimys tasapainottaa riittävä määrä tehokkuutta, luotettavuutta ja samansisältöisyyttä lisäarvoa tuottavaksi kokonaisuudeksi (soveltaen McConaghy, 2016).



## 5.5 Hajautetut tilikirjat

Hajautettu tilikirja (myös mm. 'hajautettu pääkirja') (engl. *'distributed ledger technology'*, lyh. *DLT*) yleistyi käsitteenä käyttöön lohkoketju-käsitettä joitakin vuosia myöhemmin. Sen kehittymisen taustalla oli havainto siitä, etteivät kalliit ja vaikeasti hallittavat lohkoketjujärjestelmät soveltuneet yritysten perinteisiin liiketoimintaprosesseihin kovinkaan hyvin. Syntyi ajatus erilaisista yksityisistä ja puoliavoimista lohkoketjuista (engl. *'private blockchain'*, *'permissioned blockchain'*, *'federated blockchain'*, *'consortium blockchain'* jne.), joissa käyttöoikeudet olisivat luotettuun lähipiiriin rajattuja ja siten luvanvaraisia, eikä kallista hajautustiivisteiden laskentaan perustuvaa hajautettua moniversiohallintaa näin ollen tarvittaisi. Yksityisen lohkoketjun käsite muodostui kuitenkin pian hyvin kiistanalaiseksi, sillä järjestelmät, joihin termillä tavattiin viitata, olivat koostumukseltaan, ominaisuuksiltaan sekä sovellettavuudeltaan olennaisilla tavoilla avoimista, varsinaisista lohkoketjuista poikkeavia. Näin ollen käyttöön yleistyi hajaute-  
tun tilikirjan käsite.

Jäljempänä raportin luvussa 5.8 käsiteltävästä määritelmien häilyvyydestä huolimatta hajautetun tilikirjan voidaan tulkita olevan käsitteenä lohkoketjun edellä luonnehdittua määritelmää huomattavasti laajempi ja vapaammin määritelty. DLT-järjestelmät eivät esimerkiksi välttämättä sisällä lainkaan kryptografisia rahakkeita, jotka lohkoketjujärjestelmissä edellä kuvatuksi tarvitaan kannustinrakenteen luomiseen. DLT-järjestelmät eivät myöskään välttämättä lainkaan sovelta kryptografisesti hajautustiivisteiden avulla ketjutettua lohkoketjutietorakennetta tai muitakaan lohkoketjuteknologiapinon elementtejä.

Teknologiakonfiguraatioiden eroavaisuuksien lisäksi DLT- ja lohkoketjujärjestelmiä erottaa toisistaan hyvin tavanomaisesti myös lähdekoodin avoimuus. Koska lohkoketjujärjestelmissä ei niiden vertaisverkkoluonteesta johtuen ole hierarkiarakennetta tai järjestelmän omistajaa, on niiden perustana olevan ohjelmointikoodin jo lähtökohtaisesti oltava täysin avointa. Avoimeen lähdekoodiin puolestaan erottamattomasti liittyy oikeus tehdä koodista omia muokattuja versioita (engl. *'the right to fork code'*) (Nyman–Lindman, 2013). Ikään kuin tämän ominaisuuden jatkumona, lohkoketjujärjestelmiin liittyy aina mahdollisuus muokata järjestelmän lähdekoodia ja perustaa sen pohjalta uusi lohkoketjujärjestelmä. Näin ollen lohkoketjujärjestelmien kehitys ei kulje toisistaan erillään, vaan yhden verkoston koodiin tehdyt parannukset voidaan aina ottaa käyttöön myös muissa vastaavissa järjestelmissä.

Hajautetuissa tilikirjoissa vastaavaa mahdollisuutta ei tavanomaisimmin ole, vaan järjestelmät perustuvat yleensä yksityisomistuksellisen lähdekoodin käyttöön. Näin ollen DLT-järjestelmistä ei voida myöskään muodostaa uutta verkostoa niiden lähdekoodia uuden pääteohjelman perustana käyttäen, eikä yhdessä verkostossa käyttöön otettuja



päivityksiä ja parannuksia voida avoimesti hyödyntää vastaavissa kokonaisuuksissa toisaalla. Yleisesti ottaen hajautettua tilikirjaa soveltavat DLT-järjestelmät edustavatkin pääsääntöisesti asteittaisia parannuksia yksittäisiin olemassa oleviin arvoketju- ja tietojärjestelmä rakenteisiin.

## 5.6 Lohkoketju ja hajautettu tilikirja yhteiskunnallisena narratiivina

Syvällä ytimessään digitalisaatio voidaan ymmärtää integraatiokehitykseksi eri tietojärjestelmien välillä. Tutkimus on kuitenkin osoittanut, että monilla aloilla tietojärjestelmien yhdistäminen toimialan laajuisiksi järjestelmien järjestelmiksi ja sitä laajemmaksi järjestelmien verkostoksi on osoittautunut haastavaksi (ks. kuvio 10). Osaltaan kehityksen laahaavuutta on selitetty strategisen vision puutteella. Digitalisaation integraation merkitystä ja relevanssia oman liiketoiminnan näkökulmasta ei aina yrityksissä hahmoteta, eikä muutospainetta tältä osin ole ehkä ollut toimialalla pakottavaa. Toisaalta syiden on katsottu liittyvän datan liikkuvuuteen. Vanhat ja kerroksittain rakentuneet tietojärjestelmä ratkaisut tekevät järjestelmäpäivityksistä työläitä, hintavia ja usein myös kokonaisuuden kannalta riskialttiita. Datan omistajuudesta sopimiseen ei myöskään toistaiseksi ole olemassa vakiintuneita käytäntöjä (Tähtinen, 2018).

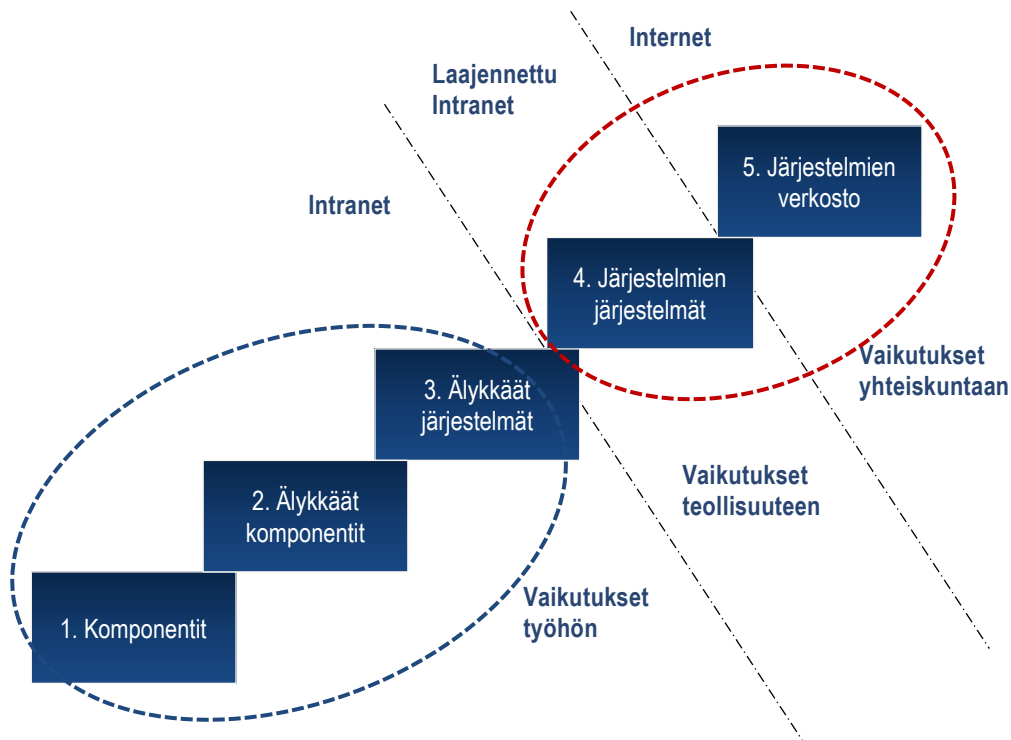
Kuten jo aiemmin todettiin, lohkoketjuteknologian hyödyntäminen vallitsevissa talouden prosesseissa ja yhteiskunnan rakenteissa on niin ikään osoittautunut hankalaksi. Usein niissäkin tilanteissa, joissa soveltaminen teknisesti ottaen olisi mahdollista, lohkoketjuteknologian ylivoimaisuutta muihin teknologiaratkaisuihin nähden on ollut vaikea perustella. (Ks. esim. Hukkinen et al., 2019) Käsitteistön laajentumisen myötä lohkoketjuteknologian vaikeaselkoisuuteen liittyvä kiehtova mystiikka on kuitenkin monella alalla tullut valjastetuksi osaksi digitalisaation integraatiokehityksen tarinankerrontaa. Kun digitalisaation integraatiokehityshankkeet puetaan teknologian eturintamalle mielletyn lohkoketjuteknologian kaapun, on niiden kustannukset helpompi oikeuttaa ja alan toimijat helpompi istuttaa saman pöydän ääreen kehittämään yhteisiä ratkaisuja koko alaa uhkaavaa teknologista murrosta vastaan.

Vastaavaa narratsoivaa retoriikkaa on alettu suosia niin ikään myös hajauttamisen (engl. 'decentralization') käsitteen kohdalla. Lohkoketjujen ja hajautettujen tilikirjojen myötä mitä moninaisimmista teknologisen ja yhteiskunnallisen kehityksen eri aspekteista on alettu keskustella hajauttamisen terminologian kautta. Siinä, missä keskustelun yhdessä ääripäässä hajauttamisella saatetaan viitata kryptoanarkistisiin pyrkimykseen olemassa olevien yhteiskunta- ja valtarakenteiden purkamiseksi uusien teknologia-alustojen avulla, keskustelun toisessa ääripäässä käsitteen käyttö voi liittyä hyvinkin

suppeasti esim. vain datan liikuteltavuutta parantavaan järjestelmäintegraatioon. (Walch et al., 2019)

Näyttääkin siltä, ettei lohkokejuteknologialle tai järjestelmien hajautukselle ylipäätään tässä merkityksessä itsessään ole kovinkaan monissa perinteisissä talouden ja yhteiskunnan prosesseissa ollut suoranaista käyttöä. Epäsuorasti laajemmin ajateltuna lohkokejuteknologia vaikuttaa kuitenkin narratiivinsa ansiosta toimineen katalyyttinä tavanomaisemmalle digitaalisten järjestelmien väliselle integraatiokehitykselle.

Kuvio 13. Digitalisaation integraatiokehityksessä murtautuminen järjestelmätasolta kohti sulautettuja järjestelmien järjestelmiä on osoittautunut vaikeaksi. Lohkokejuteknologian narratiivi on toiminut katalyyttinä kehitykselle ja siten mahdollisesti edesauttanut siirtymää (soveltaen Porter–Heppelmann, 2014; Juhanko et al., 2015; Ailisto et.al., 2016).



## 5.7 Älykkäät sopimukset

Älykkäiden sopimusten käsite muodostui 1990-luvulla jo kauan ennen ensimmäisten lohkokejusovellusten syntyä (Szabo, 1994; Szabo, 1997; ks. myös Lauslahti et al., 2018). Alkuperäisessä määritelmässään älynsopimuksilla tarkoitettiin koneellisesti luettavia transaktioprotokollia, ts. eräänlaisia digitaalisessa muodossa määriteltyjä sitoumusten kokonaisuuksia. Myöhemmin 2010-luvulla heräsi jäsennellympi ajatus siitä,

että lohkoketjujärjestelmissä tehtäviä transaktioita voitaisiin ohjelmoida järjestelmään mahdollisesti toteutettavaksi etukäteen määriteltyjen reunaehtojen toteutuessa. Oivaluksen myötä aiempina vuosikymmeninä kehitetty älysopimuksen käsitteistö tuli liitetyksi ja täten ikään kuin jälkeenpäin sovitetuksi lohkoketjuteknologian kontekstiin (Lauslahti et al., 2018).

Sittemmin myös älykkäiden sopimusten käsitteen käytössä on alkanut esiintyä häilyvyyttä. Etenkin viime aikojen aktiivinen tekoälykeskustelu on tuonut mukanaan omat, ajoittain harhaanjohtavatkin assosiaationsa käsitteelle. Tässä raportissa älykkäillä sopimuksilla (engl. 'smart contracts') viitataan kuitenkin yksinomaan lohkoketjuarkkitehtuuria hyödyntävässä tietoteknisessä suoritusympäristössä suoritettaviin tietäntyyppiisiin tietokoneohjelmiin. Alkuperäisen älysopimusten konseptin henkisesti kyseisiä ohjelmia voidaan luonnehtia mahdollisiksi työnkulku- tai maksupalvelutransaktioiksi.

Tarkemmin määriteltynä älykkäillä sopimuksilla tarkoitetaan tässä raportissa digitaalisia tietokoneohjelmia, jotka:

- on laadittu ohjelmointikielellä koodimuodossa
- säilytetään ja suoritetaan hajautetusti lohkoketjuvertaisverkossa
- voivat vastaanottaa, säilyttää ja siirtää lohkoketjuverkoissa käytettäviä kryptovaluuttarahakkeita, ja
- voivat toteuttaa erilaisia lopputulemia sisäisestä logiikastaan riippuen

Määritelmästä voidaan helposti havaita, etteivät älykkäät sopimukset monessakaan suhteessa muistuta perinteisiä digitaalisia sopimuksia. Poiketen tekojen, puheen tai kirjoituksen välityksellä muodostetuista sopimuksista ja esimerkiksi tietokoneohjelmiin sisällytetyistä click-wrap -ehdoista, älykäs sopimus on luonteeltaan puhtaasti koodille rakentuva tietokoneohjelma. Näin ollen älykkäät sopimukset eivät aina välttämättä täytä juridisen sopimuksen tunnusmerkistöä, jos esimerkiksi sopijaosapuolia tai näiden tahdonilmaisuja tai sopimuksen perustavia tosiseikkoja ei voida sopimuksen koodista tai toiminnasta määritellä. Keskeisenä erona tavanomaisiin digitaalisiin sopimuksiin on kuitenkin se, että älykkäät sopimukset säilytetään ja suoritetaan hajautetussa vertaisverkkoympäristössä, jolloin koodin oikeudenvastainen muuttaminen tai sen suorittamisen estäminen verkossa on erittäin hintavaa ja hankalaa. (Lauslahti et al., 2018; ks. myös esim. Koulu, 2016)

Älykkäiden sopimusten olemusta on ajoittain luonnehdittu vertaamalla niitä tavalliseen hedelmäpelialutamaatiin. Hedelmäpelialutamaatissa on sisäinen mekaaninen logiikka, joka ohjaa koneen toimintaa, ja jonka oikeudenvastainen muuttaminen on mahdotonta johtuen siitä, että mekanismit on sijoitettu koneen sisälle suljettuun koteloon. Vastaa-

valla tavalla älysopimusten oikeudenvastainen muuttaminen on erittäin vaikeaa juuri-kin sen johdosta, että älykkäiden sopimusten ohjelmointikoodi säilytetään ja suoritetaan hajautetuissa vertaisverkoissa, lohkoketjuteknologiaan nojautuen.

Hedelmäpeliautomaatti kykenee niin ikään ottamaan vastaan maksuvaluutta hyväksyttävien kolikoiden muodossa. Älykkäiden sopimusten eräs keskeisimmistä piirteistä on vastaavasti se, että ne kykenevät vastaanottamaan arvo-omaisuutta kryptorahakkeiden muodossa älysopimuksen hallinnoimalle lohkoketjutilille, josta sopimuksen ohjelmointikoodilla niitä voidaan hallinnoida ja siirtää eteenpäin.

Nimestään huolimatta, älykkäät sopimukset eivät yleisesti ottaen ole älykkäitä, eivätkä ne myöskään luontevasti lukeudu esimerkiksi tekoälyn yleisten määritelmien piiriin. Onkin todettava, että loppuviimein lohkoketjupohjaisissa älysopimuksissa on kysymys hyvin pitkälti perinteistä ohjelmistokehitystä muistuttavista tietokoneohjelmista, jotka suoritetaan vertaisverkossa toisinnettu eri solujen toimesta yhteistä moniversiohallintaa ja konsensusmekanismia noudattaen.

## 5.8 Yleisiä väärinkäsityksiä ja lohkoketjuteknologian kritiikkiä

Lohkoketjuteknologian mahdollisuuksista on yleisesti vallalla useita erilaisia käsityksiä, joista läheskään kaikki eivät tosiseikkojen valossa ole kovinkaan vahvalla pohjalla. Lohkoketjutietorakennetta näkee esimerkiksi ajoittain kuvailtavan ”lopulliseksi” tai ”muuttumattomaksi” (engl. ’immutable’), tarkoittaen, että järjestelmän protokollaan sisällytetyt algoritmiset konsensusäännöt estävät tietokantaan tehtyjen kirjausten muuttamisen jälkikäteen. Tältä pohjalta on muodostunut käsitys, että lohkoketju olisi turvallinen ja luotettava tietovaranto, jossa tietojen oikeellisuus on taattu.

Kuvatun kaltaisiin väittämiin on kuitenkin syytä suhtautua erityisellä varauksella. Esimerkiksi tiedon muuttumattomuuden osalta voidaan todeta, että kaikissa lohkoketjujärjestelmissä verkon konsensuksen muodostuminen on loppuviimein pohjimmiltaan aina sosiaalista, ei algoritmista. Vaikkakin tietokannan moniversiohallinta ja muokkaussääntöjen valvonta tapahtuvat lohkoketjujärjestelmissä protokollassa määriteltyjen sääntöjen mukaan, loppupelissä on aina verkon käyttäjien päätäntävällässä, millaista protokollaa noudattavaa pääteohjelman versiota he omalla verkon solullaan ajavat. Periaatteessa mikään ei siis estä verkon käyttäjiä muuttamasta konsensusääntöjä ja yhteisen lohkoketjutietokannan muokkaushistoriaa haluamallaan tavalla. Vas-

taavasti, vaikka lohkoketjutietorakenteeseen lisättävät lohkot ketjutetaan kryptografisin varmentein toisiinsa, nojaa yhteisymmärrys ketjun alkupisteestä kuitenkin täysin sosiaalisen konsensuksen varassa (Mattila–Seppälä, 2018).

Harhakuvaan perustuu niin ikään käsitys siitä, että edellä mainittu muokkaushistorian muuttaminen vaatisi verkoston enemmistökannatuksen. Kuten edellä luvussa 5.5 todettiin, kuka tahansa yksittäinenkin taho voi ottaa olemassa olevan lohkoketjujärjestelmän koodin sekä muokkaushistorian ja perustaa niiden pohjalta uudenlaista konsensusprotokollaa noudattavan uuden haarauman alkuperäisestä ketjusta. Tällöin on loppuviimein täysin järjestelmän ulkopuolisen tulkinnan varassa, mitä alkuperäisen lohkoketjun haaraumista pidetään järjestelmän oikeana ja todellisena versiona. Vastavasti, hierarkiarakenteen puuttuessa ei ole tavattoman harvinaista, ettei esimerkiksi järjestelmän konsensusääntöjä muuttavasta versiopäivityksestä päästä verkon jäsenten välillä yhteisymmärrykseen. Aika ajoin tästä on seurannut tilanteita, joissa käyttäjien ajamien pääteohjelmaversioiden konsensusprotokollat poikkeavat toisistaan niin merkittävästi, etteivät ne enää tunnista toisiaan saman verkon jäseniksi, ja verkko jakaantuu kahtia. Tällaisessa haaraumatilanteessa (engl. *forking*), jossa verkon yksi yhtenäinen moniversiohallinta menetetään, ei voida täysin yksiselitteisesti määritellä, kumpaa verkon haaraumista voidaan pitää alkuperäisen tietokannan autenttisena jatkeena (Filippi–Loveluck, 2016; Lauslahti et al., 2018; Mattila–Seppälä, 2018; Nyman–Lindman, 2013).

Lohkoketjuteknologian on myös usein kuvailtu poistavan tarpeen luottaa kolmansiin osapuoliin sähköisessä ympäristössä. Tältä osin voidaan vastaavasti todeta, ettei lohkoketjuteknologia lähtökohtaisesti poista välikäsiä järjestelmän palveluntarjonnasta, vaan itse asiassa yleensä lisää välikäsiä määrää merkittävästi. Tarkemmin ilmaistuna voidaan kuitenkin todeta, että hajautetun rakenteensa ansiosta järjestelmä vähentää riippuvuutta järjestelmän yksittäisistä välikäsistä. Tässä yhteydessä on kuitenkin syytä huomauttaa, ettei mitään yksiselitteistä ja yleisesti hyväksyttyä tapaa lohkoketjujärjestelmien hajautuneisuuden asteen mittaamiselle ole toistaiseksi tarjolla. Toiseksi, osaltaan lohkoketjujärjestelmien anonymiteetistä johtuen, niiden ympärillä vallitsevia sosiaalisia valtarakenteita voi olla haastavaa kokonaisuudessaan hahmottaa. Näin ollen, vaikka lohkoketjujärjestelmien hajautetussa vertaisverkkorakenteessa luottamuksen tarve onkin perinteisiä järjestelmiä ”pirstaleisempaa”, loppuviimein käyttäjän käsitys järjestelmän hajautuksen asteesta ja osallistujien vertaisasemasta toisiinsa nähden lepää pitkälti uskomusten ja luottamuksen varassa (Mattila–Seppälä, 2018; Walch, 2019).

Toisaalta DLT-järjestelmien osalta voidaan todeta, että niillä saavutettavat hyödyt suhteessa perinteisempiin hajautettuihin tietojärjestelmäratkaisuihin vaikuttavat usein olevan niin ikään varsin hataralla pohjalla. Kuten todettua, hajauttamisen käsitteelle (engl. *'decentralization'*) ylipäätään ei ole kyetty muodostamaan lohkoketju- ja DLT-

keskustelussa yksiselitteistä määritelmää, ja onkin jopa esitetty, että koko käsitteen käytöstä ylipäätään tulisi kokonaan luopua (Ks. Walch et al., 2019). Hajauttamisen käsitteen häilyvyydestä on seurannut myös hajautettujen tilikirjojen määritelmän laventuminen kattamaan lähestulkoon millaisia tahansa integroituvia tietojärjestelmäkonfiguraatioita. Määritelmällinen epäselvyys puolestaan on tehnyt järjestelmien systemaattisesta luokittelusta ja analysoinnista vaikeaa.

Osaltaan DLT-käsitteen käytön taustalla lieneekin ennen kaikkea siihen liitetty tasa-vertaisempi mielikuva tavasta, jolla digitalisaation integraatiohankkeita ja niissä kehitettyjä järjestelmiä voidaan DLT-perusteisesti kehittää ja hallinnoida. Lähtökohtaisesti nimittäin voitaneen todeta, etteivät yritykset mielellään alistu sellaisten järjestelmäarkkitehtuurien käyttöön, joiden toimintaa ja kehitystä ne eivät itse voi hallita. Kun järjestelmän hajautuneisuus käsitteellisesti mielletään esim. vallan ja kontrollin keskittymisen vastakohdaksi (mitä se ei siis välttämättä todellisuudessa ole), on yhteisiä järjestelmäkehityshankkeita helpompi saada vireille, kaikkien osallistujien kokiessa suurempaa omistajuutta ja hallintaa kehitettävää järjestelmää kohtaan.

