



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

LOHKOKETJUTEKNOLOGIA SÄHKÖKAUPASSA

Blockchain in Electricity Market

Juha Ojala

TIIVISTELMÄ

Juha Ojala

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Opinnäytetyön ohjaaja: Ville Tikka

Lohkoketjuteknologia sähkökaupassa

Uusiutuvan energian tuotanto lisääntyy jatkuvasti, koska sen tuottamiseen tarvittava teknologia kehittyy, ympäristöongelmia halutaan pienentää ja Pariisin ilmastosopimus edellyttää päästöjen vähentämistä. Näistä syistä kotitaloudet asentavat yhä enemmän aurinkopaneeleita ja tuulivoimaloita omille tonteille. Tällä hetkellä yksityisten henkilöiden ei kannata myydä itse tuotettua sähköä sähköyhtiölle, sillä myynnistä saatava korvaus on hyvin pieni. Ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla kryptovaluutta bitcoinin taustalla oleva lohkoketjuteknologia, ja sen tarjoama mahdollisuus peer-to-peer sähkökauppaan.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, miten lohkoketjuteknologiaa voitaisiin hyödyntää sähkökaupassa ja mitä hyötyä siitä olisi. Tutkimus toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Lohkoketjuteknologia on melko uusi ilmiö, joten aiheesta ei ole juurikaan kirjoitettu kirjoja. Tästä syystä tiedon haku keskittyy pääosin internetin hakupalveluihin ja sähköisiin teksteihin.

Lohkoketjuteknologia on erinomainen kaupankäyntialusta siksi, että sen avulla tapahtuvat transaktiot ovat nopeita, edullisia ja erittäin turvallisia. Merkittävänä etuna on myös se, että transaktion toteuttamiseen ei tarvita kolmatta osapuolta, kuten pankkia. Sähkökauppaan lohkoketjuteknologiaa voitaisiin soveltaa esimerkiksi muuttamalla sähköpörssin kaupankäynti toimimaan lohkoketjuteknologiaan perustuvalla alustalla. Tätäkin merkittävämpi sovelluskohde olisi peer-to-peer sähkökauppa, jolloin yksityiset sähköntuottajat voisivat myydä sähköä toisilleen ilman välikäsiä, mikä johtaisi siihen, että he saisivat suuremman korvauksen myymästään uusiutuvasta energiasta.

ABSTRACT

Juha Ojala

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Examiner: Ville Tikka

Blockchain in Electricity Market

Renewable energy production is constantly increasing as the technology is developing, environmental problems are growing and the Paris Agreement is forcing to reduce carbon dioxide emissions. For these reasons, more and more households are installing solar panels and wind turbines on their own property. Currently it is not profitable for the households to sell the electricity produced to the electricity company, as the compensation from the sale is very small. The solution to this problem could be the blockchain technology underlying cryptocurrency bitcoin and its potential for peer-to-peer electricity trading.

The purpose of this thesis is to find out how to use blockchain technology in electricity market and what advantage does it have. The research is carried out as a literature study. Blockchain technology is a new phenomenon, so there are hardly any books written about it. For this reason, the search of information focuses mainly on internet search and online texts.

Blockchain technology is an excellent trading platform because using it is fast, inexpensive and extremely safe. Another important advantage is the fact that a third party such as a bank is not needed to carry out the transactions made through blockchain. The blockchain technology could be used in electricity market for example by implementing the trading to be done on a blockchain based trading platform. An even more significant application would be peer-to-peer electricity trading, so that private electricity producers such as neighbors could sell electricity to each other without intermediaries, which would result in greater compensation for the renewable energy they have produced.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto.....	4
2.	Keskittetty ja hajautettu järjestelmä.....	6
3.	Lohkoketjuteknologia.....	8
3.1	Bitcoin-lohkoketjun rakenne ja tietoturva	8
3.2	Teknologian synty	10
3.3	Teknologian edut	10
3.4	Älykkäät sopimukset	11
4.	Esineiden internet	13
5.	Sähkökauppa.....	15
5.1	Älykäs sähköverkko	15
5.2	Yksityinen sähköntuotanto	16
6.	nykyiset sovellukset sähkökaupassa	17
6.1	LO3 Energy	17
6.2	Bankymoon.....	18
7.	Tulokset	19
7.1	Mahdollisia sovelluskohteita sähkökaupassa	19
	Lähteet	21

1. JOHDANTO

Uusiutuvaa energiaa tuotetaan ja siihen investoidaan vuosi vuodelta enemmän, kun fossiilisten polttoaineiden käyttöä rajoitetaan ympäristöongelmien vuoksi, sekä teknologia uusiutuvan energian tuottamiseksi ja varastoimiseksi kehittyy ja halpenee jatkuvasti. Myös Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaiset toimenpiteet päästöjen vähentämiseksi alkavat vuoden 2020 jälkeen ja sen mukaan päästöt ja hiilinielut on saatava tasapainoon viimeistään vuoden 2050 jälkeen. (Tekes 2017.) Näistä syistä onkin syytä uskoa, että uusiutuvan energian tuotannon kasvu tulee jatkumaan ja jopa nopeutumaan tulevaisuudessa.

Uusiutuvien sähköntuotantomuotojen yleistyessä ja teknologian halventuessa nykyinen pääosin keskitetty sähköverkko tulee muuttumaan entistä hajautetummaksi, kun perinteisesti kuluttajina toimineet kotitaloudet alkavat yhä enemmän tuottaa ja varastoida itse sähköä (Tekes 2017). Tulevaisuuden sähköverkko tulee luultavasti muodostumaan lukemattomista toistensa kanssa kommunikoivista solmukohtista, jotka voivat neuvotella toistensa kanssa esimerkiksi sähkön ostosta ja myynnistä. Tässä työssä tutkitaan millä tavoin lohkoketjuteknologiaa voitaisiin käyttää tämän tyyppiseen vuorovaikutukseen.

