

**Kulutusjoustomarkkinoiden- ja
energianhallintajärjestelmien ratkaisut ja toimijat**

**Demand response market and energy management
system solutions and operators**

Elias Pylväläinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Elias Pylväläinen

Kulutusjoustomarkkinoiden- ja energianhallintajärjestelmien ratkaisut ja toimijat

2021

Kandidaatintyö.

30 s.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Antti Kosonen

Ohjaajat: Tutkijaopettaja Antti Kosonen, Toni Hannula (Huippuenergia Oy)

Hakusanat: Kulutusjousto, Kysyntäjousto, Kulutusjoustomarkkinat, Energianhallintajärjestelmä, kuormien säätö

Tässä kandidaatintyössä käsitellään kulutusjoustoprojektien ja energianhallintajärjestelmien ratkaisuja, sekä minkälaiset toimijoita näitä tarjoaa. Kulutusjoustoprojektien merkittävyys kasvaa säästä riippuvaisten energiantuotantomuotojen korvataessa perinteisiä säädettäviä tuotantomuotoja, jotta ilmastollisiin tavoitteisiin päästään. Kun uusiutuvan energiantuotannon, esimerkiksi tuulivoiman osuus kasvaa, täytyy kulutuksen joustaa tuotannon mukaan, jotta verkossa säilyy tasapaino tuotannossa ja kulutuksessa. Tällöin puhutaan kulutusjoustoprojektista. Kulutusjoustomarkkinoiden toimijoita Suomessa ovat Fingrid, jakeluverkkoyhtiöt, sähkömyyjät, kotiautomaatioteknologian toimijat ja tulevaisuudessa myös aggregaattorit ja energiayhteisöt. Tällä hetkellä Suomen kulutusjoustoprojektit perustuu Fingridin reservi- ja säätösähkömarkkinoihin, sekä pohjoismaiden Nord Pool pörssiin perustuviin markkinoihin, eli sähkön kysynnän ja tuotannon tasapainottaviin tekijöihin. Toisin kuin Suomessa esimerkiksi Iso-Britanniassa ja Yhdysvalloissa on jo omia markkinapaikkoja pelkästään kulutusjoustoprojektille.

Energianhallintajärjestelmien tavoitteena on parantaa energiatehokkuutta niin yrityksissä, teollisuudessa kuin myös kotitalouksissa. Energiatehokkuuden parantamisella on merkittäviä vaikutuksia niin ympäristöystävällisyyden parantamiseksi, kuin myös taloudellisiin säästöihin. Suuremmissa kokoluokissa energianhallintajärjestelmien tavoitteellinen toimiminen vaatii yritykseltä jatkuvaa energiatehokkuuden seuraamista, sekä kehittämistä. Yksityisen kotitalouden kokoluokassa energianhallintajärjestelmien hyödyntäminen energiatehokkuuden parantamiseksi vaatii investointia automaatioon, mikä toimii älykkäästi asunnon säädettävien kuormien kanssa.

Kulutusjoustoprojektien ja energianhallintajärjestelmien toimiessaan ne hyötyvät toisistaan. Kulutusjoustomarkkinoiden arvioidaan kasvavan merkittävästi tulevien vuosien aikana ja niillä on jo tänä päivänä suuria kansainvälisiä toimijoita. Kulutusjoustomarkkinat tulevat vaikuttamaan niin sähkönkuluttajiin, -tuottajiin, -myyjiin, jakeluverkkoyhtiöihin kuin myös aggregaattoreihin.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Electrical Engineering

Elias Pylväläinen

Demand response market and energy management system solutions and operators

2021

Bachelor's Thesis.

30 p.

Examiner: Associate professor Antti Kosonen

Supervisors: Associate professor Antti Kosonen, Toni Hannula (Huippuenergia Oy)

Keywords: demand response, demand response markets, energy management systems, load management

This Bachelor's Thesis handles demand response markets and energy management systems solutions and what kind of operators offers these. The importance of demand response increases as weather dependent forms of energy production replaces traditional adjustable forms of production in order to achieve climate goals. As the share of renewable energy production, such as wind power increases must the demand adjust according to production to keep the balance of demand and production in the grid. In that case, we are talking about demand response. The operators in demand response markets in Finland are Fingrid, distribution network companies, electricity sellers, home automation technology companies, aggregators and energy communities in the future. At nowadays Finland's demand response is based on Fingrid's reserve and control electricity markets, as well on the Nordic Nord Pool exchange-based market which are the balancing factors for electricity demand and production. Unlike in Finland, for example in the United Kingdom and the United States already have their own marketplaces for demand response.