## Case: The DAO

Vuonna 2016, Ethereum-lohkoketjualustalle luotiin 'The DAO' -niminen hajautettu autonominen organisaatio. Palvelun ajatuksena oli toimia joukkorahoituspalveluna, jolla ei ole lainkaan keskitettyä palveluntarjoajaa, vaan jossa kaikki organisaation toimintaa ohjaavat säännöt on sisällytetty palvelun älysopimusverkkoon ohjelmointikoodin muodossa. The DAO:n toiminnan tarkoitus oli tukea jakamistalouden kehityshankkeita sijoittamalla uudelleen sen alkuvaiheessa keräämää sijoituspääomaa. Julkistuksensa jälkeen huhtikuun lopulla palvelu keräsi yli 150 miljoonaa dollaria joukkorahoitusta Ether-kryptovaluutan muodossa, muodostaen tuolloin noin kuudesosan koko Ethereum-lohkoketjuverkon varallisuudesta.

Kesäkuun puolivälissä palvelussa ilmeni vakava tietoturva-aukko, jota hyödyntämällä tuntemattoman hyökkääjän onnistui siirtää kymmeniä miljoonia dollareita yhteisön omaisuutta haltuunsa. Koko Ethereum-yhteisö joutui nyt periaatteellisen valinnan eteen: joko anastetut omaisuuserät voitaisiin yhteisellä päätöksellä asettaa mustalle listalle, tai rahakkeet voitaisiin palauttaa niiden oikeille omistajille koko lohkoketjun transaktiohistoriaa muokkaamalla.

Koska merkittävä osuus Ethereum-verkon jäsenistä oli joutunut osalliseksi menetyksiin, koko järjestelmän transaktiohistorian muokkaus sai laajaa kannatusta. Osa käyttäjistä kuitenkin katsoi, ettei koko rahakejärjestelmän kirjanpitoa voida peruuttaa yhden alustalla tarjotun palvelun tietoturvaongelmien vuoksi. Elokuun alussa kehittäjät saavuttivat riittävän tuen uudelle haaraumalle, jossa anastetut varat palautettiin niiden aiemmille haltijoille. Lopulta osa käyttäjistä päivitti ohjelmistonsa noudattamaan uutta protokollaa, osan pitäytyessä vanhassa ohjelmistoversiossa. Näin ollen koko Ethereum-lohkoketjujärjestelmä jakautui kahtia.

(Lauslahti et al., 2016; Wright–De Filippi, 2015; <<http://www.coindesk.com/hardfork-ethereum-dao/>>)

## 6 Esimerkkejä lohkoketju- ja DLT-tekniikan käytöstä verotuksessa

Lohkoketjutekniikan hyödyntämisestä verotuksen yhteydessä puhutaan paljon. Erilaisia käyttötapauksien määrittelyitä on tehty runsaasti ja pilotoineja on kansainvälisesti suunnitteilla laajasti. Varsinaisen toteutuksen asteelle pilotoineista ja kokeiluista on kuitenkin edennyt vain ani harva. Niissäkin tapauksissa, joissa kokeiluja on tehty, näyttöä onnistuneista sovelluksista ei juurikaan ole, eikä dokumentaatiota ja ohjelmointikoodia ole yleensä saatettu avoimesti saataville.

### 6.1 Case: Kiina – DLT-pohjainen transaktiolaskutusjärjestelmä

Kiinan valtionjohto on tuoreimmassa kansallisessa viisivuotissuunnitelmassaan määrittellyt lohkoketjutekniikan yhdeksi älykkäiden digitaalisten palveluiden avaintekijäksi ja siten keskeiseksi kehityskohteeksi. Kiinan keskuspankki on niin ikään ilmoittanut suunnitelmista digitaalisen valuutan liikkeelle laskemisesta mahdollisimman pian (PBOF, 2017). Osaltaan nämä pyrkimykset näyttävät sähköisen maksamisen alustojen kehityksessä.

Sähköisessä maksamisessa Kiinassa käytetään valtaosin AliBaban tytäryhtiön Ant-Financialin AliPay-sovellusta sekä Tencentin WeChat Pay -palvelua. Muita laajemmin käytettyjä sähköisen maksamisen palveluita ovat esim. QQPAY sekä JD.com. Sekä AliPay että WeChat Pay lukeutuvat kansallisen maksuverkon hankkeeseen, jonka tavoitteena on ollut yhdistää Kiinan hajanaiset sähköiset maksujenvälityspalvelut yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

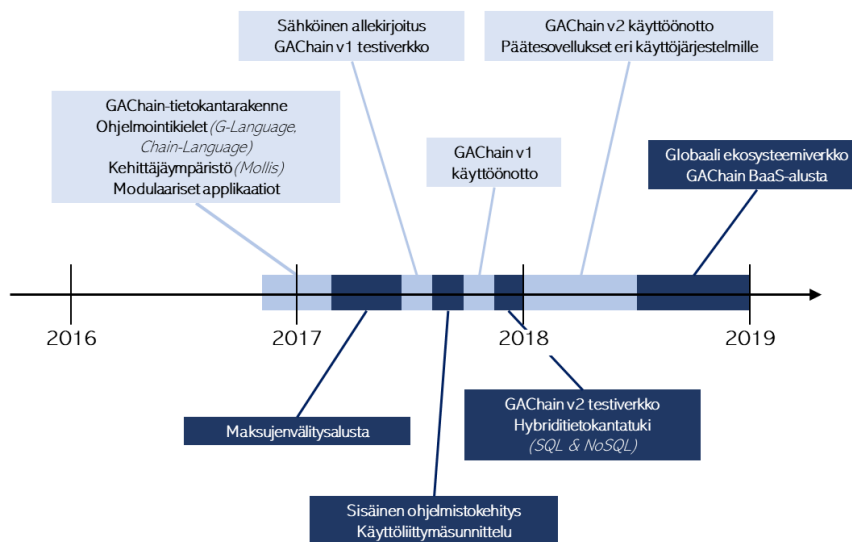
Vaikkakin kansallisen maksuverkon kokonaisuudella tavoitetaan jopa 80-90 % sähköisestä maksamisesta Kiinassa, on se veroviranomaisten näkökulmasta sikäli ongelmallinen, ettei verottajalla ole ollut suoraa näkyvyyttä maksujen sisältöön. Esimerkiksi yritysten ilmoittaessa omat tulonsa verottajalle erillisellä ilmoituksella, ei verottajalla ole ollut kykyä tarkistaa, että ilmoitettujen tulojen perusteena olevat laskut olisivat aitoja ja että niitä vastaava rahaliikenne olisi todella tapahtunut ilmoitettua vastaavasti. Lisäksi mm. työntekijöiden hakiessa työnantajaltaan kulukorvauksia kuitteja vastaan, työnantajalla ei ole ollut mahdollisuutta varmistua siitä, että kuitit olisivat aitoja, ja ettei



niiden perusteella aiheutuneita kuluja olisi jo jotakin kautta jollekin henkilölle korvattu. Väärennettyjen kuittien tehtäily ja aiheettomiin kulukorvauksiin liittyvät veropetokset ovatkin Kiinassa verrattain yleisiä.

Kiinassa onkin käynnistetty valtiohallinnon taholta pilottihanke, jonka ajatuksena on digitalisoida laskutuksen prosessi alkaen laskun luomisesta ja jatkuen aina prosessin loppuun saakka. Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa laskutus ja kulukorvauksien perustana käytetyt laskut viedään digitaaliseen ympäristöön, jossa niiden aitous ja alkuperäisyys voidaan aiempaa helpommin todentaa. Alustana laskujen digitalisoinnissa on käytetty DLT-teknologiaa hyödyntävää GACHAIN-järjestelmää, jonka kehitys aloitettiin vuonna 2016 yhteistyössä Guangdongin maakuntahallinnon kanssa. (Bajpai, 2017; Suberg, 2017)

Kuvio 14. GACHain pilottihankkeen aikajana.



Hankkeen toisessa vaiheessa Shenzhenin verovirasto pilotoi yhteistyössä Tencentin kanssa TrustSQL-nimistä DLT-alustaa hyödyntävää laskutusjärjestelmää (ks. kuvio 15). Tencent on parhaillaan pilotoimassa Kantonin alueella WeChat Pay -sovellukseen liitettävää kuitti- ja laskutuslisäominaisuutta. Sen avulla käyttäjä voi yhdellä napin painalluksella luoda maksutapahtumasta kuitin, joka tallioidaan Tencentin TrustSQL-tietokantaan.

Sovelluksen kuitti- ja laskutusominaisuuden välityksellä koko laskutuksen työnkulku voidaan hoitaa yhtenä yhtenäisenä prosessina yhdestä järjestelmästä käsin. Pilotoin-

nin ajatuksena on, että TrustSQL-alustan muodostavaan pilveen luodaan verohallinnolle oma suljettu sisäinen verkko. Sen perustana toimivat verkon RAFT-algoritmia soveltavat konsensuksen muodostavat solut.

Sen lisäksi, että kaavaillulla menettelyllä säästetään kustannuksia, mahdollistuu tällöin myös mm. verotuksen raportointi ja valvonta kätevästi yhtenäisen työnkulun ja laskutusprosessin yhteydessä. Kun kuitti syntyy itse transaktion yhteydessä suoraan järjestelmään, on verottajalla automaattisesti reaaliaikainen näkyvyys sekä verotuksen perusteen synnyttäviin tapahtumiin että myös tapahtumien perusteella suoritettuihin maksuihin.

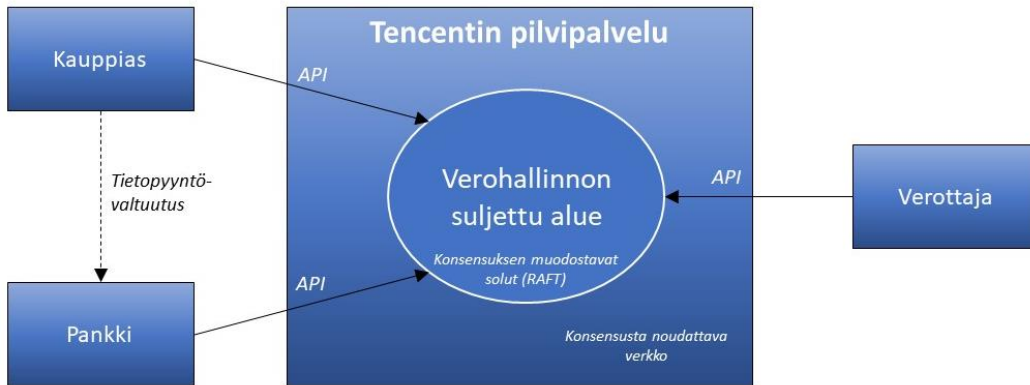
Kuvio 15. TrustSQL-järjestelmän kokonaiskuvaus. (Tencent Blockchain Solution White Paper, kirjoittajien käännös. <[https://trustsql.qq.com/chain\\_oss/TrustSQL\\_WhitePaper.html](https://trustsql.qq.com/chain_oss/TrustSQL_WhitePaper.html)>)



Järjestelmän avulla kauppias voi lisäksi itse varmistaa laskujen aitouden ja alkuperäisyyden, sekä esimerkiksi sähköisellä valtuutuksella avata pankille näkyvyyden tiettyihin verotietoihin, jos niitä tarvitaan kauppiaan pankkiasiointiin liittyen.

Työn tekemisen tapojen moninaistuessa ja keikkatalous (engl. 'gig economy') -luontaisen työn lisääntyessä voidaan ajatella, että Kiinan laskutusjärjestelmähankeilla olisi merkitystä yritysten lisäksi nimenomaan erityisesti keikkatyöläisten näkökulmasta.

Kuvio 16. Shenzhenin veroviraston ja Tencentin TrustSQL-alustaan perustuvan laskutusjärjestelmän arkkitehtuurirakenne verottajan näkökulmasta. (Lähde: Shenzhenin veroviraston työntekijän haastattelu)



## 6.2 Case: Alankomaat – Lohkoketju- ja älysopimusperusteinen ALV-järjestelmä

Alankomaalainen Axveco-yritys on pilotoinut lohkoketjuteknologian ja älykkäiden sopimusten hyödyntämistä arvonlisäverotusjärjestelmän pohjana. Ajatuksena pilottihankkeessa on, että siirtymällä reaaliaikaiseen arvonlisäverojärjestelmään voitaisiin saavuttaa useita eri hyötyjä. Prosessissa vaadittavien työvaiheiden määrää voitaisiin Axvecon mukaan lohkoketjuteknologian ja älykkäiden sopimusten käytöllä supistaa. Sen lisäksi reaaliaikaisella prosessilla varmistettaisiin, että yrityksen rahaprosessi heijastelisi paremmin reaali prosessia, mikäli verot aktualisoituvat maksuun veron perusteena olevaan myyntiin liittyviä muita rahavirtoja vastaavasti. Näin ollen mm. yrityksen kassanhallinnan näkökulmasta on parempi, että maksut veloittuvat kassavirtoja vastaavasti sen sijaan, että maksettavaksi kertyy kerralla suurempia summia. Reaaliaikaisuuden muina etuina voidaan mainita myös esimerkiksi se, että kun verotus toteutetaan välittömästi muun maksuliikenteen yhteydessä, vähenee tarve verotuksen uudelleenarviointeihin. Reaaliaikaisella raportoinnilla pienennetään Axvecon mukaan myös verovilpin mahdollisuutta. (Rikken, 2017)

## 6.3 Kokeiluista yleisesti

Analyysin pohjalta voidaan todeta, että vaikka käyttötapauksia on verotuksen soveltamisalaan määriteltä laajasti, vain harva toimija on edennyt määrittelyistä konkreettisiin pilottihankkeisiin. Toisaalta, vielä sitäkin harvempi pilotoija on saattanut hankkeen dokumentaation avoimesti saataville. Yleisemmin samansuuntaiseen lopputulokseen on

aiemmin tutkimuksessaan päätyntä myös esim. Burg et al. (2018) todeten, ettei lukemattomista lohkokejtuteknologian käyttötapauksia maalailevista konseptipapereista ja uutisoinneista huolimatta onnistuneista sovelluskokeiluista löydy minkäänlaista näyttöä, eivätkä yritykset myöskään ole valmiita jakamaan kokeilujen dokumentaatioita tai niistä opittuja asioita.

Laajemmassa kontekstissa ajateltuna Suomeen voisi kenties olla syytä perustaa oma Euroopan komission JoinUp-palvelun<sup>6</sup> tyyppinen lähdekoodin ja dokumentaation tallennuspaikka erilaisia teknologioita hyödyntäville käyttötapauksille ja niitä demonstroiville sovelluksille. Lähdekoodin, havaintojen, oppien ja tulosten jakaminen auttaisi luultavasti parantamaan eri toimijoiden ymmärrystä eri teknologioista laajemmin. Edelleen käyttötapauksien ja havainnollistavien sovellusten julkaiseminen on tärkeää esim. sääntelyuudistusten tarpeen hahmottamiseksi jo aikaisessa vaiheessa, jotta innovaatioiden tehokas edistäminen voidaan mahdollistaa Suomessa parhaalla mahdollisella tavalla.

---

6 <https://joinup.ec.europa.eu/>

## 7 Teknologiavertailu

**Lohkoketjukeskustelujärjestelmien pohjaksi on nykyisellään tarjolla useita erilaisia teknologiakonfiguraatioita ja verkostoyhteisöjä. Toistaiseksi kaikkien vaihtoehtojen maturiteettiaste on vielä alhainen ja järjestelmien soveltamiseen liittyy käytännön haasteita. Myös järjestelmien soveltamisessa vaadittavan teknologiaosaamisen saatavuus on monin paikoin varsin ohutta.**

### 7.1 Haasteet

Lohkoketjuteknologian sovellukset eivät toistaiseksi ole yleistyneet, sillä niihin liittyy vielä lukuisia mm. teknologian varhaisesta maturiteetista johtuvia haasteita. Nämä haasteet voidaan jakaa karkeasti operatiivisiin ja teknologisiin haasteisiin. Operatiivisina haasteina voidaan mainita mm. kehittäjien sekä tilaajien teknologiaosaamisen taso, uusien toimintamallien omaksumisen kankeus, korkeat soveltamisen kustannukset, sääntelyn epäselvyys, selkeiden hallintomallien puute, alustojen kehittäjäyhteisöiden luotettavuus, alustaekosysteemien kehityksellinen stabiliteetti, lohkoketjutietorakenteen haasteet sekä identiteetin hallintaan liittyvät kysymykset.

Teknologisina haasteina voidaan nähdä mm. teknologisten ratkaisujen keskeneräisyys, lohkoketjujärjestelmien kompleksisuus, heikko skaalautuvuus ja suorituskyky, energiaa tuhlaavat konsensusmekanismit sekä yksityisyydensuojaan ja järjestelmien tietoturvan liittyvät haasteet.

Lohkoketju- ja DLT-alustojen kehityksessä joudutaan pääsääntöisesti soveltamaan useita erilaisia teknologiakomponentteja. Kaikki tarvittavat teknologiat hyvin hallitsevien henkilöiden ja yritysten määrä on toistaiseksi hyvin rajallinen. Vastaavasti tilaajien puolella lohkoketju- ja DLT-teknologioiden tuntemus on valitettavan usein vielä sitäkin rajallisempaa—lohkoketjukeskustelussa viljellyt suuret lupaukset ehkä tunnetaan, mutta itse teknologian ymmärrys saattaa olla varsin ohutta. Lisäksi lähtökohtana ei aina välttämättä ole ollut uusien toimintamallien omaksuminen, vaan vanhojen prosessien tehostaminen, mikä edelleen voi vaikeuttaa tehokkaiden hyödyntämiskäytäntöjen kehittämistä.

Lohkoketjuteknologian hyödyntämiseen liittyvät sääntelykysymykset ovat vielä toistaiseksi pitkälti auki. Sääntelyn epäselvyys luo omalta osaltaan riskejä teknologian käyttöönotolle, koska muuttuva tai myöhemmin säädettävä lainsäädäntö saattaa

muuttaa toimintamahdollisuuksia jopa liiketoiminnan edellytykset lakkauttavasti. Esimerkiksi kryptorahakkeiden osalta yhteiskunnallinen keskustelu on ajoittain ollut varsin polarisoitunutta, niiden keskeisen roolin avoimia järjestelmiä koossa pitävänä voimana jäädessä vähemmälle huomiolle.

Hajautetut toimintamallit luovat myös haasteita järjestelmien hallinnan ja jatkokehityksen näkökulmasta. Erityisesti avoimissa alustoissa ratkaisujen löytäminen riita- ja ongelmatilanteisiin saattaa olla haastavaa. Lohkoketjujärjestelmien historiasta löytyy useita esimerkkejä, joissa kehittäjät eivät ole päässeet yhteisymmärrykseen kehityksellisistä tavoitteista tai ratkaisuista ja järjestelmien kehitys ja toiminta on haarautunut useille toisistaan erkanneille poluille.

Lohkoketjujärjestelmien skaalautuvuus ja suorituskyky sekä työntodistukseen perustuvien konsensusmekanismien ympäristöhaitat ovat niin ikään toistaiseksi järjestelmä- ja sovelluskehityksessä kohdattavia haasteita. Vaikkakin erilaisia konsensusmekanismeja on kehitetty laajasti (ks. esim. Mattila, 2016a), liittyy niiden käyttöönottoon avoimissa järjestelmissä haasteita. Suljetuissa DLT-järjestelmissä konsensusmekanismien soveltaminen ja konsensuksen muodostus eivät vastaavassa määrin aiheuta ongelmia, vaan erilaisia ratkaisuja voidaan soveltaa hyvinkin monipuolisesti.

## 7.2 Vaatimukset

Perusvaatimuksina viranomaiskäyttöön suunniteltavalle lohkoketju- tai DLT-alustalle voidaan pitää ainakin seuraavia ominaisuuksia:

- Alustan ja sen taustayhteisön tunnettuus ja luotettavuus
  - Kun alustan arkkitehtuuri perustuu tunnettuun ja laajalti käytettyyn järjestelmäkonfiguraatioon, on toiminnan jatkuvuus teknologia- ja valinnan näkökulmasta paremmin turvattu.
- Alustan kehittäjäyhteisön aktiivisuus ja laajuus
  - Lohkoketju- ja DLT-järjestelmät ovat toistaiseksi maturiteetiltaan varsin varhaisessa vaiheessa ja vaativat edelleen kehitystyötä, tietoturvapäivityksiä ja ylläpitoa. Aktiivinen kehittäjäyhteisö varmistaa, että valittu alusta pysyy käyttökelpoisena ja tietoturvallisena myös jatkossa. Lisäksi kehittäjäyhteisön tulisi olla riittävän laaja jatkuvuuden takaamiseksi.

- Alustan tyyppi
  - Onko alustan rakenne avoin, luvanvarainen vai suljettu, ja soveltuuko se siten haluttuun käyttötarkoitukseen? Tukeeko alusta esim. älysovimuksia sekä kryptorahakkeiden luomista?
- Alustan hinnoittelumallit
  - Onko alustan käyttöönotto tai käyttö maksullista? Työntodistukseen perustuva konsensusemekanismi voi kuluttaa huomattavia määriä energiaa, jolloin alustojen transaktiomaksut voivat olla suuria ja vaikeasti ennakoitavissa. DLT-alustojen käyttöön puolestaan voi liittyä esim. konsortiojäsenmaksuja sekä muita kehityskustannuksia.
- Yksityisyydensuoja
  - Kaikkia transaktioita ja toimintoja ei viranomaistoiminnassa voida saattaa julkisiksi, vaan ne on pystyttävä turvaamaan luotettavasti siten, että vain asianmukaiset tahot voivat tarkastella tietoja.
- Tietoturva
  - Lohkoketju- ja DLT-järjestelmien varhaiseen maturiteettiin liittyy huomattava ennakoimattomien tietoturvaongelmien riski. Jopa laajimmista ja pisimmälle kehitetyistä lohkoketjualustoista on löydetty ajoittain vakaviakin tietoturvaongelmia, joista osa on myös johtanut mittaviin taloudellisiin vahinkoihin.
  - Tietoturva vaatimuksiin sisältyy myös kyky tunnistaa käyttäjät luotettavasti sekä tehokas käyttöoikeuksien hallinta.
- Alustan suorituskyky
  - Avoimet lohkoketjualustat eivät ole toistaiseksi näyttäneet kovinkaan suorituskykyisinä transaktioiden käsittelynopeudessa mitattuna. DLT-alustojen suorituskyky on käsittelynopeuden osalta parempi, mutta toisaalta niiden hyödyt perinteisiin pilvipalveluratkaisuihin verrattuna saattavat jäädä heikoiksi.

