



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences



Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

Sähkökärrpä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

# LOHKOKETJUT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖN MYYNNISSÄ

Meryem Capkan

Sähkökärrpä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Sisällysluettelo

Johdanto	3
Lohkoketjuteknologia lyhyesti	4
Sovelluskohteet	5
Älykkäät sopimukset	5
Alkuperäistakuut	6
Sähköverkon tasapainottaminen	6
Pilotoinnit	8
IBM ja Equigy	8
Elinkeinoelämän tutkimuslaitos	8
Quartierstrom (Sveitsi, Walenstadt st. Gallen)	8
Brooklyn microgrid	8
Humanitaarisen avun käyttökohteet	9
Yhteenveto	10
Lähteet	11
Pilotoinnit	11

Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Johdanto

Energiamurros ja lohkoketjuteknologian hyödyntäminen kulkevat käsi kädessä; muutoksen aika on nyt, ja siksi lohkoketjujakin tulisi alkaa soveltaa nyt.

Energiasektori on murroksessa ja käsityksemme energian tuotannosta, jakelusta sekä kulutuksesta muuttuu nopeaan tahtiin. Olemme jo siirtyneet keskitetystä tuotannosta enemmän hajautettuun malliin uusiutuvien energialähteiden yleistyessä. Perinteisesti energiantuotanto on riippunut suurista voimaloista, joiden tuotanto on säännöllistä ja melko joustamatonta. Samalla kun pyritään vähentämään fossiilisia energialähteitä, lisätään tilalle fossiilivapaata, eli uusiutuvaa, energiaa. Uusiutuvat energialähteet, kuten tuuli- ja aurinkovoima, tuottavat eri määrän energiaa vuorokauden ja vuoden eri aikoina. Hajautettu energiantuotanto vaatii paljon joustoa sekä tuotannossa, jakelussa, että sähkösopimusten luomisessa, jotta tuotanto ja kulutus voidaan pitää tasapainossa.

Energiamurros ja lohkoketjuteknologian hyödyntäminen kulkevat käsi kädessä; muutoksen aika on nyt, ja siksi lohkoketjujakin pitäisi alkaa soveltaa nyt. Onnistunut lohkoketjujen käyttö myös vauhdittaisi energiamurrosta entisestään. Lohkoketjuja on vaikea hyödyntää tilanteeseen, jossa on jo vakiintuneet käytännöt, ja siksi lohkoketjuja olisi hyvä alkaa hyödyntää mahdollisimman pian.

Tässä raportissa tarkastellaan lohkoketjuteknologian sovellettavuutta dynaamisessa resurssienhallinnassa energiayhtiöiden tarpeisiin pohjautuen. Tavoitteena on selvittää lohkoketjuihin perustuvia työkaluja sekä teknologioita, ja arvioida niiden soveltuvuutta energiayhtiöiden tarpeisiin. Energiayhtiöiltä vaaditaan nykyistä joustavampaa sopimus- ja asiakashallintaa. Lisäksi lohkoketjuihin ja tekoälyyn perustuvia tekniikoita voidaan käyttää dynaamiseen tuotannon ja kulutuksen hallintaan. Tuotannon ja kulutuksen tulee olla tasapainossa, ja tekoälypohjaiset lähestymistavat saattavat mahdollistaa tämän tasapainon säilyttämisen nykyistä joustavammin.

Lohkoketjuteknologiaa tullaan tarkastelemaan erityisesti seuraavista näkökulmista: joustavat sopimukset, asiakkuuksien hallinta, sekä tuotannon ja kulutuksen tasapainottaminen.

Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Lohkoketjuteknologia lyhyesti

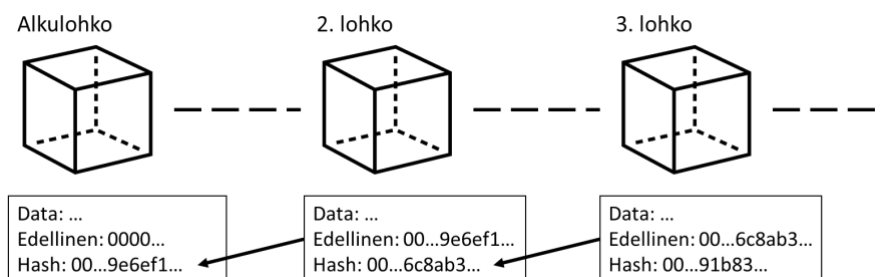
Lohkoketjuteknologia mahdollistaa tiedon tallentamisen ja siirtämisen läpinäkyvällä, mutta turvallisella tavalla, ilman keskitettyä hallintaa.

Lohkoketjujen turvallisuus perustuu tallennetun informaation hajauttamiseen. Tietoa jaetaan suurille määrille eri palvelimia, joita kutsutaan nodeiksi (eng. node). Hajautetussa tietokannassa ei ole yhtä ratkaisevaa kohtaa, jonka hakkerioimalla toimintaa voisi häiritä. Lohkoketjuihin pohjautuvat esimerkiksi kryptovaluutat, joista tunnetuin lienee Bitcoin. Varmuuden ja turvallisuuden lisäksi hajautetun tietokannan hyötyjä ovat kustannussäästöt sekä tiedonvaihdon nopeus.

Käytännössä lohkoketjut ovat siis lohkottua dataa, joka on yhdistetty toisiinsa ketjuksi. Lohkot voivat sisältää mitä tahansa informaatiota, kuten esimerkiksi liiketapahtumia tai sopimuksia. Jokainen lohko sisältää myös tiedon siitä, milloin kyseistä lohkoa on muokattu tai milloin se on luotu. Lisäksi jokaiselle lohkolle luodaan yksilöllinen tunnistuskoodi, joka liitetään myös seuraavan lohkon alkuun. Näin voidaan varmistaa lohkoketjun oikeellisuus ja tehdään datan väärentäminen erityisen hankalaksi; muuttaakseen tietoja yhdessä lohkossa, täytyy väärentäjän muuttaa tunnistuskoodi myös edelliseen lohkoon, sekä sitä edeltävään ja niin edelleen, ketjun loppuun asti. Lohkoketjut ovatkin sitä luotettavampia, mitä suurempi määrä niissä on lohkoja.

Kun lohkoketju on luotu, sitä ylläpidetään vertaisverkossa. Vertaisverkossa jokainen käyttäjä toimii varmentajana; koska lohkot on ketjutettu toisiinsa kiinni, jokainen uusi lohko tulee hyväksyttävä ennalta määrätyn hyväksyntämenetelmän avulla. Yleisimpiä hyväksyntämenetelmiä ovat Proof-of-Work ja Proof-of-Stake. Proof-of-Work perustuu monimutkaiseen matemaattiseen todentamiseen, jossa luodaan laskutoimitus hyödyntäen lohkojen yksilöllisiä tunnistuskoodeja. Proof-of-Stake todennusmenetelmä perustuu omistussuuteen ja -keston.

Lohkoketjuja on erilaisia, ja sopiva ketjutyyppi tulee valita sovellustarkoituksen mukaisesti. Päätökseen vaikuttaa mm. käytettävän tietokannan koko, käyttäjien määrä sekä turvallisuus- ja nopeusvaatimukset. Lohkoketju voi olla avoin, julkinen, rajattu tai jaettu. Esimerkiksi Bitcoin on täysin avoin ja julkinen lohkoketju, jonka sisältämää tietoa voi kuka tahansa lukea, ja jonka hyväksyntäprosesseihin voi osallistua vapaasti.



Kuva 1 Lohkoketjuun tallennettu "tilikirja", joka jokaisessa lohkossa on tallennetun tiedon lisäksi tunnistuskoodi, sekä edellisen lohkon tunnistuskoodi.

Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Sovelluskohteet

Hajautettu tietokanta sopii hyvin nimenomaan erilaisiin energiasovelluksiin, kuten tietoturvaan, älymittareiden hallintaan, automatisoituun kaupankäyntiin, tehotasapainon kauppaan sekä alkuperäistakuiden pohjaksi. Tässä kappaleessa käymme läpi energian kaupankäynnin osalta olennaisimmat sovellukset, eli älykkäät sopimukset, alkuperäistakuut sekä sähköverkon tasapainottamiseen liittyvät seikat. Kaikkia näitä yhdistää se pääperiaate, että sähkön kysyntä ja tarjonta saadaan parhaiten synkronoitua, kun asiakkaat on liitetty samaan ketjuun. Näiden uusien teknologioiden avulla sähkön tuotanto ja käyttö voidaan hajauttaa ja niin sanotusti demokratisoida. Sähkön kauppaaminen on hajautetussa järjestelmässä yhä enemmän asiakkaiden käsissä.

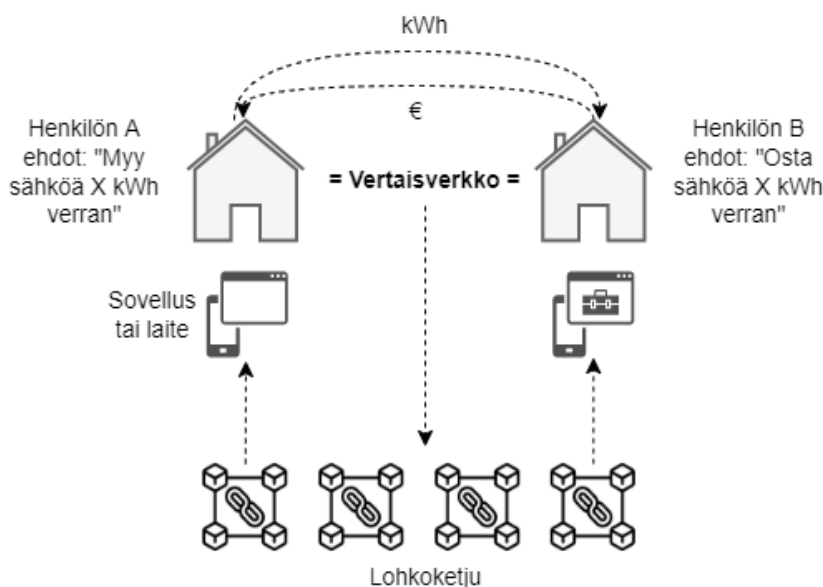
### Älykkäät sopimukset

Lohkoketjupohjaiset älykkäät sopimukset tarjoavat yksinkertaisen ja edullisen ratkaisun osapuolten välisen luottamuksen rakentamiseen ja prosessien automatisointiin.

Automatisointi tuo energia-alan sopimuksiin samoja hyötyjä kuin muihinkin palvelusopimuksiin. Lohkoketjuteknologia muuntaa älykkään sopimuksen ehdot kryptatuksi koodiksi ja hyödyntää operatiivista dataa sekä internetiin yhdistettyjen laitteiden, kuten sähkömittareiden, dataa, varmistaakseen reaaliajassa ja tarkasti mitä tapahtuu ja missä. Tarkkaan määritelty ja täysin automatisoitu komentoketju toimii itsenäisenä ”totuuden selkärankana”, jota ei voi huijata tai murtaa. Automaattinen sopimusjärjestelmä eliminoi automaattisesti maksuviivästyksiä, riitoja ja monimutkaisia sovittelutilanteita, mikä vähentää huomattavasti liiketapahtumien kustannuksia. Lohkoketjuilla voidaan tehokkaasti varmentaa, että asiakas on vastaanottanut tilaamansa tuotteen. Arvioiden mukaan yritys säästää keskimäärin 10 prosenttia kaupankäyntikustannuksista käyttämällä lohkoketjuteknologiaan pohjautuvaa sopimuspalvelua (Energy Connects, 2022).