The main goal for energy management systems is to improve energy efficiency in companies, industry and households. Improving energy efficiency has significant implication for both environmental friendliness and economic savings. In the larger size range the purposeful operation of energy management systems require the company to continuously monitor and develop energy efficiency. In a private household size range utilizing energy management systems requires automation investments to improve energy efficiency. The automation needs to work intelligently with the adjustable loads in the household.

When demand response and energy management systems work, they benefit from each other. The demand response market is expected to grow significantly in the coming years and there are already major international operators in the markets. The demand response markets will affect electricity consumers, -producers, -sellers, distribution network companies as well as aggregators.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

Yksiköt.....	5
1. Johdanto.....	6
1.1 Tausta.....	6
1.2 Tavoitteet ja rajaus.....	7
2. Yleiskuvaus	8
2.1 Kulutusjoustomarkkinat ja markkinapaikat.....	8
2.1.1 Valtakunnan tasolla	9
2.1.2 Toteutuneita tuntimarkkinahintoja	11
2.1.3 Yksityisen kiinteistön tasolla.....	15
2.1.4 Spot-markkinoilla	17
2.2 Energianhallintajärjestelmät	18
2.2.1 Suuret yritykset.....	18
2.2.2 Kotitaloudet	20
3. Markkinakatsaus	21
3.1 Markkinatilanne Suomessa.....	21
3.1.1 Yleistä.....	21
3.1.2 Toimijoita	21
3.2 Markkinatilanne maailmalla	22
3.2.1 Yleistä.....	22
3.2.2 Toimijoita	23
3.3 Markkinoiden suunta tulevaisuudessa	24
4. Kulutusjoustopuormien säädön ratkaisuja.....	26
4.1 Uuden sukupolven älymittarit (AMR 2.0).....	26
4.2 Energiavarastot	27
4.3 Power-to-X	29
5. Yhteenveto.....	30
Lähteet	31

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

aFRR	Automatic frequency restoration reserve, automaattinen taajuudenhallintareservi
AMR	Automatic meter reading, etäluettava energiamittari
AMR 2.0	Automatic meter reading, seuraavan sukupolven älykäs energiamittari
DER	Distributed energy resources, hajautettu energiantuotanto
DERMS	Distributed energy resources management system, hajautetun energiantuotannon energianhallintajärjestelmä
DR	Demand response, kulutusjousto
FCR-D	Frequency containment reserve, taajuusohjattu häiriöreservi
FCR-N	Frequency containment reserve, taajuusohjattu käyttöreservi
FFR	Frequency restoration reserve, nopea taajuusreservi
HEMS	Home energy management system, kodin energianhallintajärjestelmä
mFRR	Manual frequency restoration reserve, säätösähkömarkkinat
P2X	Power-to-X-teknologia

YKSIKÖT

%	Prosentti
€	Euro
h	Tunti
Hz	Hertsi
MW	Megawatti
MWh	Megawattitunti
s	Sekunti

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Sähköntuotannon perusta Suomessa ja maailmalla on ollut muutoksen portaalla viime vuosina, ja se on muuttumassa suuresti lähitulevaisuudessa. Ilmastopoliittisista syistä fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset poistuvat ympäristöystävällisimpien voimalaitosten tieltä. Sähköä tuotetaan tänä päivänä ja tulevaisuudessa yhä enemmän ydinvoimalla ja uusiutuvilla energianlähteillä. Perinteisten fossiilisten voimalaitosten poistuessa sähköntuotantojärjestelmästä poistuu joustavuutta, mikä lisää säätövoiman tarvetta. Uusiutuvien energiantuotantojärjestelmien, kuten esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon vaihtelevuus tuo haasteita sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainon hallintaan. (Fingrid 2018)