## 7.3 Lohkoketjujen standardisointi

Lohkoketjuteknologian kenttään on alettu viime aikoina laatia erilaisia standardeja. Standardisoinnin ajatuksena on luoda selkeä termistö ja käsitteet lohkoketju- ja DLT-teknologioille sekä varmistaa järjestelmien yhteensopivuus. Lohkoketjustandardointia luovat parhaillaan mm. kansainvälinen standardisointijärjestö ISO, Eurooppalaiset standardisointijärjestöt CEN ja CENELEC, ETSI, IEEE, ITU-&T, World Wide Web

Consortium (W3C), kansalliset standardisointijärjestöt kuten SFS, sekä erilaiset konsortiooperusteiset tietyn liiketoiminta-alan järjestöt.

Myös erilaisia yhteisöjä ja konsortioita on perustettu edistämään lohkoketjuteknologian käyttöönottoa, sekä ottamaan kantaa siihen, millaiseksi ilmiötä koskeva sääntely tulisi rakentaa. Euroopan parlamentti ja komissio perustivat vuoden 2018 alussa European Blockchain Observatory and Forum -hankkeen keräämään ja jakamaan tietoa lohkoketju- ja DLT-teknologioista, sekä auttamaan komissiota ja parlamenttia niitä koskevassa päätöksenteossa<sup>7</sup>. Myös OECD:ssä ja YK:ssa työryhmät laativat raportteja ja suosituksia lohkoketjujen käytöstä, kuten tekevät myöskin lukuisat kansalliset lohkoketjuyhteisöt.

Euroopan komissio on maininnut, että se pyrkii tutkimaan ja edistämään Euroopan laajuisesti maarajat ylittäviä lohkoketjuihin ja DLT-alustoihin perustuvia palveluja mm. seuraavilla aloilla:

- Arvonlisäveron raportointi
- Verotus
- Tullaus
- Yritysrekisterit
- Ympäristö-, talous- ja yritysraportointi
- Terveydenhoito

Lisäksi Euroopan komissio on käynnistänyt työn Euroopan laajuisen lohkoketjualustan luomiseksi, jonka päälle jäsenvaltiot voisivat rakentaa omia lohkoketju- ja DLT-sovelluksiaan.<sup>8</sup>

## 7.4 Lohkoketju- ja älysopimuspalvelustoja

Bitcoinia voidaan pitää ensimmäisenä tunnettuna lohkoketjuteknologian sovellusalustana (ks. tarkemmin Mattila–Seppälä, 2018). Sittenkin erilaisia lohkoketju- ja DLT-alustoja on kehitetty varsin laaja kirjo. Baliga (2016) on jakanut dokumentissaan *The Blockchain Landscape* lohkoketju- ja DLT-alustat kuuteen eri kategoriaan, joita ovat:

<sup>7</sup> <https://www.eublockchainforum.eu/>

<sup>8</sup> BOND-projektissa laaditusta ”European Blockchain analysis” dokumentista voi tutustua koosteeseen ja lyhyisiin esittelyihin Euroopan komission lohkoketjuohjelmista, komission rahoittamista lohkoketjuprojekteista, erilaisista lohkoketjujärjestöistä sekä lohkoketjujen standardisointi-organisaatioista: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2018/T331.pdf>.



1. Bitcoin perustaiset metadata alustat
  - Alustoja, jotka lisäävät omia metadata-tietojaan Bitcoinin transaktiolohkoihin. Alustat hyödyntävät näin Bitcoin alustaa ja mahdollistavat uusien palveluiden luomisen Bitcoin-järjestelmän päälle.
2. Lohkoketjualustat finanssisektorille
  - Alustat, jotka on alun perin kehitetty finanssisektorin tarpeisiin. Nykyään aiemmin tähän kategoriaan luokiteltuja alustoja käytetään myös muilla sovellusalueilla, joten kategorian rajanveto on joidenkin alustojen kohdalla häilyvä.
3. Älysopimus alustat
  - Alustat, jotka mahdollistavat erilaisten automaattisten transaktiotyönkulkujen rakentamisen alustan lohkoketjujärjestelmään.
4. Konsortio- ja yritysalustat
  - Tunnettujen tahojen ylläpitämiä alustoja, jolloin esim. raskaista työntodistuskonsensusmekanismeista voidaan luopua ja korvata ne kevyemmillä konsensusmekanismeilla. Luottamusta ovat tuomassa myös perinteiset sopimukset, eikä alustan itsessään edellytetä tarjoavat yhtä vahvaa luotettavuutta kuin avoimissa lohkoketjuratkaisuissa.
5. Sivuketjualustat / ankkuroidut ketjualustat
  - Alustoja, joiden lohkoketjut linkittyvät tai ankkuroituvat laajempiin ja vakaampiin lohkoketjujärjestelmiin, joko laajempien lisäominaisuuksien tarjoamiseksi tai pienemmän alustan moniversiohallinnan turvaamiseksi.
6. Monikäyttöiset lohkoketjualustat ja -palvelut
  - Varsinaisten lohkoketjualustojen lisäksi on kehitetty kasvavassa määrin myös monikäyttöisiä alustoja, joissa lohkoketjut on lisätty esimerkiksi palveluna muita palveluja tarjoaviin pilvialustoihin. Monet suuret tietotekniikka toimijat ovat lähteneet kilpaan mukaan olemalla mukana sekä avointen ympäristöjen isoissa alustahankkeissa, että kehittäen omiin monikäyttöisiin pilvialustoihinsa lohkoketjuominaisuuksia, jotka ainakin osin pohjautuvat tai tukeutuvat isoihin avoimiin lohkoketjualustoihin.

Hankkeessa selvitettiin ja kategorisoitiin lohkoketju- ja DLT-alustoja edellä mainittua ryhmittelyä käyttäen (ks. liitteet 1–6). Jaottelun pohjana on hyödynnetty mm. BOND-tutkimushankkeen Blockchain Technology Review -dokumenttiin kerättyä materiaalia, jota on päivitetty ajantasaisemmaksi. Alustoja ei ole järjestetty taulukoissa paremmuusjärjestykseen. Tarkoituksena ei ole ollut myöskään listata kaikkia mahdollisia olemassa olevia alustoja. Luetteloinnin pyrkimyksenä on ollut ennen kaikkea esitellä keskeisimmät vaihtoehdot sekä muutamia uudempia kehityshankkeita, ja siten osoittaa, että erilaisia alustaratkaisuja on tarjolla laaja kirjo.

## 7.5 Hankkeessa tarkasteltavat alustavaihtoehdot

Lukuisat eri lähteet listaavat tällä hetkellä varteenotettavia ja seurattaviksi suositeltuja lohkoketju-, DLT- ja älysopimuspalveluita. Hankkeen tarkasteluun on sisällytetty näissä heuristisesti arvioituna laajimmin mainintoja saaneet alustavaihtoehdot. Myös Bitcoin-kryptorahakejärjestelmä on sisällytetty tarkasteluun. Vaikkakaan sen ei itsessään suoranaisesti voida katsoa soveltuvan verotussovellusten perustaksi, on se historiansa sekä huomattavien verkostovaikutustensa ansiosta syytä huomioida selvityksessä.

Hankkeen tässä vaiheessa olemme valinneet toteutusvaihtoehdoiksi seuraavat alustat:

- Bitcoin
- Ethereum
- Hyperledger
- Corda
- Quorum
- Blockchain-as-a-Service –alustat

Taulukko 1 Alustavertailu: Ethereum, Hyperledger Fabric, Corda, Quorum.

Ominaisuus	Ethereum	Hyperledger Fabric	Corda	Quorum
<b>Alustan taustayhteisö</b>	Ethereum-yhteisö laaja yhteisö	Linux-säätiö laaja yhteisö	R3 melko laaja yhteisö	J.P. Morgan
<b>Alustan tyyppi</b>	permissionless, avoin tai yksityinen	luvanvarainen, yksityinen	luvanvarainen, yksityinen	luvanvarainen
<b>Konsensus</b>	PoW käytössä (PoS suunnitteilla) alustatasolla	vaihdettavat mekanismit transaktiotasolla	notarisolmuilla transaktiotasolla	QuorumChain muokattava konsensus
<b>Hinnoittelu</b>	open source ilmainen asennus transaktiot maksullisia	open source ilmainen käyttö transaktiot maksuttomia	open source tai enterprise versio	open source ilmainen käyttö
<b>Identiteetti</b>	erikseen toteutettava	tunnistetut käyttäjät	tunnistetut käyttäjät	tunnistetut käyttäjät
<b>Suorituskyky</b>	PoW-konsensuksella rajallinen, siirtymä PoS-konsensukseen suunnitteilla	melko hyvä	hyvä	hyvä

Ominaisuus	Ethereum	Hyperledger Fabric	Corda	Quorum
<b>Älysovimus-kieli</b>	Solidity, Serpent, LLL	Javascript, Go, lisämoduleilla myös muita kieliä.	Kotlin, Java	Solidity, Javascript
<b>Rahake</b>	Ether, muita rahakkeita voidaan luoda älysovimuksilla	ei natiivirahakkeita	ei ole	Ether, muita rahakkeita voidaan luoda älysovimuksilla
<b>Haittapuolia</b>	verkon ylikuormitus kalliit transaktiot nykykonsensuksella huono suorituskyky	ei rahakkeita, älysovimusten suoritusympäristö ei deterministinen (docker), ts. konsensuksen säilyminen riippuu suoritettavasta koodista	ei rahakkeita	

## 7.5.1 Bitcoin

Kuten edellä on todettu, Bitcoin on ensimmäinen tunnettu lohkoketjuteknologian sovellus, jota voidaan pitää alkusysäyksenä lohkoketjualustojen kehitykselle. Kaiken kaikkiaan Bitcoin-sovelluksen perusajatus on varsin yksinkertainen: käyttäjät voivat vastaanottaa, säilyttää ja siirtää järjestelmän kannustinrakenteen luomiseen käytettyjä sisäisiä kryptorahakkeita omiin tarkoituksiinsa. Vaikka alun perin Bitcoin-järjestelmään ei sisällynyt älysovimusten laatimisen mahdollisuutta, on järjestelmään sittemmin myös kehitetty kevyt ohjelmointikieli älysovimusten luomiseksi.

Bitcoin-lohkoketjujärjestelmää on kritisoitu sen konsensusmekanismin vaatimasta valtavasta energiankulutuksesta. Lisäksi alustan transaktioiden kirjausnopeus on moniin käyttötarkoituksiin nähden hyvin vaatimaton. Suorituskyvyn lisäksi Bitcoin-alusta on saanut osakseen kritiikkiä myös korkeaksi nousseista transaktiomaksuista. Bitcoin-järjestelmän päälle onkin kehitetty Lightning Network -maksukanavaverkko, jonka laajemman käyttöönoton myötä järjestelmän käsittelykapasiteetin ja kustannustason ennakoidaan parantuvan merkittävästi.

Bitcoin-alustaa hyödynnetään myös monissa muissa lohkoketjualustoissa joko suoraan tai välillisesti. Esimerkiksi useissa lohkoketjusovelluksissa Bitcoin-transaktioihin sisällytetään toisten alustojen sovelluksiin liittyvää metadataa. Esimerkiksi ns. värjättyjen kolikkojen (engl. *'coloured coins'*) avulla yksittäisiin Bitcoin-rahakkeisiin voidaan liittää reaali maailmallisia merkityksiä. Menetelmässä yksittäisiä rahakkeita voidaan ikään kuin korvamerkitä tai "värjittää" symboloimaan esim. jonkin esineen tai oikeuden omistajuutta. Tätä värjättyä kolikkoa Bitcoin-järjestelmässä siirtämällä voidaan näin kyseisen reaali maailmallisen etuuden omistajuus siirtää henkilöltä toiselle.

## 7.5.2 Ethereum

Ethereum on yksi laajimmista ja parhaiten tunnetuista älysovimusalustoista, jota on käytetty lukuisissa erilaisissa kokeiluissa ja toteutuksissa. Ethereum-järjestelmän innovaationa oli lisätä lohkoketjujärjestelmään virtuaalikonekerros, joka mahdollisti Turing-täydellisten ehdollisten työkulkujen suorittamisen lohkoketjuverkossa sen moniversiohallintaa vaarantamatta.

Ethereum on osoittautunut suosituksi alustaksi niin sanottujen rahakeantien (engl. *'Initial Coin Offering', ICO*) toteuttamiselle. Niissä annin järjestäjä kerää itselleen rahoitusta markkinoilta Ethereum-älysovimusten avulla luotuja kryptorahakkeita vastaan (ks. tarkemmin esim. Hämäläinen, 2018).

Vaikkakin Ethereumin transaktionopeus on Bitcoin-järjestelmää nopeampi, joudutaan Ethereum-alustan käytössä huomioimaan samanlaisia rajoitteita ja haasteita kuin Bitcoin-järjestelmänkin käytössä. Ethereumin konsensusmekanismi esimerkiksi perustuu Bitcoin-järjestelmän tavoin työntodistukseen. Ethereumin kehitystiekarttaan sisältyy suunnitelma toisenlaiseen konsensusmekanismiin siirtymisestä. Skaalautuvuusongelmia ratkaisemaan suunnitellaan myös uutta pirstouttamisen (engl. *'sharding'*) konseptia, jossa verkon moniversiohallinta ja tila-automaatio jaettaisiin osakokonaisuuksiin paremman kokonaissuorituskyvyn saavuttamiseksi.

## 7.5.3 Hyperledger

Hyperledger on Linux-säätiön aloitteesta vuonna 2015 syntynyt hanke, jonka tarkoituksena on kehittää DLT-pohjaista avoimen lähdekoodin alustaa. Sittemmin konsortioon on liittynyt suuri määrä erilaisia toimijoita ja sen koko on kasvanut yli 250 yritykseen ja yhteisöön. Hyperledger koostuu useammasta erilaisesta sovelluskehiksestä (engl. *'framework'*), joita eri toimijat ovat luovuttaneet yhteisön kehitettäväksi. Hyperledger-sovelluskehiksiä kohdellaan useissa lähteissä omina alustoinaan:

- Hyperledger Burrow
  - Burrow on lohkoketjupääteohjelma, joka sisältää Ethereumin virtuaalikonevalmiuden. Burrow tunnettiin aiemmin nimellä ErisDB. Sovelluskehys on kehitysvaiheessa.
- Hyperledger Fabric
  - Fabric on luvanvarainen (permissioned) älysovimuslohkoketjuinfrastruktuuri. Sovelluskehys on käytössä/aktiivinen.
- Hyperledger Iroha
  - Perustuu Hyperledger Fabric -kehikseen, fokuksena mobiiliapplikaatiot. Sovelluskehys on käytössä/aktiivinen.
- Hyperledger Sawtooth

- Sawtooth tarjoaa dynaamisen mahdollisuuden vaihtaa konsensusmekanismia ”lennossa” verkon toimiessa. Sovelluskehys on käytössä/aktiivinen.
- Hyperledger Indy
  - Indy mahdollistaa riippumattoman digitaalisen identiteetin sekä työkalut niiden hallintaan lohkoketjuverkossa. Sovelluskehys on kehitysvaiheessa.

Hyperledger-alustat perustuvat avoimeen lähdekoodiin ja niillä on suuren konsortion tuki takanaan. Monilta osin alustat ovat kuitenkin vielä kehitysvaiheessa.

## 7.5.4 Corda

Corda on finanssialan aloitteesta syntynyt alusta luvanvaraisten (permissioned) DLT-järjestelmien kehittämiseen. Sen on kehittänyt R3-vetoinen konsortio, joka koostuu yli 200:ta toimijasta, sisältäen pankkeja ja muita rahoitusalan toimijoita sekä teknologiaritityksiä. Corda on alun perin suunniteltu finanssisektorin sovelluksia varten, mutta sen soveltamispyrkimykset ovat nykyään laajentuneet myös muille toimialoille, kuten esimerkiksi terveydenhuoltoon, toimitusketjuihin ja logistiikkaan.

Corda-alustasta on julkaistu vuoden 2018 kesällä ns. Enterprise-versio aiemmin julkaistun avoimen lähdekoodin version rinnalle. Enterprise-versioon on lisätty useita uusia ominaisuuksia, mukaan lukien sisäinen lohkoketjupalomuuuri tuomaan lisättyä turvaa. Palomuuuri hylkää ulkopuoliset luvattomat yhteisytytykset alustalle. Enterprise alustaan on integroitu myös Oraclen ja SQL:n tietokannat<sup>9</sup>.

## 7.5.5 Quorum

Quorum on luvanvarainen DLT-alusta, jonka kehityksessä erityishuomiota on kiinnitetty avointen lohkoketjujen yritysmaailman haasteisiin: nopeuteen, suorituskykyyn ja yksityisyyteen. Suurpankki J.P. Morganin luoma Quorum pyrkii säilyttämään käyttäjien ja transaktioiden yksityisyyden ja kuitenkin samalla tarjoamaan tarvittaville osapuolille, kuten sääntelyviranomaisille, läpinäkyvyyden tietoihin. Alun perin finanssipuolen käyttöön suunnatun järjestelmän on tarkoitus helpottaa globaaleja maksusuorituksia ja kyetä ympärivuorokautiseen maksujen selvitykseen, mutta nykyisellään käyttökohteita

---

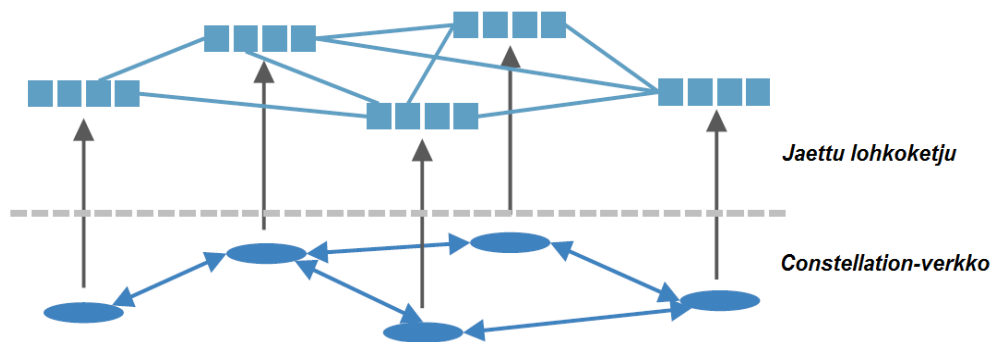
<sup>9</sup> Ks. <https://docs.corda.net/releases/release-M10.1/inthebox.html>.

on tullut lisää. Esimerkiksi Microsoft on rakentanut uuden Xbox-pelinkemittäjien tekijänoikeusmaksujärjestelmän Quorumin päälle<sup>10</sup>.

Quorum on lisensoitu avoimen lähdekoodin lisenssillä (GPL/LGPL) ja sen ohjelmointikoodi pyritään pitämään mahdollisimman lähellä Ethereumia, jotta laajan kehittäjäkunnan luomat Ethereum-päivitykset voidaan mahdollisimman nopeasti ja suuressa määrin hyödyntää myös Quorum-alustalla.

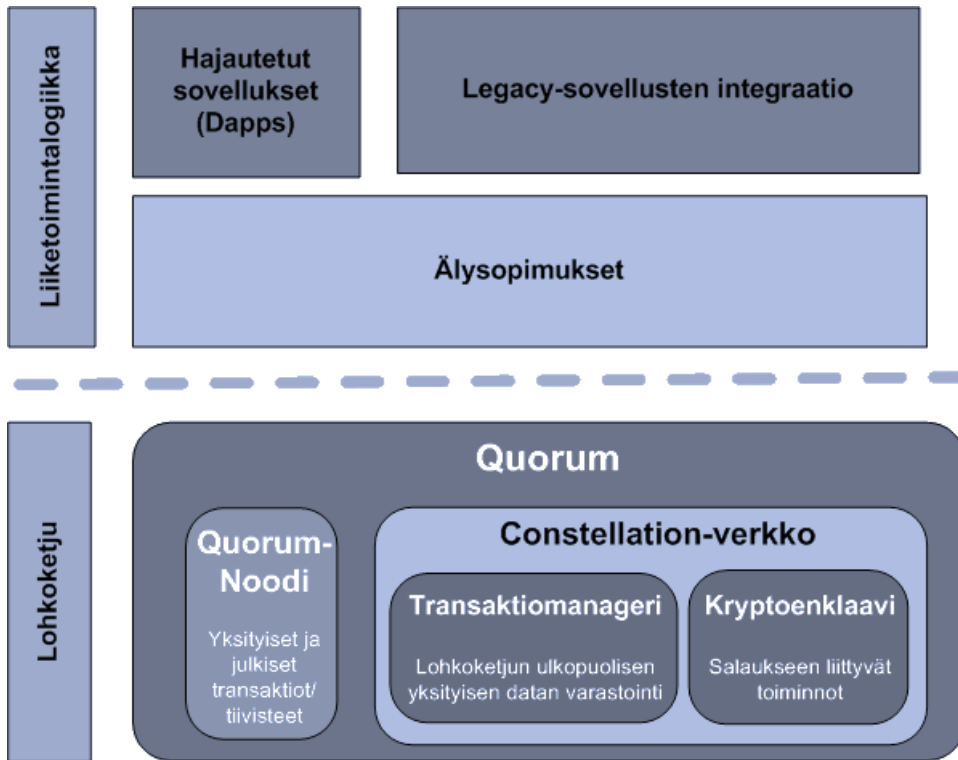
Quorum säilyttää sekä julkisia että yksityisiä (tarkemmin ottaen niiden tiivisteitä) tietoja samassa lohkoketjussa. Quorumin arkkitehtuuri sisältää kuitenkin moduuleita, joiden tarkoitus on erottaa yksityisten ja julkisten sopimusten käsittely toisistaan (ks. kuvat 17 ja 18). Erillisellä Constellation-verkolla on avainrooli yksityisten sopimusten suorittamisessa, salaamisessa ja paikallisessa tallentamisessa siten, että ainoastaan sopimusosapuolet pääsevät käsiksi sopimuksen tietoihin. Constellation-verkko lähettää ainoastaan tiivisteitä tehdyistä transaktioista jaettuun lohkoketjuun säilyttääkseen kokonaisjärjestelmän eheyden. Quorumin yksityisyydensuojaa on edelleen pyritty parantamaan erityisellä nollatietosuojakerroksella (engl. *'zero-knowledge security layer'*, ZSL), joka on rakennettu yhteistyössä Zcash-kehittäjäyhteisön kanssa. ZSL-kerroksen avulla voidaan häivyttää transaktio-osapuolten ja -summien julkinen näkyvyys sekä mm. varmistaa, ettei siirrettäviä varoja ole jo aiemmin käytetty.

**Kuvio 17. Quorumin yleisarkkitehtuuri.** Ylempänä olevaan QuorumChain-lohkoketjuun tallennetaan julkinen tieto sekä tiivisteet yksityisistä tiedoista. Alempi Constellation-verkko huolehtii yksityisten älysopimusten suorittamisesta sopimusosapuolten kesken. [4]



<sup>10</sup> Ks. <https://customers.microsoft.com/en-us/story/microsoft-financial-operations-professional-services-azure>.

Kuvio 18. Quorumin tarkempi arkkitehtuuri. Yksityisyyden toteutumisesta vastaava Constellation-verkko sisältää salaustoiminnoista huolehtivan Kryptoenklaavin sekä erillisen Transaktiomanagerin, joka hallinnoi paikallisesti säilytettäviä yksityisiä tietoja.