Muitakin teknologioita (esim. keskitetty tietokanta) voidaan käyttää älykkäiden sopimusten luomiseen ja ylläpitoon, mutta lohkoketjun suurin hyöty on, että se varmistaa, ettei kumpikaan osapuoli voi yksipuolisesti muuttaa kaupan yksityiskohtia. Lohkoketjuun luotu tieto on lukittu ja ketju tarjoaa selkeät kirjaukset siitä, mitä tapahtui. Keskitettyyn tietokantaan voidaan tehdä muutoksia, mutta lohkoketju on jaettu muuttumaton rekisteri. Yksi osapuoli ei voi yksinään muuttaa kirjanpitoa omiin tarkoituksiinsa. Toiminta muistuttaa pankkikirjaa; tapahtumia voidaan lisätä, mutta alkuperäinen tapahtuma pysyy samana, eikä sitä voida poistaa.

## Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)



Kuva 2 Vertaisverkossa toteutettu älysopimus. Muokattu lähteestä <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/12/3569/htm>.

### Alkuperäistakuut

Alkuperätakuu on sertifikaatti, joka on luotu uusiutuvan sähkön ja kaasun seurantaan ja dokumentointiin. Sillä varmistetaan, että jokainen ostettu tai myyty kilowattitunti vastaa tiettyä todellista tuotantoa. Yritykset ostavat alkuperätakuuta vahvistaakseen omaa kestävän kehityksen agendaansa sekä esimerkiksi hiilidioksidipäästölaskelmien tueksi.

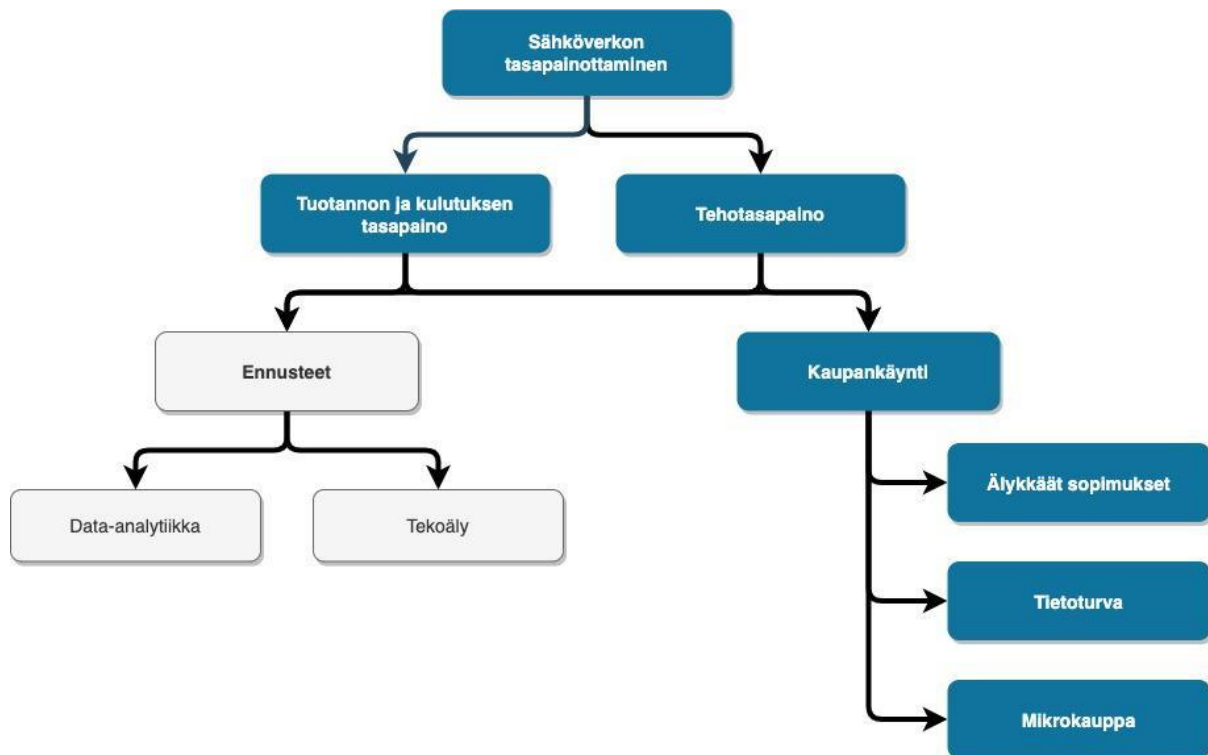
Lohkoketjulle ominainen piirre on nimenomaan se, ettei yhtä lohkoa voi olla olemassa useampi kappale samaan aikaan. Tämä piirre tekee lohkoketjuteknologiasta loistavan työkalun alkuperäistakuiden luomiseen. Vaikka ympäristömerkittyä sähköä on ollut saatavilla jo useita vuosia, on edelleen haastavaa määrittää, mistä kunkin asiakkaan sähkö tarkalleen tulee.