Lohkoketjuteknologia tunnetaan parhaiten kryptovaluutta bitcoinin taustalla olevana hajautettuna tietokantana, johon tallennetaan kaikki bitcoinin siirtotapahtumat. Lohkoketjuteknologia mahdollistaa valuutan siirtämisen, tai melkein minkä tahansa digitaalisen vuorovaikutuksen lähes reaaliaikaisesti ja erittäin turvallisesti käyttäjältä toiselle. Transaktio voidaan suorittaa täysin anonyymisti eikä osapuolten välistä luottamusta tarvita, sillä lohkoketjuteknologia perustuu erittäin tietoturvaliikkeeseen kryptografiseen varmennukseen (Nakamoto 2008). Lohkoketjuteknologialla tapahtuva vuorovaikutus tapahtuu kahden osapuolen välillä, eikä kolmatta toimijaa tarvita varmistamaan omistajuutta tai siirtotapahtumaa.

Alun perin bitcoinia varten rakennetussa lohkoketjuteknologiassa on huomattu potentiaalia myös muihin sovelluksiin. Suurin potentiaali nähdään tällä hetkellä finanssialalla, mutta muitakin mahdollisia sovelluskohteita on runsaasti esimerkiksi terveydenhuollossa, teollisuudessa ja teknologiassa (Schatsky, Muraskin 2015). Tässä tutkimuksessa keskitytään lohkoketjuteknologian soveltamiseen sähkökaupassa. Varsinaisia käytännön sovelluksia

sähkökauppaan ei vielä juurikaan ole, mutta erilaisia prototyyppejä on runsaasti, ja uusia mahdollisuuksia pohditaan jatkuvasti.

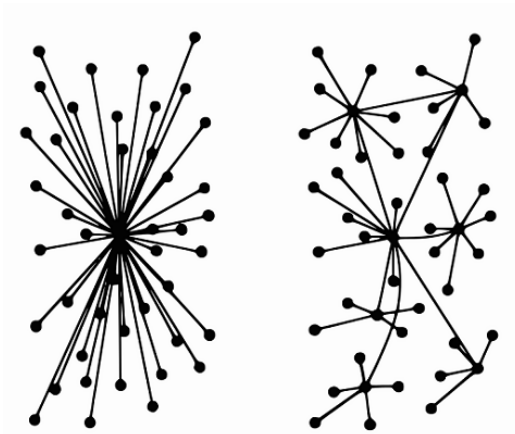
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mikä tekee lohkoketjuteknologiasta erinomaisen alustan kaupankäynnille ja miten sitä voitaisiin soveltaa nykyiseen sähkökauppajärjestelmään. Työssä kuvataan lohkoketjuteknologian periaatteet sekä nykyisen sähkökaupan keskeiset toimintamallit pääpiirteittäin. Lisäksi selvitetään, mitä hyötyä lohkoketjuteknologian soveltamisesta nykyiseen sähkökauppajärjestelmään olisi, ja minkälaisia konsepteja on jo olemassa.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Lohkoketjuteknologia on ilmiönä uusi, ja käytännön sovellukset sähkökauppaan ovat vasta suunnittelutasolla. Tästä johtuen aiheesta ei ole juurikaan kirjoitettu kirjoja, joten tiedonhaku keskittyy lähinnä internetin hakupalveluihin, kuten LUT Finnaan (2017) ja Google Scholariin (2017). Löydetyn aineiston perusteella pohditaan järkevintä käytännön ratkaisua aiheelle.

2. KESKITETTY JA HAJAUTETTU JÄRJESTELMÄ

Keskitettyssä järjestelmässä on vain yksi solmukohta, johon kaikki järjestelmän käyttäjät ovat suoraan yhteydessä. Solmukohdan voidaan ajatella olevan esimerkiksi tietopalvelin, pankki tai sähköntuotantolaitos. Kun koko järjestelmän toiminta riippuu vain yhdestä solmukohdasta, solmun rikkoutuessa koko järjestelmä kaatuu. Toisaalta jos yhteys solmukohdan ja käyttäjän välillä katkeaa, myös käyttäjän yhteys koko järjestelmään katkeaa. Keskitettyjä järjestelmiä ovat esimerkiksi nykyiset pankit, joiden kautta tehdään vaikkapa tilisiirto ihmiseltä toiselle. Myös nykyisten sähköverkkojen rakennetta voidaan pitää suurimmalta osin keskitettynä (Swell 2016).

Hajautetussa järjestelmässä solmukohtia on useampia. Solmukohdat ovat yhteydessä toisiinsa, ja käyttäjät ovat yhteydessä lähimpään solmukohtaan. Koska solmukohtia on useita, ei yhden solmukohdan rikkoutuminen kaada koko järjestelmää, vaan yhteyden menettävät vain kyseiseen solmukohtaan yhteydessä olevat käyttäjät. Esimerkiksi kaikki kryptovaluutta bitcoinilla suoritettavat transaktiot ovat tallennettu hajautettuna tietokantana lohkoketjuun, ja kuka tahansa halukas voi ottaa osaa tämän tietokannan ylläpitoon. Hajautetuista järjestelmistä vertaisverkko on kaikista hajautunein: siinä jokainen osapuoli toimii solmukohtana. Tulevaisuuden sähköverkko saattaa myös muistuttaa hajautettua järjestelmää yksityisen tuotannon lisääntyessä. Kuvassa 2.1 on havainnollistettu keskitetyn ja hajautetun järjestelmän rakennetta.