## 7.5.6 ”Lohkoketju palveluna” (BaaS)

Suuret monikansalliset tietotekniikkayritykset, jotka kehittävät omia IoT- ja pilvipalvelu-alustojaan, ovat lähteneet mukaan DLT-alustojen kehitykseen rakentamalla olemassa oleviin alustoihinsa ”lohkaketju palveluna” -konseptin (engl. *’Blockchain as a Service’, BaaS*). Palvelun tarkoituksena on tarjota kyseisten yritysten asiakkaille mahdollisuus kokeilla ja kehittää erilaisia DLT-ratkaisuja rakentamatta omaa DLT-alustaa. Nimes-tään huolimatta BaaS-mallilla ei ole juurikaan yhtymäkohtia lohkaketjuteknologian kanssa, vaan kysymys on yksinomaan DLT-alustoista. BaaS-alustoihin on luotu myös erilaisia työkaluja sovellusten hallintaan ja avustettuun kehittämiseen. BaaS-alustojen tarjoajat tarjoavatkin ohessa alan konsulttipalveluita lisäpalveluina.

BaaS-ratkaisuja pilvialustoihinsa ovat kehittäneet mm. IBM<sup>11</sup>, Microsoft<sup>12</sup>, Hewlett Packard Enterprise (HPE)<sup>13</sup>, Oracle<sup>14</sup>, SAP<sup>15</sup>, Amazon<sup>16</sup> ja Google<sup>17</sup>. Myös monet muut suuret ICT-yritykset, kuten esimerkiksi Samsung<sup>18</sup> ja Fujitsu<sup>19</sup>, ovat julkaisseet omat DLT-perustaiset sovelluskehitysalustansa. Näiden yritysten ”lohkokerju palveluna” perustuu yleensä yleisesti käytössä oleviin DLT-ratkaisuihin, joita esiteltiin lyhyesti edellä.

---

<sup>11</sup> Ks. <https://www.ibm.com/blockchain>.

<sup>12</sup> Ks. <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/blockchain/>.

<sup>13</sup> Ks. [https://www.hpe.com/emea\\_europe/en/solutions/blockchain.html](https://www.hpe.com/emea_europe/en/solutions/blockchain.html).

<sup>14</sup> Ks. [https://cloud.oracle.com/en\\_US/blockchain](https://cloud.oracle.com/en_US/blockchain).

<sup>15</sup> Ks. <https://www.sap.com/products/leonardo/blockchain.html>.

<sup>16</sup> Ks. <https://aws.amazon.com/blockchain/>

<sup>17</sup> Ks. <https://medium.com/altcoin-magazine/google-to-offer-blockchain-as-part-of-cloud-service-730cef6d1150>.

<sup>18</sup> Ks. <https://www.samsungsds.com/global/en/solutions/bns/blockchain/Blockchain.html>

<sup>19</sup> Ks. <http://www.fujitsu.com/fts/about/resources/news/press-releases/2018/fujitsu-introduces-360-degree-blockchain-use-case-deep-dive.html>.



## 8 Sovelluskonseptualisoinnin arkkitehtuurikuvaus

**Hankkeessa hahmoteltiin, miltä henkilökohtaisen verotilin sovellusarkkitehtuuri voisi esimerkinomaisesti näyttää, mikäli se toteutettaisiin joko Ethereum-pohjaisena älysopimussovelluksena tai DLT-järjestelmänä. Hahmotellun älysopimuksen lähdekoodi on julkaistu vapaan hyödyntämisen lisenssillä, ja se on saatettu vapaasti ladattavaksi.**

### 8.1 Arkkitehtuureista yleisesti

Tietojärjestelmäarkkitehtuuri määrittelee järjestelmän komponentit, niiden suhteet ja ominaisuudet. Tietojärjestelmäarkkitehtuureille on olemassa monia erilaisia määrittelyitä, osan perustuessa standardeihin ja osan ollen vapaamuotoisempia määrittelyitä. Tietojärjestelmäarkkitehtuurin laadinta alkaa vaatimusmäärittelyistä ja etenee vaiheittain tarkentuen ja jakaantuen eri osa-alueihin, kuten esimerkiksi tieto-, sovellus-, järjestelmä- ja tietoliikennearkkitehtuureihin. Raportin tietojärjestelmäarkkitehtuurimäärittelyt on kehitetty osittain mukailen kehitteillä olevaa ISO/CD 23257 lohkoketju- ja DLT-referenssiarkkitehtuuristandardia.

### 8.2 Lohkoketjuperusteinen lähestymistapa

#### 8.2.1 Sovellusarkkitehtuuri

Hankkeen osana laadittiin konseptualisointi, jonka avulla tarkasteltiin, millaiseksi henkilökohtaisen verotilin konsepti muotoituisi, mikäli se toteutettaisiin Ethereum-pohjaisena älysopimussovelluksena. Tässä yhteydessä sekä raportissa jäljempänä tarkoitetaan verotilillä Ethereum-järjestelmään luotua henkilökohtaista älysopimusta, joka voi vastaanottaa kryptorahakkeita sekä hallinnoida ja siirtää niitä sisäisen ohjelmointilogiikkansa mukaisesti (ks. tarkemmin osio 5.6). Ajatuksena siis toisin sanoen on, että henkilölle suoritettavat palkanmaksut ja muut veronalaiset ansiotulot voidaan maksaa bruttomääräisinä tälle tilille, ja että tältä tililtä henkilö voi myös käyttää nettovarojaan tehden maksuja muiden vastaaviin Ethereum-pohjaisiin verotileihin.

Lohkoketjupohjaisessa ratkaisussa kuvatuslainen verotilin käyttö on tarpeen, sillä lohkoketjuperusteiset älysovimukset eivät lähtökohtaisesti suoraan voi tehdä muokkauksia muihin kuin oman lohkoketjujärjestelmänsä sisäiseen tietokantaan. Vaikkakin muokkauksia voidaan erilaisten rajapintaoraakkeliin välityksellä tehdä ulkoisiin järjestelmiin (ks. tarkemmin esim. Lauslahti et al., 2018), menetetään tällaisten ratkaisujen myötä hyvin herkästi ne hyödyt, joita järjestelmän hajautuneisuuden avulla voidaan ajatella saavutettavan. Näin ollen konseptualisointi on laadittu siten, että niin ennakonpidätykset kuin myöskin käytettävissä olevat varat voidaan säilyttää Ethereum-verotilillä eriteltyinä.

Raportin liitteenä oleva älysovimuskoodi julkaistaan avoimena lähdekoodina MIT-lisenssin<sup>20</sup> puitteissa vapaasti hyödynnettäväksi. Konseptualisoinnin lähdekoodirepositorio on ladattavissa osoitteesta <<https://github.com/hukkinj1/demo-eth-tax>>. Älysovimuksen laadinnassa käytettiin seuraavia ohjelmistotyökaluja:

- Ubuntu 19.04
- Ganache-cli 6.4.1
- Truffle 5.0.9
- Node.js 11.12.0

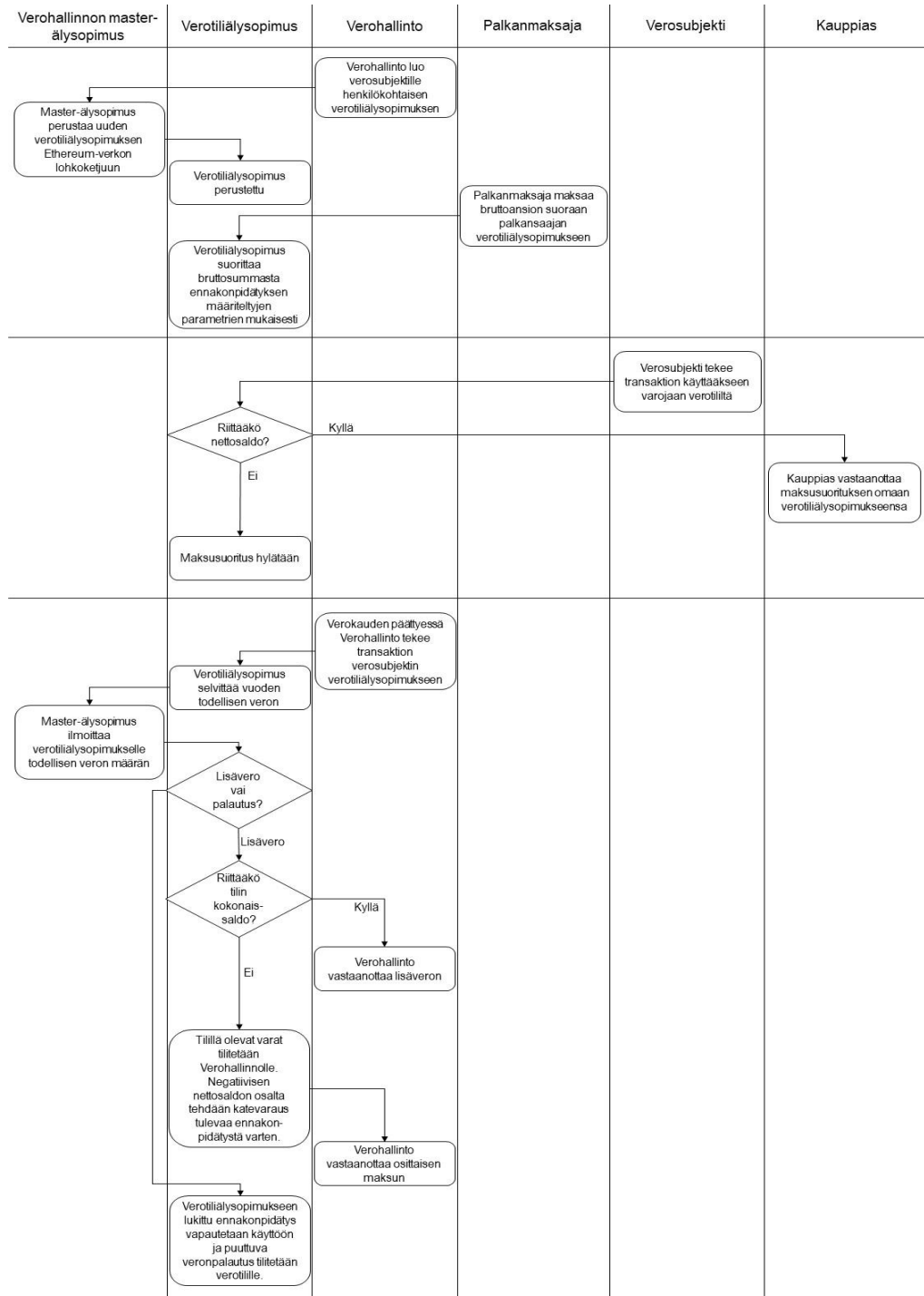
Hahmoteltu esimerkisovellus rakentuu kaksitasoiselle älysovimusrakenteelle. Konseptin keskeisimpänä elementtinä toimii Verohallinnon kontrolloima master-tason älysovimus, jota ainoastaan Verohallinto voi käyttää luodakseen verosubjekteille henkilökohtaisia verotiliälysovimuksia. Verohallinnon perustettua tällä tavoin tilin verosubjektille, voi verosubjekti vastaanottaa palkanmaksu- ja pienyrittäjäsuorituksia suoraan verotilille. Palkanmaksaja tai muu taho voi maksaa bruttosumman suoraan älysovimukseen, jonka jälkeen älysovimus suorittaa ohjelmointilogiikkansa puitteissa summasta tarvittavan ennakonpidätyksen, sekä muut siihen ohjelmoidut pakolliset erät.

Kun tilille on tehty maksusuorituksia, verosubjekti voi tämän jälkeen vapaasti käyttää tilinsä nettosaldoa maksujen tekemiseen henkilökohtaisella kryptografisella avaimellaan. Käytännössä katsoen sovelluksen logiikka etenee tässä kohdin siten, että verosubjekti lähettää ensin verotilinsä älysovimukselle pyynnön maksun suorittamiseksi kolmannelle osapuolelle. Tämän jälkeen verosubjektin verotilin älysovimus tarkistaa tilin nettosaldon riittävyyden yli ennakonpidätysten sekä mahdollisten muiden pakollisten erien. Olettaen, että saldo on riittävä, verotilin älysovimus suorittaa pyydetyn maksun maksunsaajan, esim. kauppiaan omalle Ethereum-älysovimusverotilille. Mikäli verotilin nettosaldo taas puolestaan ei ole riittävä maksun suorittamiseen, maksu luonnollisestikin hylätään.

---

<sup>20</sup> <https://opensource.org/licenses/MIT>

Kuvio 19. Älysopimuksen looginen rakenne vuokaaviona.



Verokauden päättyessä Verohallinto tekee verosubjektin älysojopimukseen ajon todellisen veron selvittämiseksi. Verosubjektin verotiliälysojopimus tekee kyselyn Verohallinnon master-älysojopimukseen todellisen veron määrittämiseksi ja laskee, aiheutuuko

verosubjektin maksettavaksi lisävero vai koituuko tälle veronpalautus. Mikäli lopputuloksena on lisävero, verotilin älysojimus määrittelee, riittääkö verotilin kokonaissaldo lisäveron maksamiseen. Mikäli näin on, suorittaa verotilin älysojimus lisäveron maksusuorituksen Verohallinnolle. Jos saldo ei kuitenkaan riitä lisäveron maksamiseen, tilitetään verotilillä olevat varat Verohallinnolle ja negatiivisen nettosalidon osalta tehdään tilille katevaraus puuttuvan ennakonpidätyksen pidättämiseksi myöhemmin. Näin ollen Verohallinto vastaanottaa osittaisen maksun ja verotilin saldo painuu negatiiviseksi. Mikäli henkilölle sen sijaan muodostuu veronpalautusta, verotiliälysojimusene lukitu ennakonpidätys vapautetaan verosubjektin vapaaseen käyttöön ja puuttuva veronpalautus tilitetään verotilille Verohallinnon toimesta.

## 8.2.2 Alustan tausta-arkkitehtuuri

Kokonaisuutena tarkasteltuna Ethereum-älysojimusalustan järjestelmäarkkitehtuuri noudattelee niin sanottua Platform-as-a-Service -mallia (ks. taulukko 2). Mallin ajatuksena on, että alustan palveluntarjoaja tuottaa alustan perusinfrastruktuurin sekä myöskin alustan kehitysympäristön sovellusten kehittämistä ja alustakokonaisuuteen integroimista varten.

Ethereum-järjestelmässä alustan tuottaminen perustu avoimeen vertaisverkkomalliin. Näin ollen kuka tahansa tai ketkä tahansa tahot voivat osallistua alustan perusinfrastruktuurin sekä kehitysympäristön tuottamiseen ja ylläpitoon verkon protokollasääntöjen puitteissa.

**Taulukko 2. Ethereum-sopimusten tausta-arkkitehtuuri noudattelee Platform-as-a-Service -mallia.**

		Asiakas itse	IaaS	PaaS	SaaS
<b>Sovellusten kustannukset</b>					
Sovellukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kehittämiskustannukset</li> <li>• Ylläpito</li> </ul>	✗	✗	✗	✓
<b>Alustan kustannukset</b>					
Tietoturva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisenssit</li> </ul>	✗	✗	✓	✓
Tietokannat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisenssit</li> </ul>				
Käyttöjärjestelmät	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisenssit</li> </ul>				
<b>Infrastruktuurin kustannukset</b>					
Virtualisointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virtuaalikoneet</li> </ul>	✗	✓	✓	✓
Palvelimet, tallennuskapasiteetti ja tietoverkot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palvelimet (hardware)</li> <li>• Palvelinohjelmistot (software)</li> <li>• Tietoverkot</li> <li>• Ylläpito</li> </ul>				
Palvelinkeskus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiinteistö- ja tilakustannukset</li> <li>• Energiakulut (ml. jäähdytys)</li> </ul>				

✓ = Palveluntarjoaja tuottaa

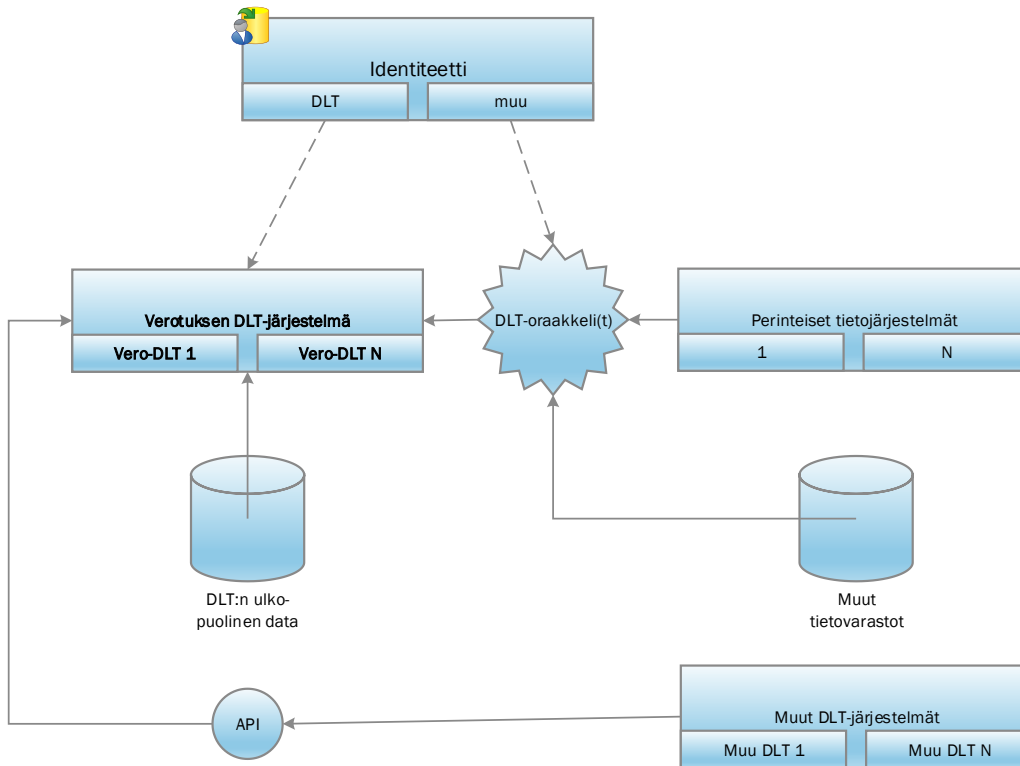
✗ = Asiakkaan omalla vastuulla

## 8.3 DLT-perusteinen lähestymistapa

### 8.3.1 Arkkitehtuurin komponentit

Kuviossa 20 esitellään tietojärjestelmäarkkitehtuurin DLT-konseptualisoinnin ensimmäinen taso, jossa verotuksen DLT-järjestelmä koostuu useammasta DLT-alustasta sekä hajautettuja tietokantoja hyödyntävästä alustakokonaisuuden ulkopuolisesta tietovarannosta.

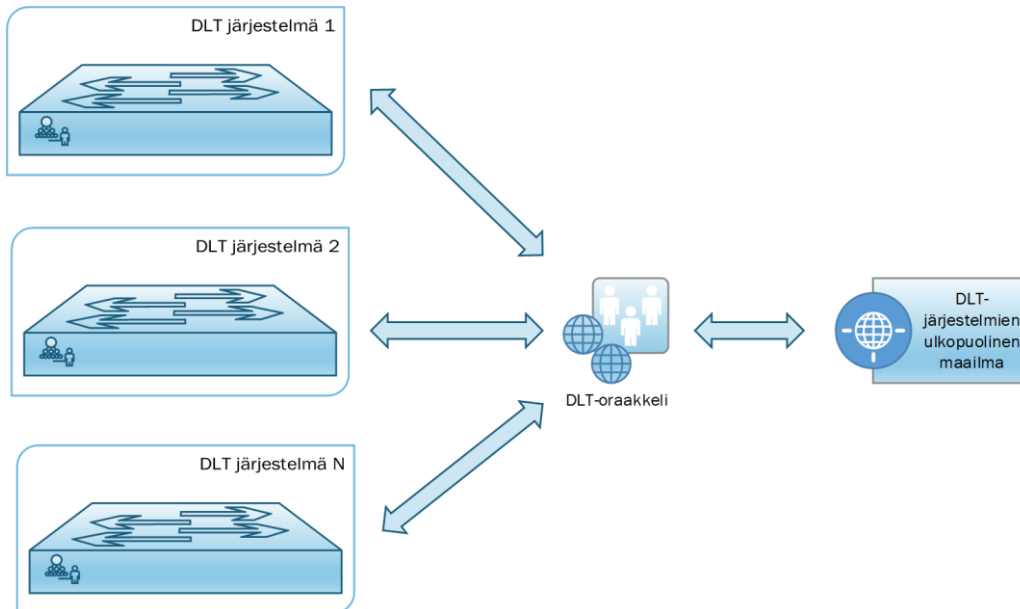
Kuvio 20. DLT-konseptualisoinnin järjestelmäarkkitehtuurilliset komponentit.



Alustan ulkopuolisella tietovarastolla saadaan tehostettua järjestelmän yksityisyydensuojaa. Toisekseen tietovaranto parantaa järjestelmän suorituskykyä, sillä kaikkea tietoa ei näin ole tarvetta tallentaa suoraan DLT-alustoille. Verotukseen oleellisena osana liittyvät eri toimijoiden identiteetit voidaan tuoda järjestelmään mm. perinteisin sähköisen tunnistautumisen keinoin. Lisäksi on ajoittain kaavailtu, että kuvatunkaltaisessa järjestelmässä käytettävät identiteetit voitaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti tuoda myös hajautettuihin identiteetteihin (engl. *'decentralized identity'*) tai itse hallittaviin identiteetteihin (engl. *'self-sovereign identity'*) perustuvista järjestelmistä.

Henkilöverotukseen liittyvä informaatio tuotetaan useissa erilaisissa perinteisin tietoteknisin menetelmin toteutetuissa sovelluksissa, kuten esimerkiksi palkanlaskentajärjestelmissä. Tämä tuotettu tieto on kyttävä luotettavasti tuomaan DLT-alustalle. Tähän tarkoitukseen konseptualisoinnissa on kuvattu DLT-oraakkeli, joka toimii rajapintana järjestelmien välillä sekä varmistaa välitetyn tiedon oikeellisuuden. DLT-oraakkeli voidaan siis ymmärtää rajapintana, jonka kautta kaikki DLT-alustan ulkopuolelta tuleva informaatio syötetään järjestelmään (ks. kuvio 21).

Kuvio 21. DLT-oraakkelin toimintaperiaate.