### Sähköverkon tasapainottaminen

Sähköverkon tasapainottamiseen kuuluu tuotannon ja kulutuksen tasapaino, ja toisaalta myös tehotasapainon hallinta. Näiden molempien tasapainottamiseen käytetään kahta eri pääkeinoa: ennustetaan tulevaa sähkön tuotantoa sekä kulutusta, ja käydään kauppaa ennusteeseen nojautuen. Ennusteiden luomiseen on monia eri teknologioita, ja niissä usein hyödynnetään data-analytiikkaa sekä tekoälyä. Ennusteiden sekä markkinoiden pohjalta tehtävää kaupankäyntiä voidaan sujuvoittaa, nopeuttaa sekä suojata lohkoketjuteknologioiden avulla. Lohkoketjuilla voidaan luoda älykkäitä sopimuksia, jotka päivittyvät automaattisesti ja automatisoivat kaupankäyntiä. Automatisoituun kaupankäyntiin liittyy myös mikrokauppa, eli jatkuva pienen mittakaavan kaupanteko, mikä lisää

## Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

joustavuutta ja tekee energiamarkkinoista hienojakoisempaa. Lohkoketjuteknologiaa voidaan hyödyntää tiedonsiirron turvaamisessa, kun esimerkiksi luodaan älykkäitä sopimuksia ja jaetaan arkaluontoisia tietoja.



Kuva 3 Sähköverkon tasapainottaminen voidaan jakaa tuotannon ja kulutuksen tasapainoon sekä tehotasapainoon

Sähkökärrpä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Pilotoinnit

### IBM ja Equigy

IBM on luonut yhdessä kolmen eurooppalaisen sähköverkon kanssa Equigy-nimisen alustan tukeakseen siirtymistä uusiutuvaan energiaan. Alusta varmistaa turvattun tiedonvälityksen, jonka avulla aggregaattorit voivat osallistua sähkön tasapainotusmarkkinoille pienemmillä joustavilla laitteilla, kuten kodin akuilla ja sähköajoneuvoilla.

### Elinkeinoelämän tutkimuslaitos

Elinkeinoelämän tutkimuslaitos on yhdessä Aalto-yliopiston sekä Fortum Oyj:n kanssa luonut Ethereum-lohkoketjuun pohjautuvan sovelluksen, joka mahdollistaa sähkön oston ja myynnin hajautetusti ja ilman keskitettyä markkinamekanismia. Sovelluksella käyttäjät voivat ostaa ja myydä sähköä suoraan toistensa välillä. Ethereum-lohkoketjulla pystytään luomaan älykkäitä sopimuksia.