Hajautetun sähköntuotannon kasvu vaatii suuria muutoksia tämän päivän sähkömarkkinoihin. Uusiutuvien sähköntuotantojärjestelmien tuotanto on riippuvaista ympäristön sääolosuhteista, tämä hankaloittaa niiden tuotannon säätämistä. Kulutusjoustolla (myös kysyntäjousto) voidaan mahdollistaa joustoa sähkönkulutuksessa, jotta kulutushuippujen aikana voitaisiin vähentää kulutuksen tarvetta energiajärjestelmässä. Kulutusjoustomarkkinat vaativat toimiakseen älykkään sähköverkon, mihin Suomella on jo hyvä pohja ja osaaminen. Kulutusjoustomarkkinat tulevat vaikuttamaan kaikkiin sähkönkuluttajiin, -tuottajiin, -myyjiin ja energiapalveluja tuottaviin toimijoihin. Kulutusjoustomarkkinoilla kuluttajat voivat vaikuttaa omiin kulutuspiikkeihin ja siirtää omaa sähkön kulutusta edullisemmalle ajankohdalle, millä voi olla suuri vaikutus sähkölaskun suuruuteen. (Motiva 2020)

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tulee energiatehokkuuden parantua. Energianhallintajärjestelmillä voidaan parantaa energiantehokkuutta, karsia päästökuluja ja säästää energiakuluissa. Energianhallintajärjestelmiä voidaan käyttää kaikissa julkisissa ja kaupallisissa kiinteistöissä, sekä omakotitaloissa. Uusiutuvan energian tuotantolaitos, kuten aurinko- ja tuulienergia yhdistettynä akkujärjestelmään ja energianhallintajärjestelmään mahdollistaa myös osallistumisen kulutusjoustoan voimalan koosta riippumatta, kun markkinapaikka ja sen mahdollistavat palvelut ovat käytössä.

Työhön liittyviä aiheita on käsitelty useissa tutkimuksissa, kandidaatintöissä ja diplomitöissä. Kulutusjouston hyödyntämismahdollisuuksia ja rajoitteita markkinapaikoilla on tutkittu yritysasiakkaiden kannalta (Tolonen 2015). Energianhallintajärjestelmien toimintaa ja kehitystä osana uusiutuvaa energian tuotantoa on tutkittu kulutusjoustomarkkinoiden mahdollistamiseksi (Siponen 2018). Myös pienasiakkaille tarjoutuvia mahdollisuuksia kulutusjoustomarkkinoille osallistumisesta on tutkittu (Oinonen 2019). Aiheeseen liittyviä tutkimuksia on myös tehty liittyen kotitalouslaitteiden käyttömahdollisuuksista osallistua kulutusjoustoan. Kulutusjousto on tutkittu, myös sen kannattavuudesta teollisuudessa ja miten uusiutuvat energian lähteet vaikuttavat kulutusjoustoan.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tehdä kirjallisuuskatsaus, mistä selviää kulutusjoustomarkkinoiden, siihen liittyvien toimijoiden markkinatilanne ja energianhallintajärjestelmien ratkaisuja ja toimijoita eri tasoilla. Markkinatilanteesta tavoitteena on selvittää, millaisia ratkaisuita Suomessa ja maailmalla on liittyen kulutusjoustomarkkinoihin, sen mahdollistaviin ratkaisuihin ja ketkä siellä toimivat. Työssä käsitellään myös kulutusjouston mahdollistavia ratkaisuita liittyen kuormien säätämiseen. Työn tavoitteena on selvittää lukijalle millaiset ratkaisut markkinoilla ovat yleistymässä ja millaiset toimijat näitä ratkaisuja tarjoavat. Materiaalina tässä työssä ovat aiheeseen liittyvät tutkimukset ja pilotit, sekä aiheeseen liittyvien toimijoiden verkkosivustoja.

Työ on tehty Huippuenergia Oy:n toimeksiannosta. Huippuenergia Oy tarjoaa energianhallinta ratkaisuja Foremica-järjestelmällä. Energianhallintapalveluiden lisäksi Huippuenergia Oy toimittaa aurinkovoimaloita ja ratkaisuja sähköiseen liikenteeseen. Huippuenergia Oy tarjoaa myös tuulituotannon ennustamista, energian kulutusjoustoratkaisuja ja kaukolämmön kulutusjoustoratkaisuja energiayhtiöille. Huippuenergia Oy on osa ESE-konsernia (Etelä-Savon Energia Oy). (Huippuenergia 2020)