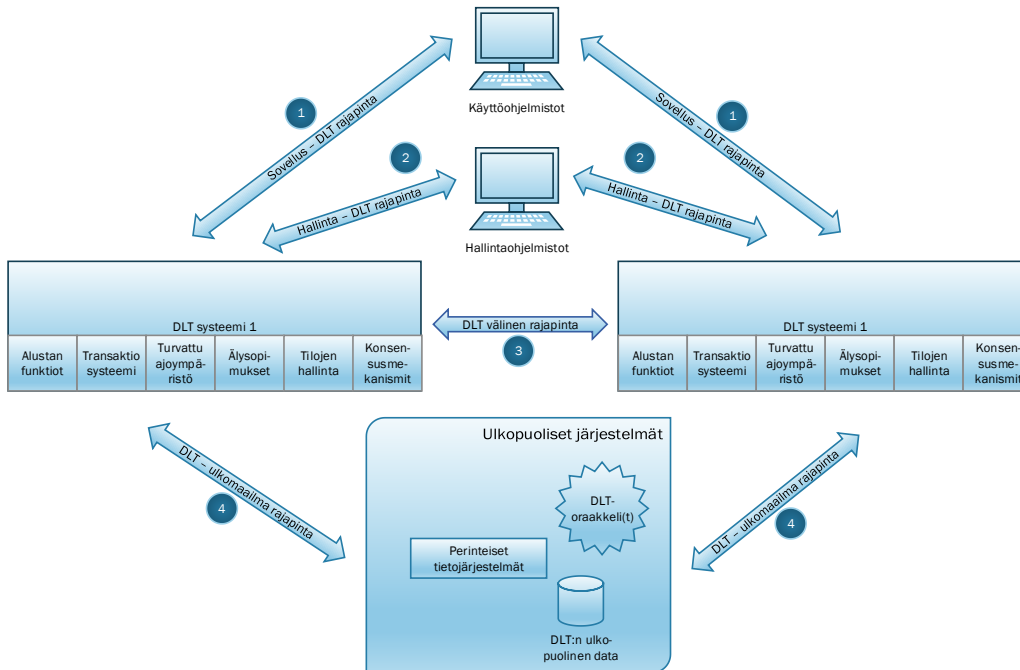
Henkilöverotukseen liittyviä maksutapahtumia saattaa syntyä muissa DLT-järjestelmissä, joista tapahtumat siirtyvät verotusjärjestelmään verkkojen välistä tiedonsiirto-protokollaa käyttäen.

### 8.3.2 Arkkitehtuurin rajapintamäärittelyt

Konseptualisoidun arkkitehtuurin eri komponenttien väliset rajapinnat on kuvattu kuviossa 22. Rajapintamäärittelyt voidaan nähdä tarvittavan dataliikenteeseen ja kommunikointiin ainakin seuraavien komponenttien välillä:

1. järjestelmän käyttösovellukset ja DLT-tietokannat
2. järjestelmän hallintasovellukset ja DLT-tietokannat
3. järjestelmän eri DLT-tietokantojen sisäiset keskinäiset yhteydet
4. järjestelmän DLT-tietokannat ja ulkopuoliset järjestelmät

Kuvio 22. Konseptualisoidun arkkitehtuurin rajapinnat.



### 8.3.3 Arkkitehtuurin käyttäjänäkymä

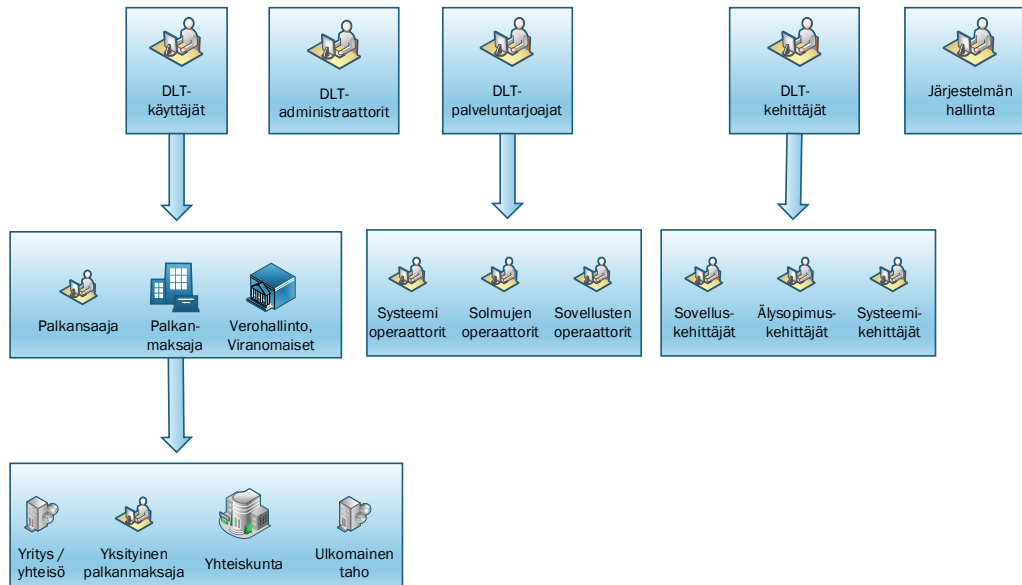
Konseptualisoituun järjestelmään liittyviä käyttäjiä ja heidän roolejaan on kuvattu kuviossa 23. Käyttäjät jakaantuvat viiteen pääkategoriaan:

1. loppukäyttäjät
2. palveluntarjoajat
3. järjestelmäkehittäjät
4. järjestelmän osien ylläpitäjät
5. kokonaisjärjestelmän hallinto

Nämä roolit jakaantuvat edelleen pienempiin aliryhmiin. Esimerkiksi loppukäyttäjien ryhmä koostuu palkansaajista, palkanmaksajista ja tietoja hyödyntävistä viranomaisista. Tarkemmalla tasolla luokittelu jakautuu edelleen yrityksiksi ja yhteisöiksi, yksityiseksi palkanmaksajiksi, yhteiskunnaksi sekä ulkomaisiksi palkanmaksajatahoiksi. Lisäksi kuvassa voitaisiin käyttäjäryhmänä huomioida myös muut järjestelmät, jotka tuottavat tietoa DLT-alustalle.



Kuvio 23. Verotusarkkitehtuurisysteemin käyttäjäryhmät.



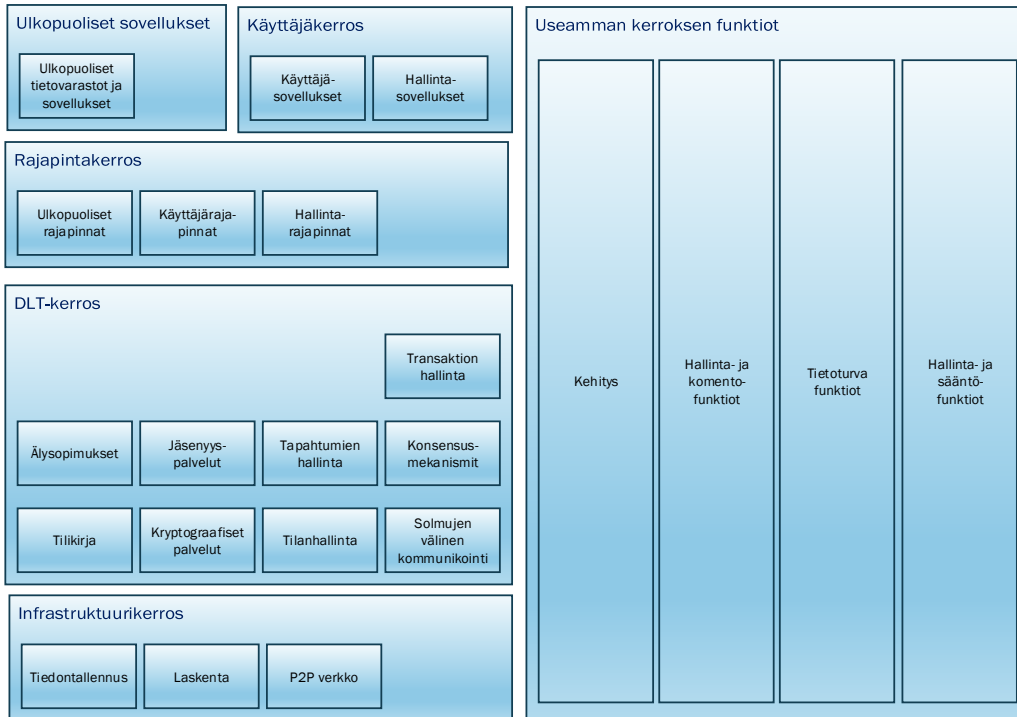
### 8.3.4 Arkkitehtuurin toiminnallinen määrittely

Kuviossa 24 on hahmoteltu konseptualisoidun järjestelmän eri kerrosten toiminnallisuuksia. Kerrosten lisäksi kuviossa on kuvattu kerrosrajojen yli ulottuvien funktioiden kokonaisuus. Kerroksia on kaiken kaikkiaan viisi:

1. käyttäjäkerros
2. ulkopuolisten sovellusten kerros
3. rajapintakerros
4. DLT-kerros
5. infrastruktuurikerros

Käyttäjäkerros takaa sovellusten yhteyden alustaan ja sen toiminnallisuuksiin. Ulkopuolisten sovellusten kerroksessa määritellään toiminnot DLT-alustan ulkopuoliseen maailmaan oraakkeleille, tietovarastoille ja muille sovelluksille. Rajapintakerroksessa toteutetaan tarvittavat kommunikointifunktiot. DLT-kerros toteuttaa toiminnallisuudet, joilla yhteensovitetään DLT-solun omat toiminnallisuudet ja toiminnallisuudet toisten solujen kanssa. Näitä ovat mm. älysovimusten toiminnallisuus, konsensusmekanismien toteutukset sekä tapahtumien hallinta. Infrastuktuurikerros puolestaan huolehtii toiminnallisesta ympäristöstä, kuten tietojen tallentamisesta, laskennasta sekä verkko-yhteyksistä vertaisverkkoihin ja muihin järjestelmiin. Useamman kerroksen funktiot huolehtivat toiminnallisuuksista useamman edellä mainitun kerroksen läpi.

Kuvio 24. Arkkitehtuurin toiminnallinen määrittely



### 8.3.5 Tietoturva ja hallinnointi

Hajautettua tietojärjestelmää suunniteltaessa ja toteutettaessa tietoturvan merkitys korostuu, koska järjestelmä ei sijaitse vain yhdessä helposti hallinnoitavassa paikassa. Erityistä huomiota on kiinnitettävä mm. seuraaviin tietoturvaan liittyviin asioihin:

- tietoverkkojen tietoturva
- kryptografisten algoritmien ja protokollien valinta ja konfigurointi
- kryptografisten avainten hallinta
- sovellusten tietoturva
- tietoturvan hallintaprosessit
- tietoturvasertifiointi
- konsensusmekanismien tietoturva
- datan hallinta

Laaditun konseptualisoinnin näkökulmasta eräänä keskeisenä haasteena voidaan nähdä järjestelmän osatoteutusten hallittavuus. Järjestelmäkokonaisuuteen joudutaan nimittäin käytännössä katsoen vääjäämättä sisällyttämään osia, joiden konfiguraatioon järjestelmän rakentava taho ei käytännössä katsoen itse voi juuri lainkaan vaikuttaa.

Myös yksityisyydensuoja on huomioitava järjestelmän suunnittelussa kokonaisvaltaisesti. Vaikka osa arkaluontoisista tiedoista voidaan kenties tallentaa suoraan järjestelmän DLT-tietokantoihin, joidenkin tietojen kohdalla voi olla turvallisempaa tallentaa ne järjestelmän ulkopuoliseen erilliseen tietovarastoon (ks. kuvio 20).

Eri toteuttajatahojen kesken hajautettu järjestelmä luo myös haasteen kokonaisuuden hallinnan näkökulmasta. Oleellista on, että uusi järjestelmä kyetään luodaan niin modulaariseksi, että kukin osapuoli voi helposti ylläpitää järjestelmässä omaa toiminnallisuuttaan. Lisäksi hajautetun järjestelmän tapauksessa on niin ikään huolehdittava virhe- ja riitatilanteiden tehokkaasta käsittelystä ja hallinnasta.

## 9 Kustannusvaikutukset

**Lohkoketjupohjaisten älysovimusten perustamis- ja käyttökustannukset rakentuvat hyvin eri tavoin perinteisiin IT-järjestelmiin verrattuna, eivätkä ne siten sovellu perinteisten pilvipalveluiden kaltaisiin toimintoihin. DLT-järjestelmien perustamis- ja käyttökustannukset eivät merkittävästi eroa tavanomaisista digitalisaation tietojärjestelmähankkeista, joskin kustannukset saattavat jakaantua osallistujien kesken aiempaa tasaisemmin.**

### 9.1 Älysovimusten kustannukset

Viime vuosikymmeninä tietotekniikan tutkimuksessa ei juurikaan ole keskitytty tietojärjestelmien resurssitehokkuuteen. Vastaavasti tietojärjestelmien suunnittelussa itse tietojärjestelmän käyttökustannukset eivät yleensä ole olleet keskeisessä roolissa. Tietojärjestelmiin on pääasiassa suhtauduttu pitkän aikavälin investointeina. Enimmäkseen niitä koskeva päätöksenteko onkin painottunut mm. työntekijöiden työpanoksen sekä strategisen kilpailuedun arviointiin, esim. markkinoille pääsyn, tuotedifferoitumisen, sekä aineettoman omaisuuden muodossa. (Ives-Learmonth, 1984; Weill, 1992; Woodward, 1997; Bharadwaj, 2000) Vaikka käytön perusteella veloittavien pilvipalveluiden yleistyminen on jonkin verran lisännyt mielenkiintoa tietojärjestelmien käyttökustannuksia sekä hinnoittelumalleja kohtaan, ei käyttökustannusten minimointi ole tältäkään osin edelleenkään ollut liiketoimintaohjelmistojen ohjelmistosuunnittelussa vallitseva ensisijainen tulokulma (Ks. Hukkinen et al., 2019).

Lohkoketjuperusteisia älysovimusalustoja (esim. Ethereum) voidaan luonnehtia platform-as-a-service -tyyppisiksi järjestelmiksi. Ne ovat avoimia ja hajautettuja laskentapilviä, joiden tietoteknisiä resursseja kuka tahansa voi ostaa käyttöönsä markkinahinnoittelun puitteissa. Käytännössä siis kuka tahansa asiakas voi määrittellä millaisia tahansa loogisia ohjelmointirakenteita verkon suoritettavaksi.

Vaikka käyttöön tarjottu suoritusympäristö onkin älysovimusjärjestemissä lähtökohtaisesti täysin eristetty, liittyy vapaaseen ohjelmitavuuteen riski siitä, että järjestelmään ladattaisiin loputtomia suoritusmukoi- ja ääretöntä laskentakapasiteettia edellyttävää ohjelmointikoodia, johtuen järjestelmän lamaantumiseen (*engl. 'halting problem'*). Jotta tällaisten toimintojen ohjelmointi ei olisi mahdollista, älysovimusalustat lähtökohtaisesti joko veloittavat ohjelmointikoodin suorittamisesta operaatiokohtaisesti (esim. Ethereum) tai soveltavat maksimiaikarajoitusta eri toimintojen suorittamiselle (esim. Hyperledger Fabric) (BlockGeeks, n.d.; Hukkinen et al., 2019)

Ethereum-älysovimusalustalla ohjelman suorittamiseen tarvittavien resurssien määrä on kvantifioitu laskentayksiköihin, joista käytetään nimitystä 'gas' (suom. 'polttoaine'). Kaikille älysovimusverkossa toteutettaville toiminnoille on määritelty jokin hinta gas-yksiköissä. Koska järjestelmän hajautetun luonteen vuoksi kaikki verkon solut autonomisesti suorittavat ja validoivat kaikki verkossa ajettavat älysovimukset, älysovimusjärjestelmän kokonaiskapasiteetti on jokaisella ajanjaksolla varsin rajallinen. Näin ollen käytettävissä olevat resurssit allokoidaan markkinamekanismin mukaisesti siten, että gas-yksiköiden käyttö on euromääräisesti sitä kalliimpaa, mitä enemmän niiden käytölle on juuri sillä ajan hetkellä kysyntää. Asia voidaan esittää myös kääntäen toisinpäin siten, että kaikki älysovimusverkkoon ladatut ohjelmat suoritetaan hintatarjousten mukaisessa etusijajärjestyksessä. Mikäli jokin tietty ohjelma on saatava suoritettua välittömästi, voi sen ajaminen verkossa tulla hyvinkin kalliiksi. Vastaavasti, mikäli ohjelman suorittamisella ei ole erityistä kiirettä, voidaan se mitä luultavimmin mahdollistaa johonkin väliin hiljaisempina ajankohtina huokeammalla hinnalla.

Voidaan siis todeta, että laskentaoperaatiokohtaisesta veloituksesta johtuen älysovimusalustojen käyttökustannukset rakentuvat tavanomaisesti hyvin eri tavoin ja erilaisiksi perinteisiin IT-järjestelmiin verrattuna. Esimerkiksi erään vuonna 2017 tehdyn arviolaskelman mukaan miljoona yksinkertaista liukulukuoperaatiota (esim. kahden kokonaisluvun yhteenlaskua) maksaisi Ethereum-älysovimusalustalla suoritettuna joitakin satoja miljoonia kertoja enemmän perinteiseen pilvipalvelualustaan (esim. *Amazon Web Services*) verrattuna. (Ryan, 2017) Onkin täysin selvää, ettei älysovimusalustoja ole tarkoitettu tällaisiin perinteisten pilvipalvelualustojen kaltaisiin toimintoihin. Radikaalisti erilaisesta kustannusrakenteesta johtuen ne käyttötapaukset, joissa lohkoketjupohjaiset älysovimusalustat—ja toisaalta taas perinteiset pilvipalvelualustat—soveltuvat käytettäväksi, eroavat siis olennaisesti ja merkittävästi toisistaan.

**Taulukko 3. Ethereum-järjestelmään suunnitellun hajautetun energiamarkkinasovelluksen käyttökustannus yhden sähkönsiirtotapahtuman osalta eri ajan hetkillä. Markkinakysynnästä riippuen kustannusten suuruus voi vaihdella useita kertaluokkia, mikä tekee käyttökustannusten ennakoimisesta pitkällä tähtäimellä vaikeaa. (Hukkinen et al. 2019)**

Ajankohta	Gas-yksiköiden hinta (Gwei)	Ether-yksiköiden hinta (USD)	Kokonaiskustannus (USD)
13.10.2017	26.49	\$ 302.89	\$ 3.21
14.1.2018	58.39	\$ 1385.02	\$ 32.35
15.2.2018	21.57	\$ 920.11	\$ 7.94
12.6.2018	14.04	\$ 531.15	\$ 2.98
28.8.2018	12.80	\$ 288.02	\$ 1.48

## 9.2 DLT-alustat ja digitalisaatio

Hajautettujen tilikirjojen eli DLT-järjestelmien osalta huomio innovoinnissa vaikuttaisi keskittyneen pääasiassa datan moniversiohallinnan tehostamiseen sekä tietojärjestelmien väliseen integraation, luotettavuuden, läpinäkyvyyden ja autentikoitavuuden parantamiseen yksityisissä sekä konsortiopohjaisissa tietojärjestelmä- ja arvoketjukokonaisuuksissa. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että DLT-järjestelmien kehittämisen tavoitteet ja päämäärät vastaavat itse asiassa hyvin pitkälti sitä kehitystä, jota laajemmassa kontekstissa on aiemmin tavattu kutsua yleisemmin digitalisaatioksi. Kysymys on siis pitkälti eri tietojärjestelmien ja tietojärjestelmäprosessien välisestä integraatiosta olemassa olevien arvoketjurakenteiden tehostamiseksi ja kehittämiseksi, sekä osaltaan myös uuden liiketoiminnan mahdollistamiseksi.

Tavanomaisiin digitalisaation tietojärjestelmähankkeisiin verrattuna DLT-järjestelmien tietojärjestelmäkustannukset eivät vaikuta merkittävästi eroavan siltä osin, millaisista tekijöistä järjestelmän perustamis- ja käyttökustannukset yleisesti ottaen muodostuvat. Ehkä keskeisimpänä erona perinteisen ja DLT-mallin välillä voidaan nähdä se seikka, että konsortiopohjaisissa yhteishankkeissa järjestelmän suunnittelu- ja perustamiskustannukset yleensä jakaantuvat eri toimijoiden kesken (Ks. myös Kotiranta et al., 2017). Kustannusrakenteen ilmeisestä samankaltaisuudesta johtuen, DLT-järjestelmien sovellusten kustannusvaikutuksia ei tarkemmin tässä raportissa kuvailla.

## 9.3 Älysopimusten optimointiperiaatteet

Sen lisäksi, että lohkoketjuperusteisia älysopimuspalveluita käytettäessä on tiedostettava niiden käyttötarkoitus ja erilainen soveltuvuus perinteisiin pilvipalveluihin nähden, on älysopimukset aina optimoitava alustan resurssikulutuksen ja sitä kautta myös sovelluksen käyttökustannusten osalta. Käytännössä ohjelmien laadinnassa voidaan soveltaa esimerkiksi seuraavanlaisia suunnitteluperiaatteita (Hukkinen et al., 2019):

1. **Vältä useiden uusien älysopimusten perustamista järjestelmän lohkoketjuun.** Uusien sopimusten luominen on Ethereum-verkossa suoritettavista operaatioista selvästi kallein (32 000 gas). Tästä johtuen esimerkiksi sellainen järjestely, jossa jokaiselle käyttäjälle perustettaisiin oma älysopimuksensa Ethereum-verkon lohkoketjuun, ei mitään luultavimmin käyttökustannusten näkökulmasta tule kysymykseen.
2. **Pyri suunnittelemaan järjestelmä siten, että älysopimuksen kanssa tehtyjen vuorovaikutuskertojen määrä pysyy mahdollisimman pienenä.** Ethereum-järjestelmässä jokaiseen vuorovaikutustapahtumaan liittyy ns. kiinteä perusmaksu (engl. 'transaction base fee', 21 000 gas),

jonka päälle tuleva muuttuva osuus määritty vuorovaikutuksen laajuuden ja resurssi-intensiivisyyden perusteella. Koska perusmaksu on suuruusluokaltaan kohtalaisen suuri verrattuna itse laskentaoperaatioiden suorittamiseen, on älysopimusten optimoinnissa pyrittävä suunnitteluratkaisuun, jossa käytetään vähemmän ohjelmointifunktioita, jotka sisältävät enemmän toimintoja.

3. **Minimoi järjestelmän sisäisen tallennustilan käyttötarve.** Yksittäisen sanan tallentamisen kustannus Ethereum-järjestelmän sisäistä tallennustilaa käyttäen on 20 000 gas-yksikköä, kun sama toimenpide muistia käyttäen on 3 gas-yksikköä. Näin ollen älysopimusten suunnittelussa tulee pyrkiä muistin käyttöön tallennustilan sijaan aina kuin mahdollista.
4. **Käytä muistia tiiviisti.** Vaikkakin muistin käyttö on merkittävästi tallennustilaa edullisempaa Ethereum-alustalla, on syytä huomioida, että muistin käytön kustannus kasvaa eksponentiaalisesti käytön laajentuessa. Näin ollen älysopimus on pyrittävä suunnittelemaan siten, ettei muistiin tarvitse taltioida montaa asiaa samanaikaisesti, vaan asiat voidaan taltioida vuoronperään.
5. **Suosi tiedon hajautustiivisteiden taltiointia koko tietomassan taltiointin sijaan.** Hajautustiivisteitä käyttämällä älysopimusjärjestelmään taltiointia edellyttävän tiedon määrä kutistuu merkittävästi. Menettelyn avulla itse tieto voidaan taltioida lokaalisti ja sen oikeellisuudesta voidaan varmistua siitä tuotettua hajautustiivistettä älysopimusjärjestelmään tallennettuun tiivisteeseen vertaamalla.
6. **Poista tarpeettomat sopimukset ja taltioidut tiedot älysopimusjärjestelmästä.** Sopimusten ja tietojen poistamiselle on Ethereum-järjestelmässä määritelty palautusmaksina maksettavan tietty määrä gas-yksiköitä takaisin käyttäjälle. Näin ollen turhia ja vanhentuneita rakenteita järjestelmästä siivoamalla on resursseja mahdollista allokoida uusiin suoritustapahtumiin.
7. **Pyri suorittamaan ohjelmointilogiikkaa pääasiassa älysopimusjärjestelmän ulkopuolella ja käytä sitä ainoastaan riidanratkaisun varmenteena.** Mikäli tarve lohkoketjuteknologian käytölle kumpuaa yksinomaan kiistanalaisten tilanteiden ratkaisemisesta, voidaan kustannuksia tehokkaasti leikata tallentamalla pelkät tapahtumien hajautustiivisteet lohkoketjuun. (Koulu, 2016)

Lohkoketjuperusteisten älysopimusten käyttöä suunniteltaessa on siis otettava huomioon se seikka, että optimointi lisää ohjelmistosuunnittelun vaatimaa aikaa ja sen kustannuksia merkittävästi.