### Quartierstrom (Sveitsi, Walenstadt st. Gallen)

Sveitsissä otettiin käyttöön yhden korttelin paikalliset sähkömarkkinat vuonna 2019. Markkina-alueeseen kuuluu 37 kotitaloutta, jotka tuottavat itse aurinkosähköä, ja kaikki ylimääräinen energia voidaan vaihtaa digitaalisesti naapureiden kanssa. Sähkön kaupankäynnissä hyödynnetään lohkoketjuteknologiaa. Quartierstrom on konkreettinen esimerkki monopolista vapaille markkinoille siirtymisestä. Tästä tapauksesta tekee erityisen se, että infrastruktuuri, tuotanto ja verot ovat kaikki järjestelmän sisällä, eli järjestelmä on niin sanotusti suljettu. Korttelissa tuotetusta sähköstä 82 % käytettiin paikallisverkon sisällä ja 18 % syötettiin takaisin kantaverkkoon. Kuluttajien käyttämästä energiasta 25 % tuotettiin ja kulutettiin paikallisverkossa. Sveitsin

Ensimmäisen sähkömarkkinaprojektin (Quartierstrom 1.0) valmistuttua tammikuussa 2020, paikalliset sähkömarkkinat Walenstadtissa jatkuvat. Quartierstrom 2.0 kehittää energiantoimittajille suunnattua tuotetta, jolla voitaisiin tarjota energiayhtiön asiakkaille paikalliset sähkömarkkinat. Tavoitteena on myös houkutella uusia kotitalouksia ja laajentaa paikallisia sähkömarkkinoita suuremmalle osallistujaryhmälle. Quartierstrom 2.0 -projekti on voittanut EnergieSchweizin rahoittaman Smart City Innovation Challenge 2020 -kilpailun.

### Brooklyn microgrid

Brooklyn Microgrid on New Yorkin asukkaiden ja yritysten jakama verkosto, joka tukee paikallista aurinkoenergian tuotantoa ja pyrkii olemaan edelläkävijä energian oston ja myynnin muutoksessa. Asukkaat osallistuvat paikallisille energiamarkkinoille mobiilisovelluksen kautta. Sovelluksessa asukkaat voivat ostaa paikallisia aurinkoenergiakredittiejä. Tuottajakuluttajat myyvät ylimääräisen



Sähkökärrpä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

aurinkoenergiansa markkinoille, josta kuluttajat ostavat saatavilla olevan aurinkoenergian tarjouskaupanomaisesti.

### Humanitaarisen avun käyttökohteet

YK:n Maailman elintarvikeohjelman vuonna 2016 käynnistämä "Building Blocks" -projekti on käyttänyt lohkoketjuteknologiaa jakaakseen apua pakolaisleireillä. Lohkoketjupohjaisen tietojärjestelmän avulla on pystytty vähentämään 98 % pankkisiirtomaksujen kustannuksista, sekä parannettu pakolaisten anonymiteettiä salaamalla apua hakevien henkilötiedot.

Maailman luonnonsäätien "Bait-to-plate" -ohjelma hyödyntää lohkoketjua työvoiman hyväksikäyttöongelmiin: ohjelma käyttää RFID-tunnisteiden ja Quick Response -koodeja yhdistääkseen tietyn ruuan, kuten tonnikalan, lohkoketjuun. Tämän avulla kuluttajat voivat seurata älypuhelimellaan tuotteen matkaa toimitusketjussa skannaamalla tuotteen QR-koodin. Tällaisten lohkoketjuratkaisujen keskeinen hyöty työvoiman hyväksikäytön eliminoimiselle on se, että etusijalla on itse hyödykkeen jäljittäminen sen sijaan, että puututtaisiin hyödykkeiden tuotannon työehtoihin.

Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Yhteenveto

Pilotoinnit kovassa vauhdissa ja yleistymässä, mutta silti laajalti vain kokeiluja.