Kuva 2.1: Keskitetty (vasemmalla) ja hajautettu järjestelmä

Kuvassa 2.1 on esitetty keskitetyn ja hajautetun järjestelmän ero. Jos keskitetyssä järjestelmässä keskellä oleva solmukohta tuhoutuu, niin jokainen käyttäjä menettää yhteytensä. Hajautetussa järjestelmässä yhden solmukohdan tuhoutuessa yhteyden menettää vain osa käyttäjistä, jos he eivät pysty muodostamaan yhteyttä toiseen solmukohtaan.

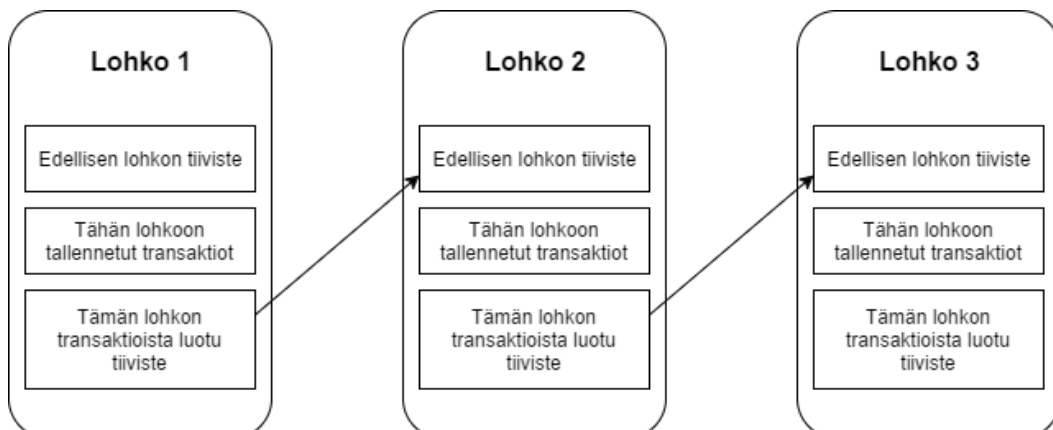
3. LOHKOKETJUTEKNOLOGIA

Lohkoketju on hajautettu tietokanta, johon voidaan tallentaa lähes mitä tahansa digitaalista tietoa niin, että sitä ei voida jälkeempään enää muokata. Nimensä mukaisesti lohkoketju muodostuu digitaalista dataa sisältävistä lohkoista, jotka on yhdistetty toisiinsa digitaaliseksi ketjuksi. Jokainen lohko sisältää ennalta määritetyn määrän tietoa. Esimerkiksi bitcoinin tapauksessa uusi lohko syntyy noin joka kymmenes minuutti, ja kaikki tänä aikana tapahtuneet transaktiot on tallennettu kyseiseen lohkoon.

Lohkoketjuteknologia kehitettiin alun perin digitaalisen valuutan siirtoa varten, mutta sen tarjoamat mahdollisuudet ovat alkaneet kiinnostaa myös muissa sovelluksissa. Lohkoketjuihin perustuviin start-up yrityksiin on viime vuosina sijoitettu hyvin suuria määriä rahaa: vuonna 2014 ja 2015 niihin sijoitettiin yli miljardi euroa pääomaa, ja investointien määrä on lähes tuplaantunut vuosittain (CoinDesk 2016).

3.1 Bitcoin-lohkoketjun rakenne ja tietoturva

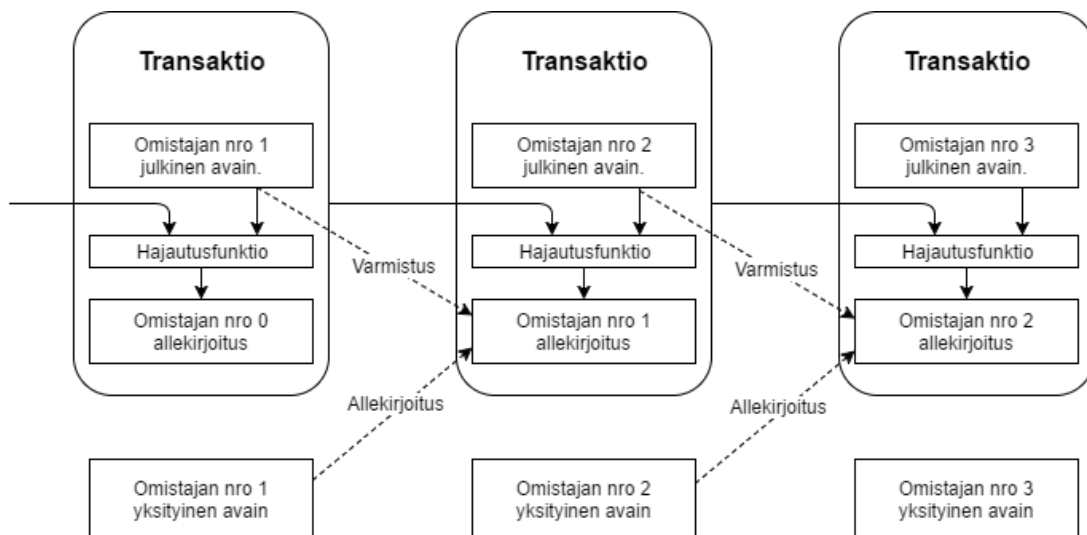
Lohkoketjun jokaiseen lohkoon tallennetut transaktiot muodostavat yhdessä kokonaisuuden, josta muodostetaan hajautusfunktion avulla yksilöllinen merkkijono, tiiviste. Tiiviste ei voi koskaan olla samanlainen kahdella loholla ja se muuttuu, jos lohkon transaktioita muutetaan. (Bitcoin Project 2017) Kuvassa 3.1 on havainnollistettu lohkoketjun rakennetta yksinkertaistetusti.