Osana hanketta hahmotellun älysopimuskonseptualisoinnin osalta on todettava, ettei näiden periaatteiden mukaista optimointia ole kovinkaan suuressa laajuudessa suoritettu, eikä kyseisen älysopimusarkkitehtuurin toteutuskelpoisuutta ole systemaattisesti

arvioitu ja testattu tästä näkökulmasta. Todennäköistä kuitenkin lienee, että rakenteessa on parantamisen varaa—esimerkiksi hahmotellunkaltaisella rakenteella järjestelmän käyttökustannukset muodostuisivat hyvin korkeiksi mm. verosubjektikohtaisten älysovimusten perustamisen johdosta.

## 9.4 Lohkoketjuteknologian vaikutukset sovellusten elinkaarikustannuksiin

Hankkeen osana tarkasteltiin, millaisia kustannusvaikutuksia sovellusten elinkaarikustannuksiin aiheutuu, mikäli sovellus toteutetaan lohkoketjuperusteisen älysovimusjärjestelmän päälle perinteisen pilvipalveluratkaisun sijaan. Kustannusvaikutuksia on soveltuvien osien tarkasteltu mukautetun ohjelmistokehityksen ja pilvipalveluiden kustannusanalyysimalleja soveltaen (Stamelos et al., 2003; Li et al., 2009). Heuristisen kokonaisarvioinnin perusteella Ethereum-älysovimusjärjestelmän kustannusvaikutukset perinteisiin pilvipalveluratkaisuihin verrattuna näyttävät seuraavanlaisina.

### 9.4.1 Infrastruktuurin ylläpitokustannukset

#### 9.4.1.1 Virtualisointi

Virtualisoinnilla tarkoitetaan menettelyä, jossa fyysinen tietokonelaitteisto tuottaa ja ylläpitää aitojen tietokoneiden ohjelmallisesti simuloituja virtuaalisia vastineita. Sen avulla voidaan usein saavuttaa merkittäviä kustannus- ja tehokkuushyötyjä tietojärjestelmäarkkitehtuurien osalta. Menettelyn avulla entistä heterogeenisempiä palvelinlaitteistoja voidaan esimerkiksi käyttää aiempaa monipuolisemmin ja pienetkin tehtävät voidaan allokoida niihin parhaiten soveltuville yksittäisille palvelinlaitteille. Samalla palvelimella voidaan ajaa useampaa eri simuloitua laitteistokokonaisuutta ja käyttöjärjestelmää, ja vastaavasti useita tietokoneita voidaan yhdistää toimimaan yhtenä jättimäisenä kokonaisuutena. (Geist et al., 1994)

Ethereum-älysovimusalusta hyödyntää virtualisointia vertaisverkkoympäristössä tapahtuvan rinnakkaislaskennan muodossa. Sen käyttämä virtuaalikoneohjelmisto on luovutettu vapaaseen yleiseen käyttöön (engl. *public domain*).<sup>21</sup> Näin ollen on mahdollista, että virtualisointikerroksen kustannukset jäävät Ethereum-alustalla perinteisiä pilvipalvelualueita jonkin verran pienemmiksi, mikäli jälkimmäisille aiheutuu lisensiointimaksuja kaupallisten virtualisointiohjelmistojen käytöstä.

---

21 <https://github.com/pirapira/awesome-ethereum-virtual-machine>.



### 9.4.1.2 Palvelimet, tallennuskapasiteetti ja tietoverkot

Lähtökohtaisesti Ethereum-verkon protokollaan sisällytetty kannustinrakenne saa aikaan sen, että ne tahot, jotka haluavat osallistua verkon hajautetun palveluinfrastruktuurin tuottamiseen, vastaavat omatoimisesti omista laitehankinnoistaan. Näin ollen laiteinvestointien kannattavuus määrittyy entistä suuremmin ja entistä dynaamisemmin globaalin markkinahinnoittelun ja kulutuskysynnän mukaan. Toisin sanoen, alustan loppukäyttäjän kyky vaikuttaa palvelinlaitteiston käytöstä maksamiensa maksujen suuruuteen on aiempaa suurempi, ja palvelun tuottaminen mukautuu hintatasoon dynaamisesti. (Mattila–Seppälä, 2018)

Joidenkin näkemysten mukaan lohkoketjunalustat saattavat myös madaltaa palvelinlaitteistokustannuksia sovelluskehittäjien näkökulmasta sitä kautta, että tietyn tyyppisissä sovelluksissa Ethereum-verkko voi kattaa sekä palvelininfrastruktuurin että myöskin tietokantojen tarpeen tehokkaasti, esim. Interplanetary File System (IPFS) -järjestelmän kanssa yhdessä käytettynä. (Pozo, 2017)

### 9.4.1.3 Kiinteistö-, tila- ja energiakustannukset

Lohkoketjujärjestelmien synkronisaation ja moniversiohallinnan perustaksi on kehitetty useita erilaisia konsensusmekanismeja (Ks. esim. Mattila, 2016a). Vaikka Ethereum-järjestelmän kehitystiekartalla elää suunnitelma konsensusmekanismin vaihdoksesta, nykyisin Ethereum-lohkoketju edelleen soveltaa kuitenkin yhtä varhaisimmista ja yleisimmin käytetyistä mekanismeista eli niin sanottua työntodistusta (engl. *'proof of work'*.)

Seurauksena työntodistukseen vaadittavasta kryptografisesta laskennasta, lohkoketjujärjestelmien protokollat osallistujia kannustavat, järjestelmien energiankulutus voi nousta huimiin lukemiin. Esimerkiksi vuoden 2018 jälkimmäisellä puoliskolla Bitcoin-lohkoketjuverkon kokonaisenergiankulutukseksi arvioitiin noin 73 terawattituntia vuodessa (Digiconomist, 2018), mikä määrältään vastaa koko Yhdysvaltojen kaikkien datakeskusten yhteenlaskettua energiankulutusta vuonna 2014 (Sverdlik, 2016). Vastaavasti, vuonna 2018 Ethereum-järjestelmän vuotuiseksi kokonaisenergiankulutukseksi arvioitiin noin 20 terawattituntia. (Digiconomist, 2018)

Avoimissa lohkoketjujärjestelmissä palveluntarjonta ja hinnoittelu tapahtuu käytännössä katsoen täysin vapaan markkinamekanismin puitteissa. Järjestelmän energiakustannukset allokoituvat sovellusten käyttäjien sekä järjestelmän sijoittajien maksettaviksi järjestelmän kryptorahakkeen arvonmuodostuksen mekanismien välityksellä. (Mattila–Seppälä, 2018). Tästä johtuen Ethereum-järjestelmää käytettäessä energiakustannukset sovelluksen suorittamisesta koituvat maksettavaksi lähtökohtaisesti sille taholle, jolla on tarve olla sopimuksen kanssa vuorovaikutuksessa (toisin sanoen,

kuka sopimukseen syöttää gas-rahakkeita). Näin ollen, vaikka sovelluksen suunnittelusta riippuen on mahdollista, että jonkin yksittäisen tahon tai osapuolen sovellukseen liittyvät energiakustannukset alenevat, kumulatiivisesti sovelluksen loppukäyttäjien näkökulmasta energiakustannukset kasvavat merkittävästi. Kokonaisuutena tarkasteltuna nettovaikutuksen voidaan siis arvioida olevan merkittävällä tavalla kasvava (Hukkinen et al., 2019).

On kuitenkin syytä huomioida, että mikäli Ethereum-järjestelmän osalta suunnitellusti siirrytään muunlaisen konsensusmenetelmän käyttöön, voidaan järjestelmän energiakustannusten ennakoita madaltuvan merkittävästi. Muunlaisten konsensusmenetelmien käyttö ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton, eikä varmuutta suunnitelman toteutumisesta ole (O’Leary, 2018).

## 9.4.2 Alustan työkalukustannukset

Kaupallisia ohjelmistoja käytettäessä alustan lisenssimaksut saattavat tapauksesta riippuen olla jopa nelinkertaiset pilvipalvelun laitekustannuksiin nähden. Viime vuosina yleistynyt käytäntö onkin turvautua enenevässä määrin pelkkien *public domain* -palvelinohjelmistojen käyttöön pilvipalveluiden tuottamisessa. Mikäli pilvipalvelun tarjoamiseen käytetään yksinomaan lisenssivapaita *public domain* -ohjelmistoja, kuten enenevässä määrin on trendinä, ei ohjelmistojen käytöstä suoranaisesti aiheudu lisensiointikustannuksia. Siltikin lisenssikysymykset voivat hidastaa pilvipalveluiden käyttöönottoa sovelluksissa epäsuorasti, mikäli esim. sovelluskehitykseen käytettyjä työkaluja tai muita liitännäisohjelmistoja ei ole lisensoitu pilvipalveluissa käytettäväksi (McRoberts, 2013).

Lohkoketjuperusteisissa älysovimusjärjestelmissä alustainfrastruktuurin tuottamiseen osallistuvat palveluntarjoajat eivät yleensä ole tahdonvastaisesti tunnistettavissa ja yksilöitävissä. Toisekseen esim. Ethereum-verkon kehittäjäyhteisössä jatkuvana aktiivisena pyrkimyksenä on säilyttää verkon konsensusmekanismi sen kaltaisena, ettei verkon koossa pysymiseen ja turvaamiseen vaadittavaa kryptografista laskentaa voida tehokkaasti suorittaa tarkoitukseen rakennettujen sovelluskohtaisten mikropiirien (engl. *’application specific integrated circuit’, ASIC*) avulla (O’Leary, 2019). Näin ollen järjestelmän palveluntarjoajien käyttöjärjestelmälisenssien tai esim. tietoturvaohjelmistolisenssien noudattamista on käytännössä mahdotonta valvoa tai selvittää esim. palveluntarjoajia tai laitteistovalmistajia tarkastelemalla. Anonymiteetin seurauksena lieenee kuitenkin todennäköistä, ettei tällaisia lisensiointimaksuja ainakaan täysimääräisesti koidu alustan sovelluskehittäjien tai loppukäyttäjien maksettavaksi, ja näin ollen lisenssimaksujen voidaan arvioida jäävän mahdollisesti jossakin määrin pienemmiksi—taikka lisenssivapaisiin ohjelmistoihin verrattuna, säilyvän jokseenkin ennallaan.

### 9.4.3 Suorat sovelluskehityksen kustannukset

Kuten raportin luvussa 9.1 edellä todettiin, lohkokejtuteknologian vaikutusten osalta älysopimussovellusten käyttökustannukset rakentuvat tyypillisesti hyvin erilaisiksi perinteisiin pilvipalvelusovelluksiin verrattuna. Luvussa 9.3 puolestaan selostettiin, millaisin periaattein älysopimusten käyttökustannukset on sovelluskehityksen yhteydessä optimoitava. On varsin selvää, että vaadittava lisäoptimointi kasvattaa lohkokejtupohjaisten älysopimusalojen ympäristöön tapahtuvan sovelluskehityksen kustannuksia.

Lohkokejtupohjaisille älysopimusjärjestelmille on ominaista, ettei kertaalleen lohkokejtuihin taltioitu ohjelmointikoodi ole jälkikäteen ainakaan kovin helposti päivitettävissä. Näin ollen älysopimussovellusten kehityksessä on äärimmäisen tärkeää, että myös ohjelmistokehityksen ja erityisesti koodaustyön oikeellisuuden laadunvalvontaan panostetaan riittävästi. Lohkokejtuteknologian sekä älysopimusten historiasta löytyy nimittäin lukemattomia havainnollistavia esimerkkejä siitä, kuinka katastrofaalisia seurauksia virheellisesti koodatuilla ja sellaisinaan käyttöönotetuilla älysopimussovelluksilla voi kaiken kaikkiaan olla (ks. esim. luku 5.8, Case: The DAO).

Vaikkakaan itse ohjelmointikoodin kirjoitustyö ei älysopimussovelluksissa sinällään juurikaan eroa muiden sovellusten laadinnasta, älysopimusjärjestelmien erityispiirteistä seuraavat lisäedellytykset eritoten käyttökustannusoptimoinnin sekä laadunvalvonnan osalta tarkoittavat käytännössä katsoen sitä, että älysopimusaloille rakennettujen sovellusten suorat sovelluskehityksen kustannukset ovat merkittävästi tavanomaista sovelluskehitystyötä korkeammat.

**Taulukko 4. Heuristinen arviointi Ethereum-älysopimusjärjestelmän käytön vaikutuksista sovellusten elinkaarikustannuksiin perinteisiin pilvipalveluarkkitehtuureihin verrattuna. Vihreät nuolet symboloivat kustannussäästöjä, punaiset nuolet puolestaan lisäkustannuksia, nuolten lukumäärän kuvattessa vaikutuksen suuruusluokkaa.**

Osa-alue	Kustannuserä	Kustannusvaikutus	Kokonais-kustannusvaikutus
<b>Suorat sovelluskehityksen kustannukset</b>			
Sovellukset	• Suunnittelu	↑↑	↑
	• Ohjelmointi	+/- 0	
	• Laadunvalvonta	↑↑	
<b>Alustan työkalukustannukset</b>			
Tietoturva	• Ohjelmistolisenssit	↓	↓
Tietokannat	• Ohjelmistolisenssit	↓	
Käyttöjärjestelmät	• Ohjelmistolisenssit	↓	
<b>Infrastruktuurin ylläpitokustannukset</b>			
Virtualisointi	• Ohjelmistolisenssit	↓	↑
Palvelimet, tallennuskapasiteetti ja tietoverkot	• Palvelinlaitteisto	↓	
	• Palvelinohjelmistot	↓	
	• Tietoverkot	↓	
	• Ylläpitotoiminnot	↓	
	• Kiinteistö- ja tilakustannukset	↑	
Palvelinkeskus	• Energiakustannukset	↑↑↑	

## 10 Sääntelyn näkökulma

**Lohkoketjujärjestelmiin liittyy runsaasti oikeudellisia haasteita, johtuen muun muassa järjestelmien hajautuneisuudesta, keskeisen auktoriteetin puutteesta, tietojen korjaamattomuudesta sekä järjestelmien autonomisuudesta. Lohkoketjuteknologiaan liittyvän oikeustilan epäselvyyden voidaan katsoa edellyttävän lisää tutkimustietoa, jotta teknologiaa voitaisiin hyödyntää vastuullisesti. Edellä esitettyihin näkökulmiin tulee ottaa kantaa laaja-alaisessa lainvalmistelutyössä, mikäli älysovimukseen perustuvaa verotiliä ja lohkoketjupohjaisia järjestelmiä yleisesti päädytään kehittämään eteenpäin myös tulevaisuudessa.**

### 10.1 Lohkoketjut oikeudellisen sääntelyn haasteena

Tämän kappaleen tarkoituksena on tarkastella lyhyesti lohkoketjujen ja esitetyn verotilimallin mahdollisia oikeudellisia haasteita. Tarkastelun tarkoituksena on systematisoida joitakin aiheen kannalta merkityksellisiä näkökulmia. Yleisenä lähtökohtana voidaan pitää sitä, että aiheeseen liittyvät oikeudelliset kysymykset ovat tällä hetkellä vielä varsin avoinna eikä lohkoketjujen oikeudellisista vaikutuksista ole toistaiseksi saatavilla kovin kattavaa tutkimustietoa. Aihetta suoraan käsittelevän lainsäädännön, oikeuskäytännön ja tutkimuksen puutteen vuoksi jäljempänä esitetyt näkökulmat ovat luonteeltaan lähinnä alustavia huomioita mahdollisista kysymyksistä.

Sääntelyn näkökulmasta lohkoketjujärjestelmiin voidaan katsoa liittyvän runsaasti haasteita, jotka johtuvat nimenomaan lohkoketjujen teknologisesta rakenteesta. Kirjallisuudessa ongelmien on muun muassa katsottu liittyvän järjestelmien hajautuneisuuteen, keskeisen auktoriteetin puutteeseen, tietojen korjaamattomuuteen ja autonomisuuteen (De Filippi & Wright, 2018). Lohkoketjut ovat ongelmallisia sääntelyn kannalta muun muassa siksi, että olemassa oleva sääntely ei välttämättä pysty vaikuttamaan hajautettujen ja autonomisten järjestelmien toimintaan. Toisaalta monet lohkoketjujen käyttöön liittyvät haasteet riippuvat myös suoraan lohkoketjun tarkemmista teknisistä yksityiskohdista kuten siitä, onko käytössä esimerkiksi avoin vai suljettu lohkoketju tai millaista validointimekanismia ketju käyttää. Kuitenkin, käytännön haasteista johtuen jotkut tahot ovat katsoneet lohkoketjujen toimivan nykyisin osittain tai jopa täysin sääntelyn ulkopuolella (De Filippi & Wright, 2018, s.49-52). Käsitystä on mahdollisesti myös vahvistanut se, että lohkoketjuteknologiaan on myös jo sen alkuajoista alkaen

liittynyt vahva yksilönvapauksia korostava libertaarinen maailmankatsomus, jossa järjestelmien kehityksessä valtioiden ja lainsäätäjän regulatorinen rooli on tietoisesti hylätty sulkea pois (Raskin, 2017, s. 334-335).

Kuitenkin huolimatta nähtävissä olevista sääntelyhaasteista, oikeuskirjallisuudessa on tunnistettu lukuisia mahdollisuuksia lohkoketjujen sääntelystrategioiksi (De Felippi–Wright 2018, s. 175-189). Kuitenkin, kirjallisuudessa tunnistetuista sääntelystrategioista huolimatta lohkoketjuja koskevasta maailmanlaajuisesta sääntelystä ei ole kuitenkaan toistaiseksi havaittavissa selkeää kehittyntä sääntelystrategiaa, ja monet valtiot ympäri maailmaa näyttävät suosivan sen sijaan pistettäistä sääntelytapaa, jossa keskitytään yksittäisten havaittujen ongelmien ratkaisuun (Ks. esim. Yeoh 2017, s. 204). Esimerkiksi EU-tasolla lohkoketjuja koskeva sääntely on kohdistunut kryptovaluuttojen anonyymin kaupankäynnin kautta lähinnä rikos- ja vero-oikeudellisiin seikkoihin.<sup>22</sup> Edellä mainittujen sääntelyhaasteiden ja nykyisen pisteittäisen sääntelyn voidaan katsoa luovan oikeudellista epävarmuutta lohkoketjuihin liittyen, minkä vuoksi niihin liittyy myös lukuisia avoimia oikeudellisia kysymyksiä. Seuraavissa kohdissa käsitelläänkin lyhyesti lohkoketjupohjaisen älysopimuksia hyödyntävän tuloverotilin käyttöön liittyviä mahdollisia juridisia haasteita eri näkökulmista.

## 10.2 Älysopimukset sopimusoikeuden näkökulmasta

Toistaiseksi lohkoketjuja on tarkasteltu oikeustieteellisessä tutkimuksessa erityisesti älysopimusten kautta sopimusoikeudellisesta näkökulmasta. Näkökulma on näkynyt muun muassa siinä, että älysopimusten tarkastelun keskiössä on ollut muun muassa suomalaisen sopimusoikeuden mukaisen tarjous-vastaus mekanismin ja osapuolten tahdonilmaisujen arviointi. Kysymyksenasettelu on tällöin kulminoitunut erityisesti siihen, voidaanko älysopimuksia pitää myös oikeudellisesti sitovina sopimuksina (ks. esim. (Lauslahti et al. 2018).

Yhtenä lohkoketjupohjaisiin älysopimuksiin liittyvänä riskinä voidaan pitää sitä, että termi älysopimus sekoitetaan usein synonyymiksi oikeudellisesti pitävän sopimuksen kanssa. Termille älysopimus ei kuitenkaan ole olemassa yleistä määritelmää ja käsitteet älysopimusten juridisesta asemasta vaihtelevat oikeuskirjallisuudessa (Ks. esim. Raskin 2016; Savelyev 2016). Monesti älysopimusten juridisen aseman arvioin-

---

<sup>22</sup> Esimerkiksi vuonna 2018 voimaan astunut AMDL5-direktiivi puuttui kryptovaluuttojen käyttöön pyrkimällä estämään yksityishenkilöiden anonyymiteetin heidän käyttäessä kryptovaluuttoja varten perustettuja lompakkopalveluita. Ks. Hoyben–Snyers 2018.

nissa onkin kyse tapauskohtaisesta harkinnasta. Vaikka esimerkiksi suomalaisen sopimusoikeuden yleisten oppien ja muotovapauden perusteella älynsopimukset voivat sinällään olla yksi tapa solmia myös juridisia sopimuksia, eivät kaikki älynsopimukset välttämättä ole laskettavissa juridisesti pitäviksi sopimuksiksi (Älynsopimusten sopimusoikeudellisesta asemasta kotimaisesta kontekstista katsottuna ks. esim. Lauslahti – Mattila – Seppälä 2016).

Ongelmaksi älynsopimusten tulkitsemisen kohdalla voi muodostua esimerkiksi luonnollisen kielen ja koodin heikko yhteensovittavuus (De Filippi–Wright 2018, s. 76-78). Sopimusoikeudellisen ulottuvuuden lisäksi älynsopimusten teknisestä toteutuksesta johtuva sopimusten automaattinen toimeenpano nostaa esille myös prosessioikeudellisia kysymyksiä sopimusten toimeenpanoon ja riidanratkaisuun liittyen (Ks. esim. Koulu 2016. Lohkoketjupohjaisesta riidanratkaisusta ks. esim. Koulu – Markkanen 2019). Verotilihankkeen kannalta olisi oleellista selvittää, missä määrin järjestelmä perustuisi eri osapuolten kuten työntekijöiden ja työnantajien välisten älynsopimusten automaattiselle toimeenpanolle ja missä määrin älynsopimukset vastaisivat mahdollisesti myös oikeudellisesti pitäviä sopimuksia.