2. YLEISKUVAUS

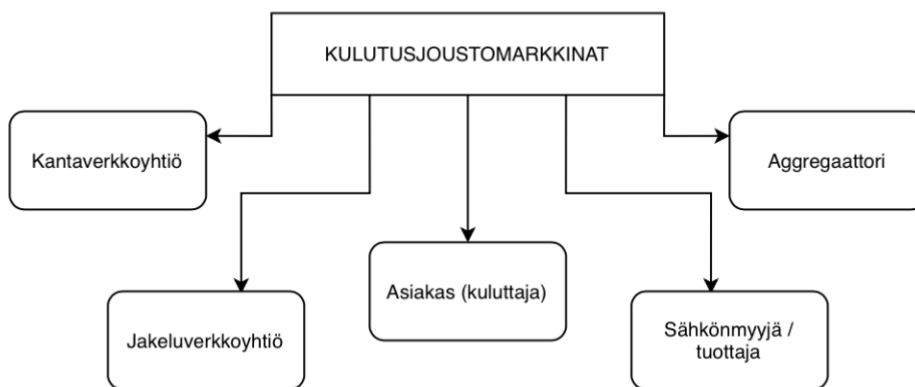
Tässä luvussa käsitellään yleisesti kulutusjoustoon liittyviä markkinoita ja millaiset ratkaisut mahdollistavat kulutusjouston. Luvussa käsitellään myös energianhallintajärjestelmät yleisellä tasolla ja niihin liittyvät standardit.

2.1 Kulutusjoustomarkkinat ja markkinapaikat

Kulutusjoustojärjestelmät ovat jo nykyisin varsinkin Pohjoismaissa osana sähköverkkoa, koska talvella lisääntyvät lämmityksestä johtuvat sähkönkulutukset vaativat säätövoimaa kulutuspiikkien tasaamiseksi. Kulutusjoustolla tulee olemaan suuri merkitys energiajärjestelmässä, kun hajautetun ja tuotannoltaan vaihtelevien energianlähteiden määrä lisääntyy energiajärjestelmässä energia-alan murroksen johdosta. (Ahonen & Honkapuro, 2017)

Kulutusjoustomarkkinoiden tavoitteena on siirtää energiankulutusta kulutushuipuista edullisimpiin ajankohtiin. Tällöin kulutusjousto tuo uusia mahdollisuuksia tehtäviensä hallintaan, kulutushuippuina käytettävien paljon päästöjä aiheuttavien energianmuotojen vähentämiseen ja tuo markkinoille uusia tuote- ja liiketoimintamahdollisuuksia mistä sekä kuluttaja, myyjä ja tuottaja voivat hyötyä. (loppuraportti TUT, 2015)

Kulutusjoustomarkkinoilla Suomessa toimijoina tulee olemaan: Fingrid, jakeluverkot, sähkönkuluttaja, sähköntuottaja ja pienempiä kulutusjoustokapasiteetteja kokoavat palveluntarjoajaoperaattorit kuten aggregaattorit (kuva 2.1). (Korpio, 2019)



Kuva 2.1 Kulutusjoustomarkkinoiden toimijat Suomessa (Korpio, 2019).