Kuva 3.1: Lohkoketjun rakenne

Kuvassa 3.1 on esitetty, miten lohkoketjun peräkkäiset lohkot on linkitetty toisiinsa. Jos jotain lohkoa muutetaan, myös sen hajautusfunktio muuttuu, jolloin yhteys seuraaviin lohkoihin katkeaa. Tästä johtuen yhdenkään lohkon tietoja ei ole mahdollista muuttaa jälkeenpäin muuttamatta myös kaikkia sen jälkeisiä lohkoja.

Kryptovaluutan siirto bitcoinin lohkoketjussa on varmennettu julkisen avaimen salauksella. Jokaisella bitcoin-lompakolla on oma yksityinen ja siitä generoitu julkinen avain. Transaktiot allekirjoitetaan yksityisellä avaimella ja ne osoitetaan toisen lompakon julkiselle avaimelle, jolloin transaktion bitcoinien omistajuus vaihtuu. Koska kaikki lohkoketjun transaktiot ovat vapaasti nähtävissä kaikille, voidaan myös jäljittää kunkin bitcoin-yksikön omistajuus tästä hetkestä aina sen syntyyn saakka. Bitcoin-lompakon arvo ei ole tallennettuna tietokantaan kuten esimerkiksi pankissa, vaan lompakon arvo lasketaan kyseisen lompakon julkiselle avaimelle tehtyjen transaktioiden summasta. (Bitcoin Project 2017.) Kuvassa 3.2 on esitetty, miten transaktiot linkitetään toisiinsa julkisen avaimen salauksella.



Kuva 3.2: Transaktioiden linkitys

Kuvasta 3.2 esitetään, miten julkista ja yksityistä avainta käytetään transaktioiden salaamiseen. Kuvasta nähdään myös, miten kryptovaluutan omistajuus voidaan jäljittää aina nykyisestä omistajasta valuuttayksikön syntyyn saakka. Julkiseen avaimen perustuva

salaus mahdollistaa sen, että lompakon omistajasta ei tarvitse kerätä mitään tietoja kuten tavallisten pankkitilien tapauksessa. Toisaalta jos lompakon omistaja hävittää yksityisen avaimensa, ei lompakon varoihin enää pääse käsiksi.

3.2 Teknologian synty

Jo vuodesta 1981 on yritetty ratkaista internetin tuomia ongelmia turvallisuuden ja yksityisyyteen liittyen. Täydellistä tietoturvaa ei kuitenkaan ole onnistuttu saavuttamaan, sillä tietoa on jouduttu luovuttamaan kolmansille osapuolille, joiden olemassaolo on ollut edellytys järjestelmän toiminnalle. (Tapscott & Tapscott 2015, 15.)

Valuutan siirto digitaalisesti on perustunut perinteisesti siihen, että siirto tehdään jonkin kolmannen osapuolen kautta. Kolmas osapuoli, useimmiten pankki, toimii transaktion varmistajana. Vaikkakin tämä malli toimii riittävän hyvin suurelle osalle käyttäjistä, asettaa kolmannen osapuolen käyttö valuutan siirrossa tiettyjä rajoituksia: se aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja vaarantaa asiakkaan yksityisyyden. (Nakamoto 2008) Näiden ongelmien ratkaisemiseksi Satoshi Nakamoto loi vuonna 2008 bitcoinin. Bitcoin on maailman ensimmäinen hajautettu kryptovaluutta, eli kryptografialla suojattu digitaalinen valuutta, jonka arvoa ei määrää mikään yksityinen taho, kuten pankki (Sagona-Stophel 2013). Bitcoinin toiminnan perustana on lohkoketjuteknologia, joka poistaa kolmannen osapuolen tarpeen ja tekee näin järjestelmästä edullisen ja luotettavan.

3.3 Teknologian edut

Lohkoketjuteknologia voi mullistaa tavan, jolla tallennamme tietoa. Lohkoketjuteknologian etuja ovat nopeus, alhaiset kustannukset, turvallisuus, virheiden vähäisyys ja tietokannan hajautuneisuus. Lohkoketjussa olevat tiedot eivät ole tallennettuna vain johonkin tiedostoon: tiedot ovat tallennettuna yksittäisinä palasina lohkoketjuun, josta ne voidaan tarvittaessa noutaa. Lohkoketju on hajautettu, eli se on tallennettu vapaaehtoisten käyttäjien tietokoneille, jolloin ei ole mitään yksittäistä palvelinta, jonka tuhoutuminen aiheuttaisi tietojen häviämisen. Kaikki lohkoketjun tapahtumat ovat julkisia eli kuka tahansa voi nähdä

kaikki lohkoketjun tapahtumat. Lisäksi lohkoketju on turvallinen: se käyttää erittäin turvallista julkiseen avaimeen perustuvaa salausta, eikä käyttäjien tarvitse luovuttaa henkilökohtaisia tietoja. (Tapscott & Tapscott 2015, 18.)