## 10.3 Älynsopimukselle rakentuvan verotilin työoikeudellinen ulottuvuus

Verotilin toteutuksen kannalta oleellisena seikkana voidaan pitää ensinnäkin sitä, millainen oikeudellinen asema järjestelmän käyttämillä älynsopimuksilla tosiasiallisesti on. Työoikeudellisesta näkökulmasta oleellista on tällöin se, muodostaako yksittäinen älynsopimus esimerkiksi oman työsopimuksensa vai toimiiko älynsopimus ainoastaan koodimuotoisena työsopimuksen jatkeena. Kysymyksenasettelu liittyy tällöin erityisesti siihen, vaikuttaako älynsopimusten käyttö työntekijän ja työnantajan välisen suhteen arviointiin.

Koska lohkaketjupohjaisten älynsopimusten tarkastelu oikeuskirjallisuudessa on keskitynyt lähinnä älynsopimusten sopimus- ja prosessioikeudelliseen tarkasteluun, ei älynsopimusten käyttöä ole käsitelty lähestulkoon lainkaan esimerkiksi työoikeudellisesta näkökulmasta. Älynsopimukseen liittyvä huomio on suuntautunut myös vahvasti niiden nykyisten käyttökohteiden takia lähinnä internetissä käytävän kaupankäynnin kontekstiin. Koska verotilimallissa älynsopimusten käytön voitaisiin kuitenkin katsoa laajentuvan uusille oikeudenaloille, edellyttäisi älynsopimusten laajempi käyttö myös selvästi kattavampaa eri oikeudenalarajat ylittävää selvitystyötä. Esimerkiksi, mikäli lohkaketjuperusteisia älynsopimuksia käytettäisiin tulevaisuudessa myös työsopimusten sopimiseen, voi teknologian käyttöönotolla olla myös liittymäkohta työoikeudelliseen sääntelyyn.

Oikeuskirjallisuudessa työnantajan direktio-oikeuden on katsottu muodostavan tärkeimmän kriteerin työntekijän ja itsenäisen yrittäjän väliselle erottelulle. (Kairinen et al. 2017, I.3 alaotsikko Direktio-oikeus.) Direktiotunnusmerkin täyttymisen kannalta tärkeänä on pidetty muun muassa sitä, onko työnantajalle syntynyt direktio-oikeutta pelkästään osapuolten välisen sopimuksen perusteella. (Äimälä – Kärkkäinen 2017, s. 39). Tältä osin direktio-oikeutta onkin myös pidetty työsopimuksen tunnusmerkkinä, vaikka työsopimus itsessään voidaankin sopia varsin vapaamuotoisesti, kuten sähköisesti. (Kairinen et al. 2017, I.2 alaotsikko Direktiovallalle alisteisuus; Äimälä – Kärkkäinen 2017, s. 56.) Tämän vuoksi älysopimusten käytöllä työsopimusten perustana tai niiden osana voi olla mahdollisesti vaikutuksia myös työntekijän ja työnantajan välisen suhteen arviointiin. Mikäli esitetyn verotilimallin katsottaisiin esimerkiksi kasvattavan työntekijän itsenäistä asemaa, mallin riskinä voisi olla se, että työntekijän asema lähentyisi yrittäjyyttä ennakoimattomasti. Koska työntekijän suojelu muodostaa yhden työoikeuden kantavista peruseriaateista, tulee esitettyä mallia ja sen mahdollisia vaikutuksia tutkia laajemmin työoikeudellisesta näkökulmasta (Kairinen et al. 2017, I.1 alaotsikko Työntekijän suojeluperiaate).

## 10.4 Älysopimukselle rakentuva verotili vero-oikeuden näkökulmasta

Lohkoketjujen vero-oikeudellisessa tarkastelussa yhtenä oleellisena seikkana voidaan pitää oikeuskäytännössäkin tunnustettua yhteyttä kryptovaluuttojen ja virallisten valuuttojen välillä. Tulkinta perustuu EU-tuomioistuimen 22.5.2015 antamaan ratkaisuun, jonka mukaan kryptovaluuttojen kuten Bitcoinin vaihtaminen ei ole sinällään arvonlisäverotuksen alasta.<sup>23</sup> Yhteyden virallisiin valuuttoihin voidaan kuitenkin katsoa herättävän muita vero-oikeudellisia kysymyksiä. Vero-oikeudellisesti verotilin käyttö tarkoitus on oleellista muun muassa siltä kantilta, minkä tulolajien veronkanton järjestelmää käytetään. Oikeudellisesti tällä on merkitystä esimerkiksi työperusteisen ansiotuloveron tai vaihdantaperusteisen arvonlisäveron kantamiseen, sillä verotilin käyttökohde vaikuttaa suoraan siihen, missä tilanteissa järjestelmä tosiasiallisesti tulee käytetyksi. Tämä voi olla merkityksellistä myös esimerkiksi siltä kannalta, että älysopimusten käyttöön on katsottu liittyvän mahdollista joustamattomuutta, mikä voi vaikuttaa niiden sovellettavuuteen esimerkiksi joidenkin transaktiotyyppien kohdalla (Ks. esim. Sklaroff 2017). Laajemmin ajateltuna verotiliä tulisi tarkastella myös osana vero-

---

23 Ks. Euroopan unionin tuomioistuimen 22.5.2015 antama ratkaisu Skatteverket v David Hedqvist, tapaus C-264/14, saatavilla <http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?text=bitcoin&docid=170305&pageIndex=0&doclang=EN&mode=req&dir&occ=first&part=1&cid=775272%23ctx1#ctx1> (haettu 18.3.2019).



tuksen toimittamisen yleisiä periaatteita, minkä vuoksi järjestelmän vaikutuksia suhteessa esimerkiksi verotuksen tasapuolisuuteen ja sekä verovelvollisen että verohallinnon selvittämisvelvollisuuteen tulee selvittää (Ks. Kuopus 1988). Oikeuskirjallisuudessa hallintoautomaation vero-oikeudellisia vaikutuksia onkin tutkittu erityisesti verotusmenettelyn oikeusturvan näkökulmasta, mistä varhaisimpana tutkimuksena voidaan pitää Jorma Kuopuksen väitöskirjaa vuodelta 1988 (Ks. Kuopus 1988). Oikeusturvaan liittyviin kysymyksiin palataan jäljempänä.

## 10.5 Älysovimusten hyödyntäminen tietohallinnon ja tietosuojan kannalta

Julkishallinnon liitännäisyyden vuoksi älysovimuksia hyödyntävät eri palveluntarjoajien alustat eivät välttämättä myöskään vähentäisi viranomaisen eli tässä tapauksessa verottajan vastuuta järjestelmien toiminnasta. Esimerkiksi hallintosovellusten käyttöä arvonlisäveromenettelyssä tutkineen Sari Hakapään mukaan viranomaistehtävien hoidon ja käytettävien tietojärjestelmien ongelmien osalta viranomainen ei voi välttää vastuutaan järjestelmien kehitystä tai toimintojaan ulkoistamalla. Viimekädessä viranomainen itse vastaa aina tietojärjestelmiensä käytännön toiminnasta ( Hakapää 2009, s. 7).

Julkisiin tehtäviin liittyessä älysovimuksia hyödyntävät järjestelmät ja verottajan tietojärjestelmien rajapinnat olisivat alisteisia myös viranomaisten tietohallintoa koskevalle sääntelylle, mikä tulee omalta osaltaan ottaa huomioon järjestelmiä kehitettäessä. Tällä hetkellä julkisen hallinnon tiedonhallintaa ollaan uudistamassa käsittelyssä olevalla tiedonhallintalailla.<sup>24</sup> Tällöin lisäselvitystä tarvitaan etenkin sen selvittämiseksi, kuinka lohkoteknologiaa voidaan soveltaa viranomaisia koskevaan tietohallinnon sääntelyn mukaisesti noudattaen samalla myös EU:n yleisen tietosuoja-asetuksen asettamia edellytyksiä. Sääntelykehikon kattava selvitys tulisi hoitaa siten, että sääntelyn asettamat edellytykset voidaan ottaa huomioon jo järjestelmäarkkitehtuuria suunniteltaessa (Oikeudellisten reunaehtojen merkityksestä ks. lisää esim. Riikka Koutu 2018, s. 863-864).

---

24 Ks. HE 284/2018 vp, Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi julkisen hallinnon tiedonhallinnasta sekä eräiksi siihen liittyviksi laeiksi.

## 10.6 Tehokkaiden oikeussuojakeinojen välttämättömyys

Kuten edellä mainittiin, teknistyvää valtionhallintoa ja verotusmenettelyä on oikeuskirjallisuudessa tutkittu jo varhaisessa vaiheessa nimenomaan kansalaisen oikeusturvan näkökulmasta (Ks. Kuopus 1988). Samaa näkökulmaa on korostettu myös tuoreemmassa oikeustieteellisessä arvioinnissa kuten tämän selvityksen kanssa samaan tutkimuskonsortioon kuuluneessa *'Algoritmi päätöksentekijänä? Tekoälyn hyödyntämisen mahdollisuudet ja haasteet kansallisessa sääntely-ympäristössä'* -hankkeessa. (Koulu et al. 2018).

Tutkimushankkeen loppuraportissa päädyttiin oikeusinformatiikan tutkimuskirjallisuuden tuloksia seuraten suosittelemaan, että viranomaistoiminnan hallintoautomaation painopisteen tulisi olla ensisijaisesti sääntöpohjaiseen toimintalogiikkaan perustuvissa järjestelmissä. Hallintoautomaatiota voidaan hankkeen ja yleisten oikeusinformatiikan tutkimustulosten perusteella soveltaa parhaiten sellaisiin päätöstyyppeihin, jotka sisältävät vähän harkinnanvaraisuutta. Edellä mainitussa loppuraportissa rutiiniluonteisten päätöslajien katsottiin myös soveltuvan paremmin automatisoitaviksi etenkin läpinäkyvyyden ja oikeudellisen ennakoitavuuden vuoksi. Toisaalta raportissa sääntöpohjaisen ja tekoälyperusteisen automaation periaatteellisen eron katsottiin liudentuvan käytännössä, mikä taas korostaa kontekstisidonnaisen ja tapauskohtaisen arvioinnin merkitystä (Koulu et al. 2018, s. 71-73).

Koska lohkoketjuihin perustuvat älysovimukset ovat toimintalogiikaltaan juurikin sääntöpohjaisia ohjelmia, ei niiden käyttöön viranomaistoiminnassa liity välttämättä yhtä merkittäviä ongelmia kuin esimerkiksi joidenkin tekoälyjärjestelmien kohdalla. Toisaalta järjestelmän tekninen toteutustapa ei sinällään vaikuta järjestelmän oikeudelliseen arviointiin, minkä vuoksi myös älysovimuksiin perustuvien järjestelmien kohdalla tulee kiinnittää erityistä huomiota asiakkaan oikeussuojaan ja riittäviin oikeusturvamekanismeihin.<sup>25</sup> Edellä mainitun tutkimushankkeen löydöksiä ei voida myöskään soveltaa suoraan lohkoketjuihin, joiden osalta oikeustila on edellä mainitun mukaisesti vielä toistaiseksi varsin epäselvä. Epäselvän oikeustilan voidaan myös katsoa uhkaavan nimenomaisesti tutkimushankkeen lopputuloksissa korostettua ennakoitavuutta ja läpinäkyvyyttä, mikä vaikuttaa suoraan yksilön oikeusturvaan.

Esitetyn verotilimallin lopullisen toteutuksen kannalta on oleellista, onko kysymys varsinaisesta julkisesta päätöksenteosta vai pikemminkin vain julkishallinnon teknisestä

---

<sup>25</sup> Verotusta koskien mainitut kysymykset nousivat esille esimerkiksi apulaisoikeusasiamies Maija Sakslinin Verohallinnolle kohdistuvassa selvityspyynnössä liittyen automatisoituun verotusmenettelyyn. Ks. 10.9.2018 päivätty ratkaisu EOAK/3379/2018.

työvälineestä. Mikäli järjestelmään liittyisi myös päätöksentekoa, tulisi järjestelmän käytön osalta huolehtia esimerkiksi siitä, että asiakas saa häntä koskevissa päätöksissä riittävän seikkaperäiset perustelut. Vaikka lohkokeitjuja varten ei edellä mainitun mukaisesti ole laadittu erityistä lainsäädäntöä, voidaan oleellisena huomiona pitää sitä, että soveltamisalakohtainen sääntely koskee teknologianeutraliteetin perusteella kokonaisuudessaan myös älysovimuspohjaista verotilijärjestelmää. Järjestelmää kehitettäessä olisikin tärkeää kartoittaa perusteellisesti se, millainen rooli järjestelmällä olisi osana julkishallintoa.

## 10.7 Sääntelyn näkökulmasta yleisesti

Edellä esitettyjä seikkoja ei voida pitää tyhjentyvänä listana aihetta koskevista oikeudellisista kysymyksistä, vaan kyseessä on pikemminkin alustava olemassaolevaan tutkimukseen perustuva tyypittely. Lohkoketjuteknologiaan liittyvän oikeustilan epäselvyyden voidaan katsoa edellyttävän lisää tutkimustietoa, jotta teknologiaa voitaisiin hyödyntää vastuullisesti. Edellä esitettyihin näkökulmiin tulee ottaa kantaa laaja-alaisessa lainvalmistelutyössä, mikäli verotiliiä päädytään kehittämään tulevaisuudessa.

Perinteisellä hallintoautomaatiolla on ollut vahva liitännäisyys erityisesti oikeusinformatiikan tutkimukseen, minkä voidaan katsoa edistäneen harkittua automaation kehittämistä osaksi viranomaistoimintaa (Ks. esim Saarenpää 2005; Voutilainen 2009). Lohkoketjujen ja älysovimusten osalta tällaista laaja-alaista oikeustieteellistä tutkimusta tai perusteellista vaikutusarviota sääntelyn kannalta on kuitenkin toistaiseksi vasta kovin vähän. Julkishallinnolla ei myöskään ole kovin pitkää kokemusta lohkokeitjujen tai älysovimusten käytöstä osana hallintotoimintaa ja kyseinen teknologia poikkeaa perustoiminnoiltaan huomattavasti aikaisemmin käytetyistä tietojärjestelmistä. Tätä voidaan pitää merkityksellisenä juuri sen vuoksi, että lohkokeitjujen haastavuus sääntelyn kannalta liittyy etenkin sen teknologisiin erityispiirteisiin kuten hajautettuun arkkitehtuuriin ja autonomiseen toimintaan ( De Filippi – Wright 2018, s. 206). Koska toisaalta monet lohkokeitjujen sääntelyhaasteista liittyvät nimenomaisesti avoimiin lohkokeitjuverkkoihin, voisi keskusjohtoinen suljettu verkko omalta osaltaan poissulkea joitakin mainittuja ongelmia. Oikeudellisten kysymysten ratkaiseminen edellyttää kuitenkin lopulta vielä lisätutkimusta.

## Liite 1: Bitcoin-pohjaiset metadata-alustat

Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
<b>Bitcoin</b>	Kryptovaluutta, jonka voidaan katsoa aloittaneen lohkoketjujen esiinmarssin. Bitcoinia käytetään pääalustana mm. ankkruoiduissa ketjuissa ja siveuketjualustoissa. Käyttää työntodistusta (Proof of Work) konsensusmekanismia.	avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="https://bitcoin.org/">https://bitcoin.org/</a>
<b>Chromaway</b>	Asettien hallinta ja siirrot. "colored coin" implementaatio, jossa reaali maailman asioita voidaan kytkeä lohkoketjuun.	osin avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="http://chromaway.com">http://chromaway.com</a>
<b>Coinprism *)</b>	Osakkeet, valuutat, älykkäät omistukset Coinprism-alustan toiminta on loppunut maaliskuussa 2018.	avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="https://www.coinprism.com">https://www.coinprism.com</a>
<b>CoinSpark</b>	Asettien siirrot	osin avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="http://coinspark.org">http://coinspark.org</a>
<b>Colored Coins</b>	Älykkäät omistukset, kupongit, assetit, etc.	avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="http://coloredcoins.org">http://coloredcoins.org</a>
<b>Lykke</b>	Kauppapaikka eri (krypto)valuutoille ja rahoitusinstrumenteille, ColoredCoin perustainen	avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="https://www.lykke.com">https://www.lykke.com</a>
<b>Omni Layer</b>	Kauppapaikka eri (krypto)valuutoille ja rahoitusinstrumenteille	avoin	Mastercoin	kyllä	kyllä	<a href="http://www.omnilayer.org">http://www.omnilayer.org</a>
<b>Stratis Platform</b>	Rahoitusala ja muut toimialat (lohkoketjupalveluna)	Bitcoin perustainen	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="https://stratisplatform.com">https://stratisplatform.com</a>

## Liite 2: Lohkoketjupalustat finanssisektorille

Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	
<b>Bitshares</b>	Rahoitusala. Käyttää delegoitua Proof of Stake -konsensusmekanismia.	avoin	BTS	kyllä	kyllä	<a href="https://bitshares.org">https://bitshares.org</a>
<b>Cardano</b>	Rahoitusala, älysopimukset. Käyttää Ouroboros Proof of Stake -konsensusmekanismia.	avoin	ADA	kyllä	kyllä	<a href="https://www.cardano.org/">https://www.cardano.org/</a>
<b>Counterparty</b>	Rahoitusala. Rakennettu Bitcoin-alustan päälle ja tukee älysopimuksia.	avoin	XCP	kyllä	kyllä	<a href="https://counterparty.io">https://counterparty.io</a>
<b>HyperLedger</b>	Aiemmin rahoitusala, nykyisin yleiskäyttöinen. Sateenvarjo usealle eri projektille, joita kohdellaan osassa lähteistä erillisinä alustoina. Älysopimukset ja vaihdettavat konsensusmekanismit.	avoin		kyllä	kyllä	<a href="https://www.hyperledger.org">https://www.hyperledger.org</a>
<b>Interledger</b>	Rahoitusala, lohkoketjupalustojen välinen maksujen siirto-protokolla	avoin	-	kyllä	kyllä	<a href="https://interledger.org">https://interledger.org</a>
<b>Mastercard Blockchain</b>	Rahoitusala, luvanvarainen alusta. Älysopimukset mukana. Partnereille.	osin avoin			rajat -tu	<a href="https://developer.mastercard.com/product/mastercard-blockchain">https://developer.mastercard.com/product/mastercard-blockchain</a>
<b>Nxt</b>	Rahoitusala ja kryptovaluutta. Käyttää Proof of Stake konsensusmekanismia.	avoin	NXT	kyllä	kyllä	<a href="https://nxtplatform.org/">https://nxtplatform.org/</a>
<b>Ripple</b>	Rahoitusala. Maksujen välitys pankkien ja rahoitusalan toimijoiden välillä. Käyttää Ripple konsensusalgoritmia.	osin avoin	XRP	kyllä	kyllä	<a href="https://ripple.com">https://ripple.com</a>
<b>Rubix</b>	Rahoitusalan alusta, jonka on kehittänyt Deloitte. Ethereum yhteensopiva. Älysopimukset mukana. Konsensusmekanismeina Proof of Authority ja Proof of Stake.	avoin			kyllä	<a href="https://rublix.io/">https://rublix.io/</a>
<b>Stellar</b>	Rahoitusala. Maksujen välitys pankkien ja rahoitusalan toimijoiden välillä. Käyttää Stellar konsensus protokollaa, joka perustuu Federated Byzantine Agreement-protokollaan.	avoin	Lumen	kyllä	kyllä	<a href="https://www.stellar.org">https://www.stellar.org</a>

### Liite 3: Älysovimusalustat

Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
<b>Codium</b>	Ripplen kehittämä älysovimusalusta, jossa voidaan käyttää perinteisiä ohjelmointikieliä älysovimusten koodaamiseen.	avoin	XPR	kyllä	kyllä	<a href="https://www.codius.org">https://www.codius.org</a>
<b>Credits</b>	Älysovimusalusta. Käyttää federoitua Credits Decision Consensus algoritmia. Joka perustuu delegoituun Proof of Stake malliin tai mBFT:hen.	avoin	Credits (CS)	kyllä	kyllä	<a href="https://credits.com/">https://credits.com/</a>
<b>DFINITY</b>	Hajautettu pilviympäristö, jossa voidaan ajaa älysovimuksia. Yhteensopiva Ethereum:in kanssa. Beta versio käynnistynyt 2018. Käyttää muokattua Proof of Stake konsensus algoritmia.	avoin	DFN		kyllä	<a href="https://dfinity.org/">https://dfinity.org/</a>
<b>Enigma (MIT)</b>	Ethereum perustainen älysovimusalusta.	osin avoin	*	*	*	<a href="http://www.enigma.co">http://www.enigma.co</a>
<b>EOS</b>	Älysovimusalusta teollisuuden käyttöön. Käyttää delegoitua Proof of Stake konsensusmekanismia.	avoin	EOS	kyllä	kyllä	<a href="https://eos.io/">https://eos.io/</a>
<b>Ethereum</b>	älysovimukset eri toimialoille	avoin	Ether	kyllä	kyllä	<a href="https://www.ethereum.org">https://www.ethereum.org</a>
<b>Ether-party</b>	älysovimus alusta palveluna	suljettu palvelu, mutta toteutus perustuu Ethereumiin	*	*	*	<a href="http://etherparty.io">http://etherparty.io</a>
<b>Monax (ent. Eris)</b>	Älysovimus sovellukset finanssialalle.	suljettu		kyllä	kyllä	<a href="https://monax.io">https://monax.io</a>
<b>QTUM</b>	Bitcoinin ja ethereumien toiminnallisuudet yhdistävä tuore alusta. Perustuu muokattuun Bitcoin infrastruktuuriin ja Ethereum Virtual Machinen kanssa yhteensopivaan älysovimusalustaan. Käyttää Proof of Stake konsensusmekanismia.	avoin	avoin	kyllä		<a href="https://qtum.org/">https://qtum.org/</a>

Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
<b>Rootstock (RSK)</b>	Rahoitusala ja älyso- pimukset. Kytkeytyy Bitcoi- niin sivuketjuna. Konsen- susprotokollana on muo- kattu Proof of Work, ni- meltään DECOR+.	avoin	Rootcoin	kyllä	kyllä	<a href="http://www.rsk.co">http://www.rsk.co</a>
<b>Symbiont</b>	Luvanvarainen älyso- pimuslusta, rahoitus- alalle. Älykkäät arvopa- perit. Käyttää BTF kon- sensusmekanismia.	osittain avoin			kyllä	<a href="https://symbiont.io/">https://symbiont.io/</a>
<b>Tezos</b>	kryptovaluutta-älyso- pimuslusta, johon voi- daan rakentaa instans- seja muista lohkoket- jualustoista. Käyttää Proof of Stake konsen- susprotokollaa.	avoin	tezos (XTC)	kyllä	kyllä	<a href="https://tezos.com/">https://tezos.com/</a>
<b>Ubiq</b>	Ethereumiin perustuva älyso- pimuslusta yritys- sovelluksiin. Käytetyt konsensusmekanis- mit: "Flux Difficulty Algo- rithm" ja "Exponentially Subjective Scoring".	avoin	UBQ*	*	*	<a href="https://ubiqsmart.com/">https://ubiqsmart.com/</a>
<b>Waves Platform</b>	Älyso- pimuslusta joukko- rahoitukseen ja digitaa- listen tokenien luomi- seen. Käyttää Proof of Stake konsensusal- goritmia.	avoin	waves	kyllä	kyllä	<a href="https://wavesplatform.com">https://wavesplatform.com</a>