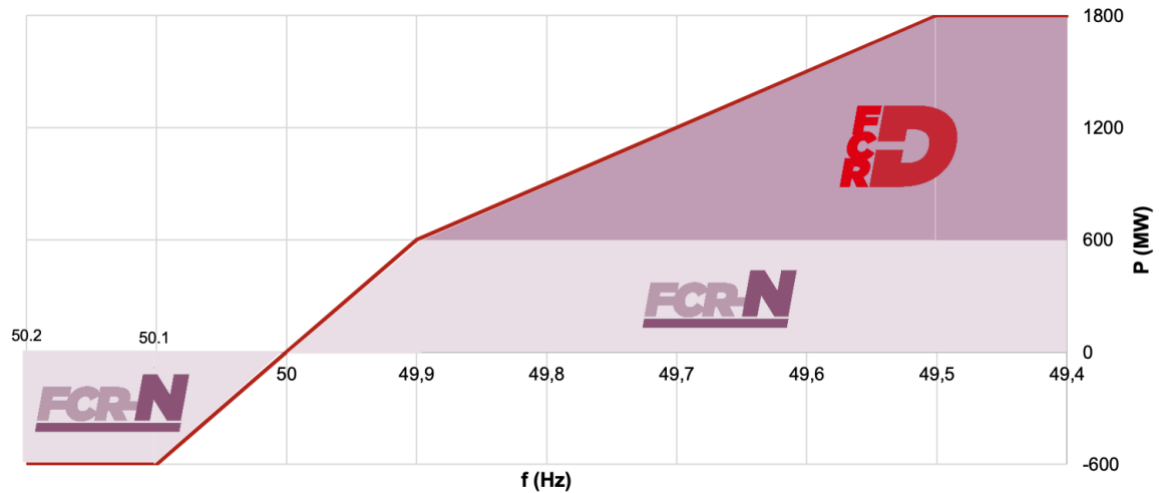
2.1.1 Valtakunnan tasolla

Valtakunnan tasolla kulutusjoustomarkkinat perustuvat reservimarkkinoihin. Näiden markkinoiden tehtävänä on pitää sähköverkon taajuus 50Hz tasolla tasapainossa Pohjoismaissa (Fingrid.fi). Tehotasapainoa ylläpidetään automaattisesti aktivoituvalla primäärisäädöllä ja Fingridin kilpailuttamalla säätösähköllä eli sekundäärisäädöllä (Partanen, 2020). Pohjoismaissa ylläpidettävät reservit jakaantuvat neljään eri kokonaisuuteen, mitkä ovat jokainen toimintaherkkydeltään erikokoisia. Jokaisen pohjoismaan kantaverkkoyhtiö hankkii maakohtaisesta kapasiteetistä osuutensa, jotta pohjoismaissa sovittu yhteinen reservimäärä toteutuu. (Partanen, 2020)

Nopea taajuusreservi (FFR) on erittäin nopeasti aktivoitava tehoreservi, mitä käytetään suurissa alitaajuuspoikkeamissa. Hankintatarve nopealle taajuusreserville riippuu sähköjärjestelmässä olevasta inertian määrästä eli kuinka paljon järjestelmässä pyörivien massojen varastoituneella liike-energialla pystytään vastustamaan taajuuden muutoksia. Osallistuakseen nopean taajuusreservin markkinoille toimittajan tulee tehdä Fingridin kanssa FFR-markkinasopimus ja suorittaa hyväksytysti säätökoe reservikohteellensa (Fingrid 2020). Hankinta nopealle taajuusreserville tapahtuu vain osalle tunneista ja hankintamäärissä on vaihtelua. Fingrid hankkii reservit kansallisilta tuntimarkkinoilta ja hankinta painottuu kevät-syyskuukausille, jolloin vesivoiman määrä järjestelmässä on pienimmillään. (Fingrid 2020)

Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) säätää jatkuvasti sähköverkon taajuutta kahden minuutin aikajaksoittain. Taajuusohjattu käyttöreservi on symmetristä säätöä eli sen tulee tarvittaessa lisätä tehoa tai pudottaa tehoa järjestelmästä (Partanen, 2020). Osan taajuusohjatusta käyttöreservistä Fingrid hankkii vuosimarkkinoilta, mitkä tapahtuvat joka vuodelle edellisvuoden syksyn avoimen tarjouskilpailun perusteella. Fingrid hankkii reservistä osan myös Venäjän ja Viron puolelta ja tuntimarkkinoilta reservinhaltijoilta kotimaasta ja muista pohjoismaista. Osallistuakseen taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkinoille täytyy mahdollisen reservinhaltijan tehdä Fingridin kanssa sopimus. Tuntikohtaisilla markkinoilla maksetaan tuntikohtainen korvaus ylläpidetyn kapasiteetin säätämisestä ylös tai alas. Vuosimarkkinoilla maksettava korvaus on ollut noin 13,2 €/MW/h ja tuntimarkkinoilla korvaus on ollut keskiarvolta noin 20 €/MW/h. Markkinoille tarjottavan kapasiteetin koko on oltava vähintään 0,1 MW (Kuva 2.2). (Fingrid 2020)