Lohkoketjuteknologia tuo huomattavia etuja esimerkiksi digitaalisen valuutan siirtoon, koska kolmatta osapuolta ei tarvita lohkoketjussa tapahtuvaan transaktioon. Valuutan siirto kolmannen osapuolen kautta aiheuttaa kuluja, minkä takia erittäin pienten transaktioiden teko ei ole kannattavaa. Kolmannen osapuolen käyttäminen vaarantaa myös asiakkaan yksityisyyden, sillä välikäsi joutuu keräämään tietoja henkilöllisyyden varmistamiseksi. Lisäksi esimerkiksi pankin kautta tehdyt transaktiot ovat peruutettavissa, jolloin internetkauppiat joutuvat keräämään asiakkaasta henkilökohtaisia tietoja vähentääkseen mahdollisuutta transaktion perumisen kautta tapahtuvaan petokseen. (Nakamoto 2008.)

Lohkoketjuteknologia nopeuttaa ja helpottaa valuutan siirtoa. Perinteinen kahden pankin välillä suoritettava tilisiirto voi viedä monta päivää, kun taas bitcoinien siirto tapahtuu lähes reaaliaikaisesti. Kaikilla maailman ihmisillä ei myöskään ole mahdollisuutta käyttää pankkipalveluita, kun taas bitcoinien vastaanottamiseen riittää vaikkapa älypuhelin ja internetyhteys. Bitcoin-lompakon luominen onnistuu nappia painamalla, minkä jälkeen voi vastaanottaa kryptovaluuttaa, kun taas pankkitilin perustaminen on paljon monimutkaisempaa.

3.4 Älykkäät sopimukset

Älykkäät sopimukset ovat tietokoneohjelmia, jotka turvaavat, varmistavat ja toteuttavat sopimuksia sovituille ehdoilla ihmisten ja organisaatioiden välillä. Lohkoketjuteknologian avulla osapuolet voivat tehdä sopimuksen, joka toteutuu automaattisesti sopimusehtojen täytyessä. Sopimuksen sisältönä voi olla esimerkiksi vedonlyönti kaverin kanssa siitä, kumpi joukkue voittaa jääkiekko-ottelun. Ottelun päättyttyä sopimus siirtää automaattisesti sopimusehtojen mukaisesti bitcoineja osapuolelta toiselle. (Tapscott & Tapscott 2015, 129-130.)

Lohkoketjuun ohjelmoitu automaattisesti toteutuva sopimus helpottaa ja nopeuttaa sekä sopimuksen tekemistä, että maksun hoitamista. Seuraavissa kappaleissa tuodaan esille,

miten älykkäitä sopimuksia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kahden tietokoneen väliseen kaupankäyntiin.

4. ESINEIDEN INTERNET

Esineiden internet koostuu elektronisista laitteista, jotka ovat yhteydessä internetiin, ja jotka voivat kommunikoida toistensa, palveluiden ja ihmisten kanssa maailmanlaajuisesti (Mukhopadhyay 2014, 1). Viime aikoina esineiden internetistä on tullut ajankohtainen puheenaihe, kun yhä useampi elektroninen laite on yhteydessä internetiin. Lähitulevaisuudessa internetiin kytketyt elektroniikkalaitteet voisivat kommunikoida ja jakaa tietoa toistensa kanssa tai vaikkapa myydä ja ostaa sähköä omatoimisesti. Tällainen miljardeista laitteista koostuva kaiken internet tarvitsee alustan, johon tallentaa kerätty data ja jolla laitteet voivat käydä itsenäistä kauppaa turvallisesti, nopeasti ja edullisesti.

Monissa laitteissa keittiön koneenkoneista autoihin on jo jonkinlaisia tietokoneita sisäänrakennettuna, mutta nämä tietokoneet on suunniteltu suorittamaan vain yksinkertaisimpia laitekohtaisia tehtäviä. Nykyään alkaa kuitenkin olemaan helpompaa ja halvempaa sisällyttää laitteeseen yleiskäyttöinen tietokone. Tulevaisuudessa voidaankin odottaa, että kaikissa laitteissa ovenkahvoista energiansäästölamppuihin on yhtä paljon laskentatehoa kuin nykypäivän älypuhelimissa, ja että nämä laitteet voivat kommunikoida internetin kautta toistensa kanssa. (IBM 2015, 1.)

Keskitetty järjestelmä ei sovi miljardeista laitteista koostuvan esineiden internetin hallinnointiin tai laitteiden väliseen vuorovaikutukseen. Suurin haaste maailmanlaajuisen esineiden internetin rakentamisessa on rakentaa siitä maailmanlaajuiseksi skaalautuva hajautettu järjestelmä, joka mahdollistaa digitaalisen vuorovaikutuksen, kuten valuutan siirron, yksityisesti, turvallisesti ja niin, ettei luottamusta toiseen osapuoleen tarvita. Esineiden internet koostuu miljardeista laitteista, joista kaikki eivät ole välttämättä luotettavia. Laitteille tarvitaan jonkinlainen alusta, millä saavutetaan varmistus ja yhteinen konsensus laitteiden väliselle vuorovaikutukselle. Näihin ongelmiin voi tarjota ratkaisun lohkoketjuteknologia. Se, että esineet pystyvät itsenäisesti käymään kauppaa toistensa kanssa, avaa täysin uusia mahdollisuuksia: jokainen laite voi harjoittaa omaa liiketoimintaansa myymällä esimerkiksi laskentatehoaan silloin kun esine ei sitä itse tarvitse. (IBM 2015, 10-12).