Lohkoketjuteknologian vahvuuksiin lukeutuvat niiden tarjoama varmuus ja luotettavuus, oli kyse sitten kaupankäynnin yksityiskohdista tai alkuperäistakuista. Teknologia mahdollistaa myös nopean tiedonvälityksen sekä läpinäkyvyyttä prosessien eri vaiheille. Sopimuksia ja muita toimintoja voidaan automatisoida ja toteuttaa kaupankäyntiä ilman välikäsiä. Teknologian käyttö on myös lähtökohdiltaan edullista ja se on kansainvälisesti tunnettu. Läpinäkyvyyden kääntöpuolena on asiakkaiden heikentynyt yksityisyys. Muita avoimen lohkoketjun käytön heikkouksia ovat vastuun epämääräisyys (kenelle kuuluu vastuu ristiriitatilanteissa), sekä raskas energiankulutus. Energiankulutukseen ja skaalautuvuuteen on kehitteillä ratkaisuja, kun teknologiankehittäjät pyrkivät rakentamaan tehokkaampia lohkoketjutyyppejä, jotka sopivat paremmin energian kaupankäynnin tarkoituksiin. Lohkoketjujen onnistunut käyttö vaatii myös aina tarpeeksi suuren käyttäjämäärän toimiakseen tarkoituksenmukaisesti.

*Taulukko 1 Lohkoketjuteknologian vahvuudet ja heikkoudet sovellettaessa sähkön kaupankäyntiin*

Vahvuudet	Heikkoudet
Varmuus ja luotettavuus	Heikompi yksityisyys
Nopeus	Vaatii tarpeeksi suuren käyttäjämäärän
Prosessit näkyvillä	Kenellä on vastuu ristiriitatilanteissa?
Sopimusten ja toimintojen automatisointi	Skaalautuminen ei vielä ratkaistu
Käyttö edullista	Energiankulutus
Kansainvälisesti käytössä	
Ei välikäsiä	

Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

## Lähteet

Schneiders, A.; Shipworth, D. Community Energy Groups: Can They Shield Consumers from the Risks of Using Blockchain for Peer-to-Peer Energy Trading? *Energies* 2021, 14, 3569.

<https://doi.org/10.3390/en14123569>

Zahid, Maheen & Javaid, Nadeem & Rasheed, Muhammad. (2019). Balancing Electricity Demand and Supply in Smart Grids using Blockchain.

R. Khalid, N. Javaid, A. Almogren, M. U. Javed, S. Javaid and M. Zuair, "A Blockchain-Based Load Balancing in Decentralized Hybrid P2P Energy Trading Market in Smart Grid," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 47047-47062, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2979051.

Lohkoketjut ja muut hajautetut tietokannat: niiden ideologia, käyttökohteet ja energiankulutus (Asiantuntijalausunto eduskunnan tulevaisuusvaliokunnalle) 2018.

<https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2018-AK-209428.pdf>

Lohkoketjuteknologian soveltaminen energiatoimialalla (Tampereen yliopisto, Klaus Iltanen) 2020.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/121540/IltanenKlaus.pdf?sequence=2>

Lohkoketjuteknologia osana älykästä sähköjärjestelmää (Fingrid, TEM) 2018.

<https://tem.fi/documents/1410877/3481825/Lohkoketjuteknologia+osana+%C3%A4lyk%C3%A4st%C3%A4+s%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4%C3%A4+28.8.2018/752904f3-a765-443a-b3d0-6947999c1a68/Lohkoketjuteknologia+osana+%C3%A4lyk%C3%A4st%C3%A4+s%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4%C3%A4+28.8.2018.pdf>

## Pilotoinnit

IBM ja Equigy

<https://www.coindesk.com/business/2020/05/05/ibm-teams-with-3-european-power-grids-to-build-green-energy-blockchain-platform/>

Elinkeinoelämän tutkimuslaitos

<https://vanhalehti.energiauutiset.fi/uutiset/sahkokauppoja-ilman-markkinapaikkaa.html>

Quartierstrom

<https://item.unisg.ch/en/operations/iotlab/p2p-energy>

Brooklyn Microgrid



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences



Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

Sähkökärppä – älykäs kotitaloussähkö ja sähköautojen lataus hanke (1.9.2019–31.8.2022)

<https://www.brooklyn.energy/about>

Humanitaarisen avun käyttökohteet

<https://reliefweb.int/report/world/how-humanitarian-blockchain-can-deliver-fair-labor-global-supply-chains>