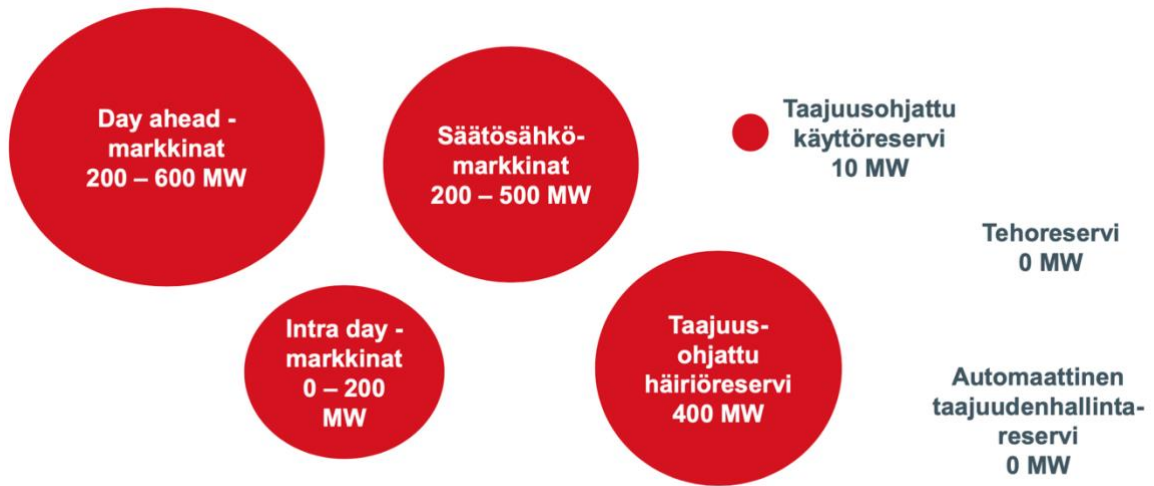
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D) säätää verkon taajuutta, kun taajuus putoaa alle 49,9 Hz ja pyrkii pitämään sen vähintään 49,5 Hz:ssä. Säädön kapasiteetin tulee olla vähintään 1 MW suuruinen ja kapasiteettiaan häiriöreserviin tarjonneiden tulee kyetä aktivoimaan kapasiteetistä 50 %: 5 s kuluttua ja 100 %: 30 s kuluttua suuremmasta taajuuden muutoksesta. Fingrid hankkii myös häiriöreserviin verkosta irti kytkeytyviä resursseja 100 MW jokaiselle tunnille. Näille toimijoille pätee ehdot, kuinka nopeasti niiden tulee irtautua verkosta taajuuden muutoksista riippuen. Kuorman tulee irtautua kokonaan verkosta, mikäli taajuus on: $5 \text{ s} \leq 49,7 \text{ Hz}$, $3 \text{ s} \leq 49,6 \text{ Hz}$ tai $1 \text{ s} \leq 49,5 \text{ Hz}$. Taajuusohjatussa häiriöreservissä (FCR-D) markkina on tuntikohtainen, kuten taajuusohjatussa käyttöreservissä (FCR-N). Vuosimarkkinoilla hintakorvaus on noin 5 €/MW/h ja tuntimarkkinoilla hinta on noin 1–10 €/MW/h (Kuva 2.2). (Fingrid 2020)



Kuva 2.2 Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin aktivoituminen taajuuden funktiona. (Fingrid 2020, s. 9)

Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR) säätelee energian kulutuskohteen ohjetehoa, mikä riippuu Fingridin tehonpyyntisignaalista. Automaattinen taajuudenhallintareservi toimii parin minuutin viiveellä. Fingrid hankkii automaattista taajuudenhallintareserviä vain etukäteen ilmoitetuille aamu- ja iltatunneille. Reserville tarjoukset tehdään tuntimarkkinoilla ja ylös ja alas säädölle tehdään erikseen tarjoukset vain toiseen suuntaan. Korvaus tarjotusta alas- tai ylös säädöstä maksetaan sekä kapasiteetin hinta, että energiahinta säätösähkömarkkinoiden hinnan mukaan. Osallistuakseen automaattiseen taajuudenhallintareservin markkinoille tulee minimitarjouskoko olla vähintään 5 MW. (Fingrid 2020)