Lohkoketjuteknologia, älykkäät sopimukset ja esineiden internet mahdollistavat esimerkiksi sen, että laitteet voisivat myydä ja ostaa sähköä itsenäisesti. Tämä avaa täysin uusia mahdollisuuksia esimerkiksi naapuruston välillä käytävälle sähkökaupalle.

5. SÄHKÖKAUPPA

Tavalliselle kuluttajalle sähkökauppa muodostuu sähkösopimuksesta sähköyhtiön kanssa. Tässä kappaleessa käsitellään lyhyesti sähköpörssin toimintaa ja nykyisen järjestelmän tarjoamia mahdollisuuksia yksityisen sähköntuotannon myymiseen.

Sähköntuottajat myyvät sähköä pörssissä, jossa sähkön tukkuhinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan mukaan. Pörssisähkön ostajina toimivat suuret teollisuusasiakkaat ja sähkön jälleenmyyjät. (Fingrid 2013.) Suurten teollisuusasiakkaiden kannattaa ostaa sähkö suoraan pörssistä suuren sähkönkulutuksen takia, jolloin myös säästöt ovat huomattavat. Tavalliselle kuluttajalle on yleensä järkevämpää ostaa sähkö jälleenmyyjältä, sillä se on helpompaa, ja pienillä kulutusmäärillä säästö ei ole niin merkittävä.

Suurin osa kaupoista tehdään spot-markkinoilla, jossa käydään kauppaa seuraavan päivän sähköstä. Sähkön hinta muuttuu tunneittain sähkönkulutuksen ja -tuotannon vaihdellessa, joten sähkön tukkuhinta on eri jokaiselle vuorokauden tunnille. Spot-markkinoilta teollisuusasiakkaat ja jälleenmyyjät ostavat sähköä sen verran, kun sitä arvellaan seuraavana päivänä käytettävän. Jos sähköä syystä tai toisesta käytetään enemmän kuin on ennustettu, voi sitä ostaa myös päivänsisäisiltä markkinoilta, jolloin hinta on usein spot-markkinahintaa kalliimpi. (Energiateollisuus & Fingrid 2013.)

5.1 Älykäs sähköverkko

Suurin osa maailman sähköverkosta on rakennettu kauan aikaa sitten ja se toimii yhä lähes samalla tavoin kuin 100 vuotta sitten: sähkö kulkee yksisuuntaisesti voimalaitokselta kuluttajalle. Tämä rakenne ei kuitenkaan sovi hajautetulle uusiutuvan energian tuotannolle, ja sen takia on alettu rakentaa älykkäitä sähköverkkoja. (Shawkat Ali 2013, 24.)

Älykäs sähköverkko hyödyntää digitaalitekniikkaa parantaakseen sähköverkon luotettavuutta, turvallisuutta ja tehokkuutta (Shawkat Ali 2013, 25). Älykäs sähköverkko mahdollistaa esimerkiksi entistä hajautetumman energiantuotannon, jolloin myös kotitaloudet voivat tuottaa itse sähköä ja myydä sitä sähköyhtiölle. Älykkääseen sähköverkkoon liittyy myös etäluettavat sähkömittarit, jotka helpottavat sähkön käytön

seuraamista. Suomessa etäluettava sähkömittari on ollut asennettuna jokaiseen sähkökäyttöpisteeseen vuodesta 2014 lähtien. (Caruna n.d.)

5.2 Yksityinen sähköntuotanto

Älykäs sähköverkko ja sen etäluettavat sähkömittarit mahdollistavat yksityisesti tuotetun sähkön myymisen, jolloin esimerkiksi kotitaloudet voivat myydä sähkön ylituotantoa omalle sähköyhtiölle. Nykyinen järjestelmä yksityisen tuotannon myymiselle ei kuitenkaan ole kovin tehokas: tuottaja myy sähkön tukkuhintaan yhtiölle, joka edelleen myy sen jälleenmyyntihintaan kuluttajille (Tapscott & Tapscott 2015, 180; Fortum 2016). Prosessi ei ole kannattava: vaikka sähkön kuluttaja asuisi tuottajan naapurissa, täytyy kuluttajan silti ostaa sähkö sähköyhtiöltä jälleenmyyntihintaan. Tämän kaltainen keskitetty järjestelmä ei ole kannattava, jos sähkön yksityinen tuotanto lisääntyy merkittävästi. Tällä hetkellä korvaus verkkoon syötetystä sähköstä on niin pieni, ettei se juuri kannusta yksityiseen sähköntuotantoon.

Paikallisesti tuotettu sähkö on huomattavasti kannattavampaa, koska perinteisen mallin mukaan sähköä joudutaan siirtämään pitkiä matkoja, jolloin osa siitä kuluu siirtohäviöihin (Tapscott & Tapscott 2015).

6. NYKYISET SOVELLUKSET SÄHKÖKAUPASSA

Bitcoin ja sen myötä myös lohkoketjuteknologia luotiin vuonna 2008, joten teknologia on melko uutta. Kiinnostus teknologiaa kohtaan alkoi kuitenkin kasvaa vasta vuonna 2012, jolloin lohkoketjuun perustuviin yrityksiin sijoitettiin 2,13 miljardia dollaria (CoinDesk 2016). Tästä lähtien investoinnit ovat kasvaneet räjähdysmäisesti, ja vuonna 2015 lohkoketjuun perustuviin yrityksiin sijoitettiin jo 690,18 miljardia dollaria (CoinDes, 2016).