\* kts. Ethereum

## Liite 4: Konsortio- ja yrityskohtaiset alustat

Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
<b>BlockStack</b>	Hajautettujen sovellusten teko.	avoin	-	kyllä	kyllä	<a href="https://blockstack.org">https://blockstack.org</a>
<b>Blocko / Coinstack</b>	Korealainen yksityinen lohkoketjualusta. Yhteistyössä Samsungin kanssa, jonka kanssa yhdessä kehitetty Samsungin Nexledger.				kyllä	<a href="https://www.blocko.io/">https://www.blocko.io/</a>
<b>Chain Core</b>	Alusta rahoitusalan käyttöön. Rahoitusinstrumenttien siirto luvanvaraisessa lohkoketjussa. Käyttää Chain protokollaa, jossa konsensusmekanismi voidaan ohjelmoida lohko kohtaisesti käyttäen eri mekanismeja.	avoin	-		kyllä	<a href="https://chain.com">https://chain.com</a>
<b>Corda</b>	Yrityskäyttöön ja rahoitus alalle tarkoitettu alusta, jossa vaihdettavat konsensusmekanismit.	avoin	-	-	kyllä	<a href="https://www.corda.net/">https://www.corda.net/</a>
<b>HydraChain</b>	Ethereum laajennus yksityisiä tai konsortio-toteutuksia varten. Alusta tarjoaa mahdollisuuden kirjoittaa älysovimuksia Python-kielellä. Alustan ominaisuuksia voidaan muokata melko vapaasti.	avoin	Ether	kyllä	kyllä	<a href="https://github.com/HydraChain">https://github.com/HydraChain</a>
<b>NEM</b>	Java-pohjainen alusta, jossa älysovimukset voidaan myös kirjoittaa Javalla.	avoin	XEM	kyllä	kyllä	<a href="https://nem.io/">https://nem.io/</a>
<b>NEO</b>	Älysovimusalusta, jossa komponentteina myös digitaalinen identiteetti ja digitaaliset assetit.	avoin	NEO	kyllä	kyllä	<a href="https://neo.org/">https://neo.org/</a>
<b>Neblio</b>	Älysovimusalusta, joka käyttää konsensus-mekanismina Proof of Stake mekanismia.	avoin	NEBL	kyllä	kyllä	<a href="https://nebli.io/">https://nebli.io/</a>
<b>MultiChain</b>	Bitcoinin perustuva useaa valuuttaa tukeva rahoitus alalle kehitetty alusta. Käyttää	avoin	-	kyllä	kyllä	<a href="http://www.multichain.com">http://www.multichain.com</a>



Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
	konsensusmekanismina muokattua PBFT-mekanismia.					
<b>OpenChain</b>	Älysovimusalusta, jolla voidaan luoda ja hallinnoida digitaalisia asetteja. Alusta käyttää jaettua konsensusmekanismia.	avoin	-	kyllä	kyllä	<a href="https://www.openchain.org">https://www.openchain.org</a>
<b>Quorum</b>	Ethereumiin perustuva älysovimusyrityskäyttöalusta. Konsensusmekanismi on vaihdettavissa ja alusta tarjoaa ominaisuuden "settlement finality", joka takaa transaktion lopullisuuden.	avoin	mts. Ethereum	kyllä	kyllä	<a href="https://www.jpmorgan.com/global/Quorum">https://www.jpmorgan.com/global/Quorum</a>

**Liite 5: Sivuketjut ja ankkuroidut alustat**

Alusta	Käyttöalue	Lähdekoodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
<b>Blockstream</b>	Sivuketjualusta finanssialueen applikaatioille				kyllä	<a href="https://blockstream.com/">https://blockstream.com/</a>
<b>Chainpoint</b>	Ankkuroituketju protokolla	avoin	-	-	-	<a href="http://www.chainpoint.org">http://www.chainpoint.org</a>
<b>Exonum</b>	Bitcoinin ankkuroituketju	avoin	-			<a href="https://exonum.com/">https://exonum.com/</a>
<b>Factom</b>	Ankkuroituketjualusta	avoin	Bitcoin	kyllä	kyllä	<a href="https://www.factom.com">https://www.factom.com</a>
<b>Lisk</b>	Sivuketjualusta, kytkeytyy älysovimusalustoihin, kuten Ethereumiin		LSK			<a href="https://lisk.io/">https://lisk.io/</a>
<b>Rootstock</b>	Kts. edellinen älysovimustaulukko					
<b>SideChain Elements</b>	Sivuketjuapplikaatiot	avoin	Bitcoin	kyllä	ei	<a href="https://elementsproject.org">https://elementsproject.org</a>

## Liite 6: Monikäyttöiset alustat

Alusta	Käyttöalue	Lähde-koodi	Natiivi rahake	Lompakko-tuki	API -tuki	Verkkosivu
<b>Amazon AWS:n Kaleido Blockchain Business Cloud</b>	Perustuu Ethreumiin. Protokolla ja konsensusmekanismit voidaan vaihtaa, vaihtoehtoina protokollille Geth ja Quorum ja konsensusmekanismeille RAFT, POA ja IBFT.	avoin (beta)	*	kyllä	kyllä	<a href="https://kaleido.io/">https://kaleido.io/</a>  <a href="https://aws.amazon.com/blogs/apn/launch-enterprise-ready-blockchain-networks-on-aws-in-minutes-with-kaleido-a-consensus-solution/">https://aws.amazon.com/blogs/apn/launch-enterprise-ready-blockchain-networks-on-aws-in-minutes-with-kaleido-a-consensus-solution/</a>
<b>BigChainDB</b>	Hajautettu Big data tietokanta, johon on lisätty lohkoketjuominaisuuksia. Tarkoitettu isojen datamäärien tallentamiseen. Käyttää konsensusmekanismia BFT:tä.	avoin	-	kyllä	kyllä	<a href="https://www.bigchaindb.com/">https://www.bigchaindb.com/</a>
<b>Googlen pilvipalvelujen DLT</b>	Perustuu Hyperledger Fabric:iin ja Ethreumiin	**	**	**	**	<a href="https://www.blog.google/products/google-cloud/building-a-better-cloud-with-our-partners-at-next-18/">https://www.blog.google/products/google-cloud/building-a-better-cloud-with-our-partners-at-next-18/</a>
<b>Hewlett Packard Enterprise (HPE) BaaS-palvelu</b>	HPE Mission Critical DLT perustuu R3 konsortion Corda-alustaan.	*****	*****	*****	*****	<a href="https://www.hpe.com/us/en/solutions/blockchain.html">https://www.hpe.com/us/en/solutions/blockchain.html</a>
<b>IBM Blockchain on Bluemix</b>	Hyperledger palveluna Bluemix alustalla	***	***	***	***	<a href="http://www.ibm.com/Blockchain">http://www.ibm.com/Blockchain</a>
<b>IOTA</b>	DLT-alusta tukemaan erityisesti esineiden Internet:iä (IoT) ja kustannusvapaita mikrotransaktioita. IOTA:n hajautettu tietokanta suunnattuun jaksottomaan verkkoon nimeltään Tangle. Toeteutus on beta-vaiheessa oleva referenssitoteutus.	avoin	miota	kyllä	kyllä	<a href="https://www.iota.org/">https://www.iota.org/</a>
<b>Microsoft Azure BAAS (Blockchain as a Service)</b>	Toimii MS Azuren pilvipalvelussa ja tukee useita tunnettuja alustoja, kuten Hyperledger Fabric:ia, R3 onssortion Cordaa, Quorum:ia, ChainCorea ja Blockapps:ia.	Azure on kaupallinen alusta, mutta lohkoketjuratkaisut sen päällä ovat avoimia	ks. tuetut alustat	ks. tuetut alustat	ks. tuetut alustat	<a href="https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/Blockchain">https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/Blockchain</a>  <a href="https://azure.microsoft.com/en-us/blog/accelerating-the-adoption-of-enterprise-blockchain/">https://azure.microsoft.com/en-us/blog/accelerating-the-adoption-of-enterprise-blockchain/</a>

<b>Samsung Nexledger</b>	Samsung ja Blocko ovat kehittäneet yhdessä älysopimusalan. Molemmat ovat Hyperledgerin jäseniä.					<a href="https://www.samsungsds.com/global/en/solutions/off/nexledger/Nexledger.html">https://www.samsungsds.com/global/en/solutions/off/nexledger/Nexledger.html</a>
<b>Oracle Blockchain Cloud Service</b>	Perustuu Hyperledger Fabric:iin	***	***	***	***	<a href="https://www.oracle.com/cloud/blockchain/">https://www.oracle.com/cloud/blockchain/</a>
<b>SAP Cloud Platform Blockchain Service</b>	SAP Cloud Platform Blockchain service on rakennettu palveluksi SAP Leonardo alustaan. SAP HANA Blockchain tukee Hyperledger Fabricia ja Multichain:ia.	****	****	****	****	<a href="https://news.sap.com/2017/05/sapphire-now-sap-cloud-platform-blockchain-service/">https://news.sap.com/2017/05/sapphire-now-sap-cloud-platform-blockchain-service/</a>

\* kts. Ethereum

\*\* ks. Hyperledger ja Ethereum

\*\*\* ks. Hyperledger

\*\*\*\* ks. Hyperledger ja Multichain

\*\*\*\*\* ks. Corda

## Lähteet

Ailisto, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Collin, J., Halen, M., Juhanko, J., Jurvansuu, M., Koivisto, R., Kortelainen, H. & Simons, M., (2015). Suomi – Teollisen Internetin Pii-laakso, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja Nro 4/2015.

Ailisto, H., Collin, J., Juhanko, J., Mäntylä, M, Ruutu, S., Seppälä, T., Halén, M., Hiekanen, K., Hyytinen, K., Kiuru, E., Korhonen, H., Kääriäinen, J., Parviainen, P., Talvite, J., (2016). Onko Suomi jäämässä alustatalouden junasta? Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, Nro 19/2016

Bajpai, P., (2017). Chinese Internet Giant Tencent Forms Its Own Blockchain Platform, TrustSQL. Investopedia. <https://www.investopedia.com/news/tencent-forms-blockchain-platform-trustsql/> (haettu 25.3.2019).

BlockGeeks. What Is Ethereum Gas: Step-By-Step Guide. BlockGeeks blog. <https://blockgeeks.com/guides/ethereum-gas-step-by-step-guide> (haettu 6.3.2019).

Bharadwaj, A., (2000). A Resource-Based Perspective on Information Technology Capability and Firm Performance: An Empirical Investigation. MIS Quarterly, Vol. 24, No. 1, s. 169-196

Burg, J., Murphy, C. & Pétraud, JP., (2018). Blockchain for International Development: Using a Learning Agenda to Address Knowledge Gaps. MERL Tech. <http://merltech.org/blockchain-for-international-development-using-a-learning-agenda-to-address-knowledge-gaps/> (haettu 26.3.2019).

Chander, A., (2015). How Law Made Silicon Valley. Emory Law Journal, Vol. 63, Issue 3.

Digiconomist, (2018). Bitcoin Energy Consumption Index. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> (haettu 9.4.2019).

De Filippi, P. & Loveluck, B., (2016). The Invisible Politics of Bitcoin: Governance Crisis of a Decentralised Infrastructure. Internet Policy Review, Vol 5, Issue 3, pp. 1–28.

De Filippi, P., & Wright, A., (2018). Blockchain and The Law: The Rule of Code. Harvard University Press.

Geist, A., Beguelin, A., Dongarra, J., Jiang, W., Manchek, R. & Sunderam, V., (1994). PVM: Parallel Virtual Machine. A Users' Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing. Cambridge, MA. MIT Press.

Hakapää, S., (2009). Hallintosovellusten hyödyntäminen arvonlisämenettelyssä. Edilex.

Houben, R. & Snyers, A., (2018). Cryptocurrencies and blockchain: Legal context and implications for financial crime, money laundering and tax evasion. TAX3 committee study 2018. <http://www.europarl.europa.eu/cms-data/150761/TAX3%20Study%20on%20cryptocurrencies%20and%20blockchain.pdf> (haettu 12.3.2019).

Hukkinen, T., Mattila, J., Smolander, K., Seppälä, T. & Gooden, T., (2019). Skimping on Gas – Reducing Ethereum Transaction Costs in a Blockchain Electricity Market Application. Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 6875–6884. <https://hdl.handle.net/10125/60123>.

Ives, B. & Learmonth, G., (1984). The information system as a competitive weapon. Communications ACM. 27, 1984, pp. 1193–1201.

Kairinen, M., Koskinen, S., Nieminen, K., Ullakonoja, V. & Valkonen, M., (2017). Työoikeus, juridiikka. Alma Talent Fokus 2017. Päivittyvä verkkoaineisto. (haettu 8.4.2019)

Kirk, J., (2018). Report: Cryptocurrency Exchanges Lost \$882 Million to Hackers. Bank Info Security. <https://www.bankinfosecurity.com/cryptocurrency-exchanges-lost-882-million-to-hackers-a-11624> (haettu 27.3.2019).

Kotiranta, A., Seppälä, T., Tahvanainen, A., Hemminki, M., Mattila, J., Sadeoja, S. & Tähtinen, T. (2017). "Roadmap for Renewal: A Shared Platform in the Food Industry". ETLA Reports No 74. <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-74.pdf> (haettu 9.4.2019).

Koulu, R., (2016). Blockchains and Online Dispute Resolution: Smart Contracts as an Alternative to Enforcement Blockchains and Online Dispute Resolution. Scripted Vol. 13, Issue 1, s. 40–69.

Koulu, R., (2018). Digitalisaatio ja algoritmit – oikeustiede hukassa? Lakimies 7–8/2018, s. 840–867.

Koulu, R., Mäihäniemi, B., Kyyrönen, V., Hakkarainen, J., Markkanen, K., (2019). Algoritmi päätöksentekijänä? Tekoälyn hyödyntämisen mahdollisuudet ja haasteet kansallisessa sääntely-ympäristössä. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja.

Koulu, R. & Markkanen, K., (2019 tulossa). Conflict Management for Regulation-Averse Blockchains?, teoksessa, Ballardini, R., Pitkänen, O. & Kuoppamäki, P. (toim.), *Regulating Industrial Internet through IPR, Data Protection and Competition Law*. Wolters Kluwer.

Kuopus J., (1988). Hallinnon lainalaisuus ja automatisoitu verohallinto: oikeustieteellinen tutkimus kansalaisen oikeusturvasta teknistyvässä valtionhallinnossa. Lakimiesliiton kustannus.

Lauslahti, K., Mattila, J. & Seppälä, T., (2016). Älykäs sopimus – Miten lohkoketju muuttaa sopimuskäytäntöjä?. ETLA Raportit No 57. <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-57.pdf> (haettu 9.4.2019).

Lauslahti, K., Mattila, J., Hukkinen, T., Seppälä, T., (2018). *Expanding the Platform: Smart Contracts as Boundary Resources*. Springer Translational Systems Sciences Series, Volume Titled as Collaborative Value Co-Creation in the Platform Economy.

Li, X., Li, Y., Liu, T., Qie, J. & Wang, F., (2009). The Method and Tool of Cost Analysis for Cloud Computing. 2009 IEEE International Conference on Cloud Computing.

Mattila, J. (2016a). The Blockchain Phenomenon. The Disruptive Potential of Distributed Consensus Architectures. <https://www.etla.fi/en/publications/the-blockchain-phenomenon-the-disruptive-potential-of-distributed-consensus-architectures/> (haettu 9.4.2019).

Mattila, J., (2016b). Teknologia uuden liiketoiminnan ajurina. Esitelmä Aalto Professional Development -seminaarissa. 18.4.2016. Aalto PRO.

Mattila, J., (2019). Älykäs sopimus ei korvaa sopimusta – vaan sopimista. Esitelmä RoboJuristi-seminaarissa. 7.2.2019. AlmaTalent.

Mattila, J., & Seppälä, T., (2018). *Distributed Governance in Multi-Sided Platforms – A Conceptual Framework from Case: Bitcoin*. Springer Translational Systems Sciences series, Volume titled as Collaborative Value Co-creation in the Platform Economy.

Mattila, J., Seppälä, T., and Lähteenmäki, I., (2018). Kuka Vie Ja Ketä? – Pankit Alus-tatalouden Ristitulessa. Etila Raportit No. 84. <https://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Raportit-Reports-84.pdf> (haettu 8.4.2019).

McConaghy, T., (2016). The DCS Triangle. BigchainDB blog. <https://blog.bigchaindb.com/the-dcs-triangle-5ce0e9e0f1dc> (haettu 8.4.2019).

McRoberts, M., (2013). Software Licensing in the Cloud Age Solving the Impact of Cloud Computing on Software Licensing Models. The International Journal of Soft Computing and Software Engineering, Vol 3, Issue 3, pp. 395–402.

Monegro, J., (2016). Fat Protocols. Union Square Ventures blog. <https://www.usv.com/blog/fat-protocols> (haettu 8.4.2019)

Nakamoto, S., (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (haettu 9.4.2019).

Nyman, L., & Lindman, J., (2013). Code Forking, Governance, and Sustainability in Open Source Software. Technology Innovation Management Review 3, pp. 7–12. <http://timreview.ca/article/644> (haettu 9.4.2019).

O’Leary, R., (2018). A Multi-Million Dollar Bet Ethereum’s Proof-of-Stake Isn’t Coming Soon. CoinDesk. <https://www.coindesk.com/a-multi-million-dollar-bet-ethereums-proof-of-stake-isnt-coming-soon> (haettu 13.3.2019).

O’Leary, R., (2019). Ethereum Developers Give ‘Tentative’ Greenlight to ASIC-Block-ing Code. CoinDesk. <https://www.coindesk.com/ethereum-developers-give-tentative-greenlight-to-asic-blocking-code> (haettu 13.3.2019).

Orlowski, A., (2018). Blockchain study finds 0.00% success rate and vendors don’t call back when asked for evidence. The Register. [https://www.theregister.co.uk/2018/11/30/blockchain\\_study\\_finds\\_0\\_per\\_cent\\_success\\_rate/](https://www.theregister.co.uk/2018/11/30/blockchain_study_finds_0_per_cent_success_rate/) (haettu 26.3.2019).

PBOF, (2017). PBoC Digital Currency Director Calls for Centralized State Cryptocur-rency, <https://www.coindesk.com/pboc-digital-currency-director-calls-centralized-state-cryptocurrency> (haettu 8.4.2019)

Poon, J., Dryja, T., (2016). The Bitcoin Lightning Network: Scalable Off-Chain Instant Payments. <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf> (haettu 8.4.2019)



- Poon, J. & Buterin, V., (2017). Plasma: Scalable Autonomous Smart Contracts. <https://plasma.io/plasma.pdf> (haettu 9.4.2019).
- Porter, M. & Heppelmann, J., (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review. November Issue 2014. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition> (haettu 9.4.2019).
- Pozo, A., (2017). Ethereum App Architectures. <https://medium.com/@angellopozo/ethereum-app-architectures-4add3d2c613d> (haettu 9.4.2019).
- Raskin, M., (2017). The Law and Legality of Smart Contracts. Georgetown Law Technology Review, Vol 1, Issue 2, s. 305-341.
- Ryan, D., (2017). Calculating Costs in Ethereum Contracts. Hacker Noon. <https://hackernoon.com/ether-purchase-power-df40a38c5a2f> (haettu 6.3.2019).
- Saarenpää, A., (2005). Oikeusinformatiikka. Teoksessa Risto Haavisto (toim.), Oikeusjärjestys 2000 - I osa, s. 1-82. Lapin yliopiston oikeustieteellisiä julkaisuja.
- Saito, K., Yamada, H., (2016). What's so Different about Blockchain? Blockchain is a Probabilistic State Machine. Proceedings of the 36th International Conference on Distributed Computing Systems. IEEE.
- Stamelos, I., Angelis, L., Morisio, M., , Sekellaris, E., & Bleris, G., (2003). Estimating the development cost of custom software. Information & Management, Vol. 40, pp. 729-741.
- Savelyev, A., (2017). Contract Law 2.0: «Smart» Contracts As the Beginning of the End of Classic Contract Law. Information & Communications Technology Law, Vol 26, Issue 2, pp. 116-134.
- Skatteverket v David Hedqvist, tapaus C-264/14. <http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?text=bitcoin&docid=170305&pageIn-dex=0&doclang=EN&mode=req&dir&occ=first&part=1&cid=775272%23ctx1#ctx1> (haettu 18.3.2019).
- Sklaroff, J., (2017). Smart Contracts and the Cost of Inflexibility. University of Pennsylvania Law Review, Vol. 166, pp. 263-303.

Suberg, W., (2017). Tencent Joins China Blockchain Race With New TrustSQL Platform. CoinTelegraph. <https://cointelegraph.com/news/tencent-joins-china-blockchain-race-with-new-trustsql-platform> (Haettu 25.3.2019).

Sverdlik, Y., (2016). Here's How Much Energy All US Data Centers Consume. Data Center Knowledge. <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2016/06/27/heres-how-much-energy-all-us-data-centers-consume> (haettu 12.3.2019).

Szabo, N. (1994). Smart contracts. <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html> (haettu 8.4.2019).

Szabo, N. (1997). The idea of smart contracts. <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/idea.html> (haettu 8.4.2019).

Tähtinen, T., (2018). How to Turn IIoT Software Solutions into Platforms: A Case Study of Three Existing Solutions, <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/33695> (haettu 8.4.2019)

Verohallinnon ohjeistus A28/200/2015 [https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/49044/verotuksen\\_toimittamisen\\_periaatteit3/](https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/49044/verotuksen_toimittamisen_periaatteit3/) (haettu 15.3.2019).

Visram, T., (2018). Malta Wants To Become Blockchain Island. CNN Money. <https://money.cnn.com/2018/07/18/technology/startups/malta-blockchain/index.html> (haettu 25.3.2019).

Voutilainen, T., (2009). ICT-oikeus sähköisessä hallinnossa: ICT-oikeudelliset periaatteet ja sähköinen hallintomenettely. Edita Publishing, 2009.

Walch, A., (2019, tulossa). Deconstructing 'Decentralization': Exploring the Core Claim of Crypto Systems. Crypto Assets: Legal and Monetary Perspectives. Oxford University Press. <https://ssrn.com/abstract=3326244> (haettu 26.3.2019).

Weill, P., (1992). The Relationship Between Investment in Information Technology and Firm Performance: A Study of the Valve Manufacturing Sector, Inf. Syst. Res. 3, pp. 307–333.

Wood, G., (2014) Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. Ethereum project yellow paper 151, pp. 1-32.

Woodward, D.G. (1997). Life cycle costing—Theory, information acquisition and application, *Int. J. Proj. Manag.* 15, pp. 335–344.

Wright, A. & De Filippi, P., (2015). Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia, [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2580664](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2580664) (haettu 8.4.2019)

Yeoh, P., (2017). Regulatory issues in blockchain technology. *Journal of Financial Regulation and Compliance*, Vol 25, Issue 2, pp. 196-208.

Äimälä, M. & Kärkkäinen, M., (2017). *Työsopimuslaki*. Alma Talent.

VALTIONEUVOSTON  
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

[tietokayttoon.fi](http://tietokayttoon.fi)

ISSN 2342-6799 (pdf)  
ISBN 978-952-287-733-8 (pdf)