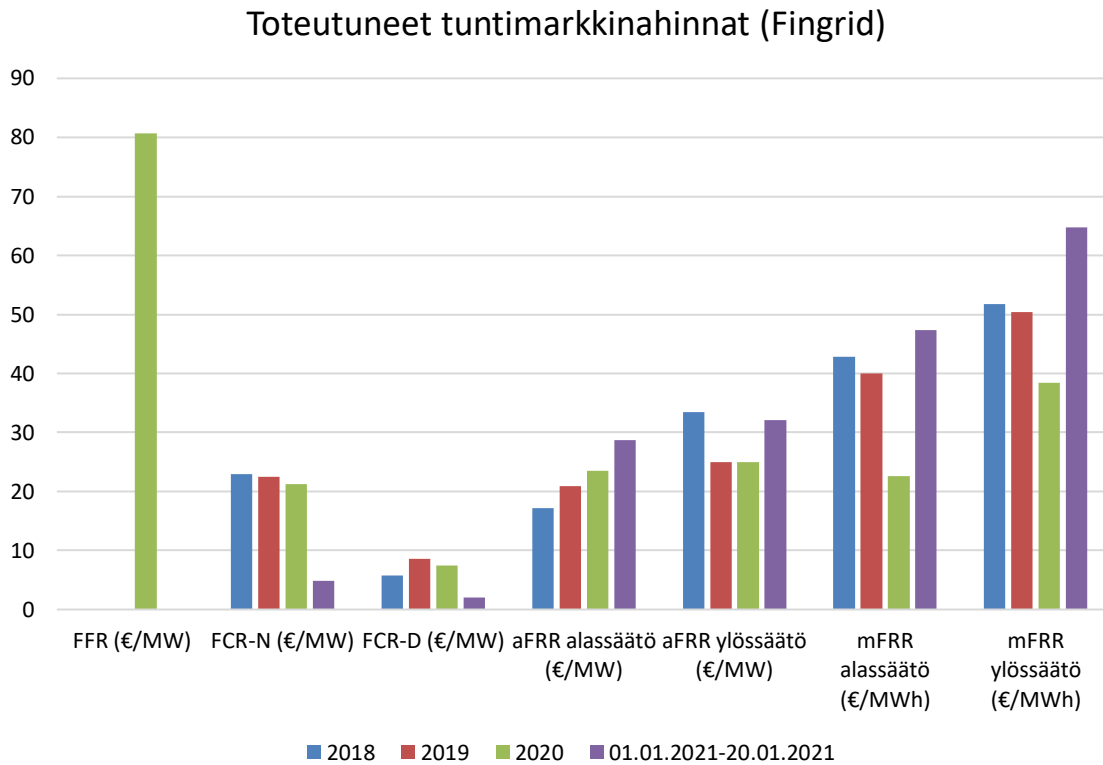
Säätösähkömarkkinat (mFRR) ovat Fingridin ylläpitämät markkinat, missä säätökykyistä kapasiteettia voi tarjota tuotannon ja kuorman omistajat. Osallistuakseen säätösähkömarkkinoille tulee minimitarjouskoon olla 5–10 MW mikäli tilaus on elektroninen, eikä puhelimitse tehty tilaus. Säätösähkömarkkinoilla on korvaus tarjotusta kapasiteetistä parempi verrattuna spot-hintaan. Tarjoukset tehdään tuntikohtaisesti ja tarjouksia voi päivittää vielä 45 min ennen käyttötuntia. Säätösähkömarkkinat ovat suuressa osassa nykyistä kulutusjoustomarkkinaa (kuva 2.3). (Fingrid 2020)



Kuva 2.3 Kulutusjouston tilanne Suomessa 01.09.2020 (Fingrid 2020, s. 18)