Lohkoketjuteknologialla on epäilemättä mahdollisia sovelluksia myös sähkökauppaan, mutta tässä vaiheessa on vielä epäselvää, miten teknologiaa kannattaisi hyödyntää. Teknologia ei ole vielä käytössä sähkökaupassa suurella mittakaavalla. Vaikka joitakin käytännön kokeiluja on tehty, on silti teorioita mahdollisista käyttökohteista paljon enemmän kuin varsinaisia käytännön sovelluksia. Tässä kappaleessa esitellään muutama konsepti, jota on jo kokeiltu käytännössä.

6.1 LO3 Energy

Pääosa yhdysvaltalaisista kotitalouksista ostavat sähkön sähköyhtiöltä ja voivat myydä yksityistä ylituotantoa sähköyhtiölle samaan tapaan kuin suomessakin. Yhtiö nimeltä LO3 Energy on kehittämässä mikroverkkoa Brooklynin New Yorkin osavaltion sponsoroimana. Mikroverkko on paikallinen verkko, joka on normaalisti yhdistetty koko sähköverkkoon, mutta voi toimia myös itsenäisesti. Mikroverkon tarkoitus on lisätä verkon joustavuutta esimerkiksi myrskyissä, jos yhteys muuhun sähköverkkoon katkeaa. Joustavuuden lisäksi tavoitteena on alentaa siirtohäviöitä, kun sähkö tuotetaan paikallisesti eikä siirtomatkat ole pitkiä. LO3 Energyn mikroverkko on tarkoitus saada toimimaan täysin itsenäisesti lohkoketjuteknologian ja muun muassa älykkäiden sopimusten avulla. (Tapscott & Tapscott 2015, 179; LO3 Energy 2017.)

Mikroverkko ja sen paikallisesti tuotettu sähkö tarjoavat uusiutuvaa energiaa kestävästi ja tehokkaasti samalla mahdollistaen suuremman korvauksen kotitalouksien tuottamasta uusiutuvasta energiasta. Mikroverkossa tapahtuva sähkökauppa on tarkoitus toteuttaa lohkoketjuteknologiaan pohjautuvalla alustalla. Sähkökauppa perustuisi reaaliaikaiseen

pörssiin, jossa mikroverkon jäsenet kävisivät kauppaa. Tarkalleen ottaen ihmisten ei tarvitsisi käydä kauppaa, vaan kaupan hoitaisivat tietokoneet, jotka määrittelevät osto- ja myyntitarjoukset esimerkiksi ajankohdan ja muiden asetettujen parametrien mukaan. Yksi tällainen parametri voisi olla esimerkiksi se, kuinka suuri välimatka sähkön tuottajaan on: ostaja voisi päättää onko valmis maksamaan sähköstä hieman enemmän, jos se tulee lähempänä sijaitsevalta naapurilta. (Tapscott & Tapscott 2015, 180.)

6.2 Bankymoon

Useilla afrikkalaisilla kouluilla ei ole varaa ostaa opiskelutarvikkeita, sillä budjetti menee veteen ja sähkөөn. Yritys nimeltä Bankymoon on asentanut eräisiin kouluihin sähkömittarin, joka on yhdistetty bitcoin-lompakkoon. Yrityksen tavoitteena on helpottaa lahjoituksia ja hyväntekeväisyyttä sekä antaa vakuus siitä, että lahjoitus todellakin menee sinne, minne on tarkoitus. Kuka tahansa mistä tahansa voi lähettää koulun sähkömittariin bitcoineja, minkä jälkeen sähköä voi käyttää niin kauan, kuin bitcoin-lompakossa on valuuttaa jäljellä. (Bankymoon 2017.) Teknologiaa voitaisiin hyvin soveltaa myös kehitysmaiden kotitalouksiin tai vaikkapa opiskelija-asuntoon, jonka sähkölaskua vanhemmat voisivat sponsoroida.

7. TULOKSET

Lohkoketjuteknologia voi oikein käytettynä tarjota hyvän alustan ja kokonaan uusia mahdollisuuksia sähkökaupalle. Laajamittaisia käytännön sovelluksia ei ole vielä olemassa, sillä teknologia on uutta, eikä vielä tiedetä miten teknologiaa saataisiin parhaiten hyödynnettyä. Monet yritykset tutkivat, miten lohkaketjuteknologiaa voitaisiin soveltaa sähkökauppaan, ja erilaisia konsepteja ja prototyyppejä on kehitteillä, mutta yleisessä käytössä olevia sovelluksia ei vielä ole.

Lohkoketjutietokannan hajautuneisuus sekä teknologian läpinäkyvyys, nopeus ja turvallisuus niin, ettei kolmatta osapuolta tarvita ovat hyödyllisimmät ominaisuudet sovellettaessa teknologiaa sähkökauppaan. Myös lohkaketjun mahdollistama automaatiikka, kuten itsestään toteutuvat älykkäät sopimukset ovat tärkeässä asemassa.

7.1 Mahdollisia sovelluskohteita sähkökaupassa

Sähköpörssissä käydään kauppaa myös johdannaisilla, jotka ovat kaupankäyntitavaltaan verrattavissa arvopapereihin, kuten osakkeisiin. Koska suurin potentiaali lohkaketjuteknologialle nähdään tällä hetkellä finanssialalla esimerkiksi arvopaperipörssissä, löytynee teknologialle käyttöä myös sähköpörssissä.

Tällä hetkellä Suomessa yksityiset sähköntuottajat voivat myydä sähköä sähköyhtiölle, mutta myydystä sähköstä saatava korvaus on pieni verrattuna sähkön jälleenmyyntihintaan. Lohkoketjuteknologia voisi tarjota alustan peer-to-peer sähkökaupalle, jolloin sähkön tuottaja saisi suuremman korvauksen tuottamastaan sähköstä.

Peer-to-peer sähkökauppaa voitaisiin käydä ensisijaisesti naapurusten välillä mikroverkoissa. Tämä vähentää sähkönsiirtohäviöitä, lisää verkon joustavuutta ja tarjoaa osittain omavaraisen verkon, jos yhteys kantaverkkoon katkeaa. Mikroverkossa yksityisesti tuotettu sähkö voitaisiin myydä ensisijaisesti muille mikroverkon käyttäjille esimerkiksi bitcoineja vastaan. Bitcoinit voisi halutessaan vaihtaa viralliseksi valuutaksi tai niillä voisi ostaa myöhemmin sähköä omaan käyttöön. Yhtiö nimeltä LO3 Energy on parhaillaan kehittämässä lohkaketjuteknologiaan perustuvaa kaupankäyntialustaa mikroverkoille.

Mikroverkon käyttäjien sähkömittarit voisivat olla älykkäitä laitteita jotka ovat osa esineiden internetiä. Laitteet seuraisivat pörssisähkön hintaa ja asettaisivat yksityiselle tuotannolle hinnan sen mukaan. Vastaavasti ne osaisivat esimerkiksi ladata sähköauton akkua silloin, kun sähkön hinta on matalalla eikä sen myyminen ole kannattavaa. Akku voisi myydä sähköä takaisin verkkoon pörssihinnan ollessa korkea kulutuspiikkien aikaan näin parantaen sähköntuottajan katetta ja samalla vähentämällä säätösähkön tarvetta.

Teknologia voi erityisesti helpottaa sähkön ostamista ja kuluttamista maissa, joissa pankkipalvelut ovat vaikeasti saatavilla. Yritys nimeltä Bankymoon on lanseerannut Etelä-Afrikkaan sähkökäyttöpaikkoihin asennettavan älykkään sähkömittarin ja bitcoin-lompakon yhdistelmän, joka helpottaa sähkön ostoa ja lahjoitusten tekemistä.

LÄHTEET

Bitcoin Project 2017. Bitcoin Developer Guide. [verkkodokumentti]. [viitattu 30.3.2017]. Saatavissa <https://bitcoin.org/en/developer-guide#block-chain>

Caruna n.d. Kohti älykästä sähköverkkoa. [verkkosivu]. [viitattu: 6.12.2016]. Saatavissa <https://www.caruna.fi/tietoa-ja-ohjeita/sahkoverkko/alykas-sahkoverkko>

CoinDesk 2016. Blockchain venture capital. [verkkosivu]. [viitattu 2.12.2016]. Saatavissa <http://www.coindesk.com/bitcoin-venture-capital/>

Energiateollisuus, Fingrid 2013. Hyvä tietää sähkömarkkinoista. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.12.2016]. Saatavissa http://energia.fi/files/280/hyva_tietaa_sahkomarkkinoista_2013.pdf

Fingrid 2013. Kuinka sähkömarkkinat toimivat Suomessa ja mikä on Fingridin rooli? [video]. [viitattu 5.12.2016]. Saatavissa https://www.youtube.com/watch?v=po1G-vP7_Ew

Fortum 2016. Lähisähkösopimuksen ehdot. [verkkodokumentti]. [viitattu 8.12.2016]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/kampanjat/sahko/ehdot/Pages/lahisahkosopimuksen-ehdot.aspx>

Google Scholar 2017. Tiedonhakupalvelu. [verkkosivu]. [viitattu 30.3.2017]. Saatavissa <https://scholar.google.fi/>

IBM 2015. Device democracy: Saving the future of the Internet of Things. [verkkodokumentti]. [viitattu: 6.12.2016]. Saatavissa ibm.biz/devicedemocracy

LUT Finna 2017. Sähköisen aineiston hakupalvelu. [verkkosivu]. [viitattu 30.3.2017]. Saatavissa <https://wilma.finna.fi/lut/>

Mukhopadhyay, S. C. et al. 2014. Internet of Things: Challenges and Opportunities. Springer International Publishing. [e-kirja].

Nakamoto, S. 2008. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [verkkodokumentti] [viitattu 29.11.2016]. Saatavissa <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

Sagona-Stophel, K. 2013 Bitcoin 101 white paper. Thomson Reuters. [verkkodokumentti] [viitattu 29.11.2016]. Saatavissa http://www.trssl.com/wp-content/uploads/2013/05/White_Paper_Bitcoin_101.pdf

Schatsky, D., Muraskin, C. 2015. Beyond bitcoin. [verkkodokumentti]. [viitattu: 5.11.2016]. Saatavissa <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/signals-for-strategists/trends-blockchain-bitcoin-security-transparency.html>

Shawkat Ali, A. B. M. et al. 2013. Smart Grids: Opportunities, Developments, and Trends. Springer-Verlag London. [e-kirja].

Swell 2016. Why a Distributed Energy Grid is a Better Energy Grid. [verkkodokumentti]. [viitattu 30.3.2017]. Saatavissa: <https://www.swellenergy.com/blog/2016/05/20/why-a-distributed-energy-grid-is-a-better-energy-grid>

Tapscott, A., Tapscott, D. 2015. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. Penguin USA. [e-kirja, 409 sivua].

Tekes 2017. Tulevaisuuden energia 2030...2050. [verkkodokumentti]. [viitattu 30.3.2017]. Saatavissa http://tem.fi/documents/1410877/2772829/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf/4f1c0ec0-58fc-4c1c-9297-7f90ac01615b