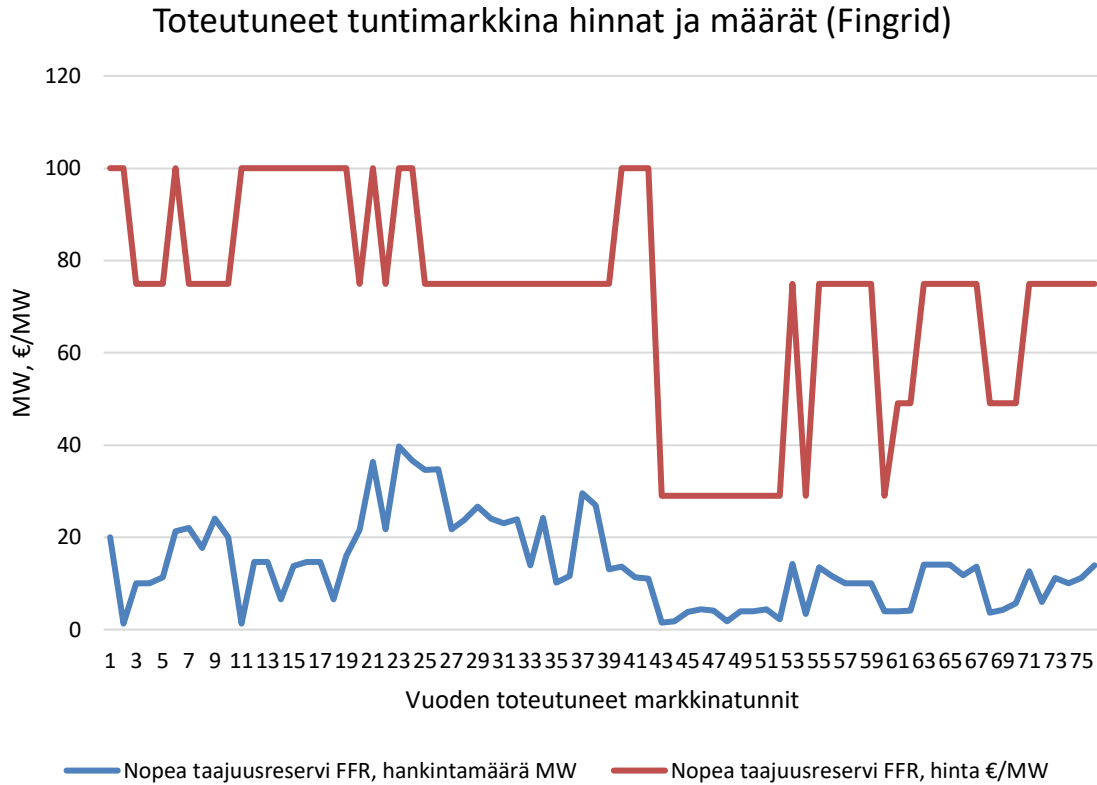
2.1.2 Toteutuneita tuntimarkkinahintoja

Fingridin sivustoilta löytyy avointa dataa tapahtuneista hinnoista reservi- ja säätösähkömarkkinoilta. Hinnat löytyvät tuntikohtaisesti jokaiselta eri säätömarkkinalta. Kuvassa 2.4 on laskettu toteutuneita keskiarvo tuntimarkkinahintoja Fingridin eri reservi- ja säätösähkömarkkinoilta edelliseltä kolmelta vuodelta, sekä kuluvalta vuodelta.

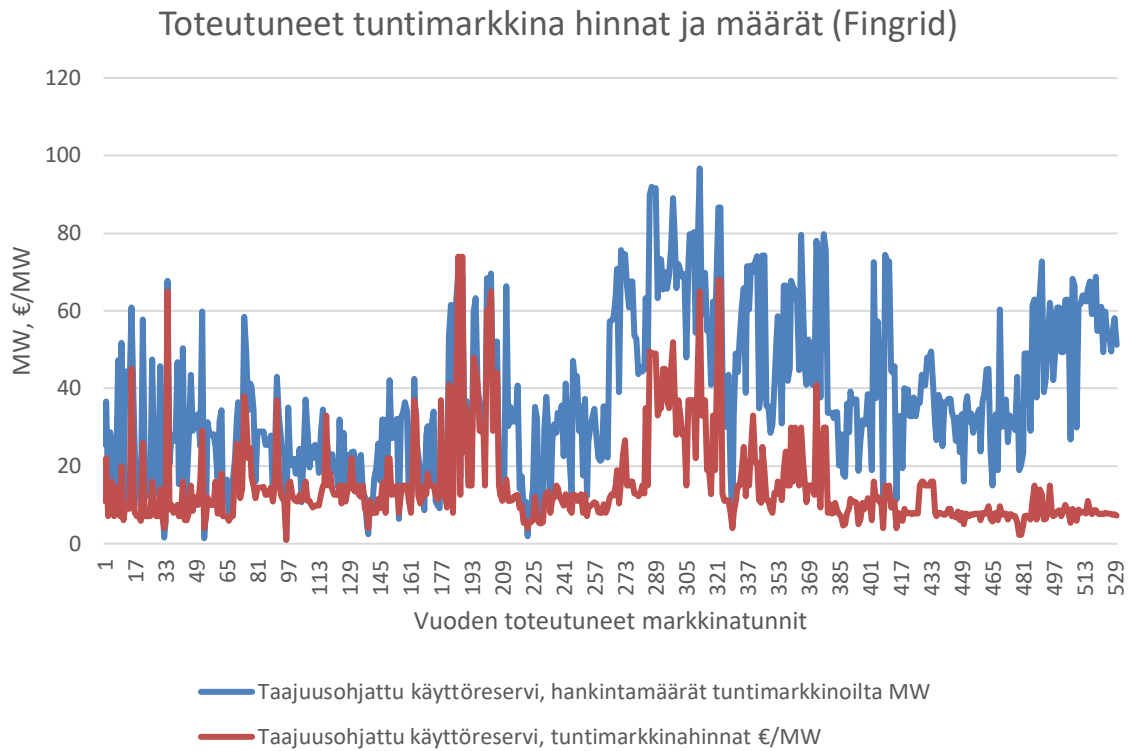


Kuva 2.4 Toteutuneita keskiarvo tuntimarkkinahintoja (Fingrid)

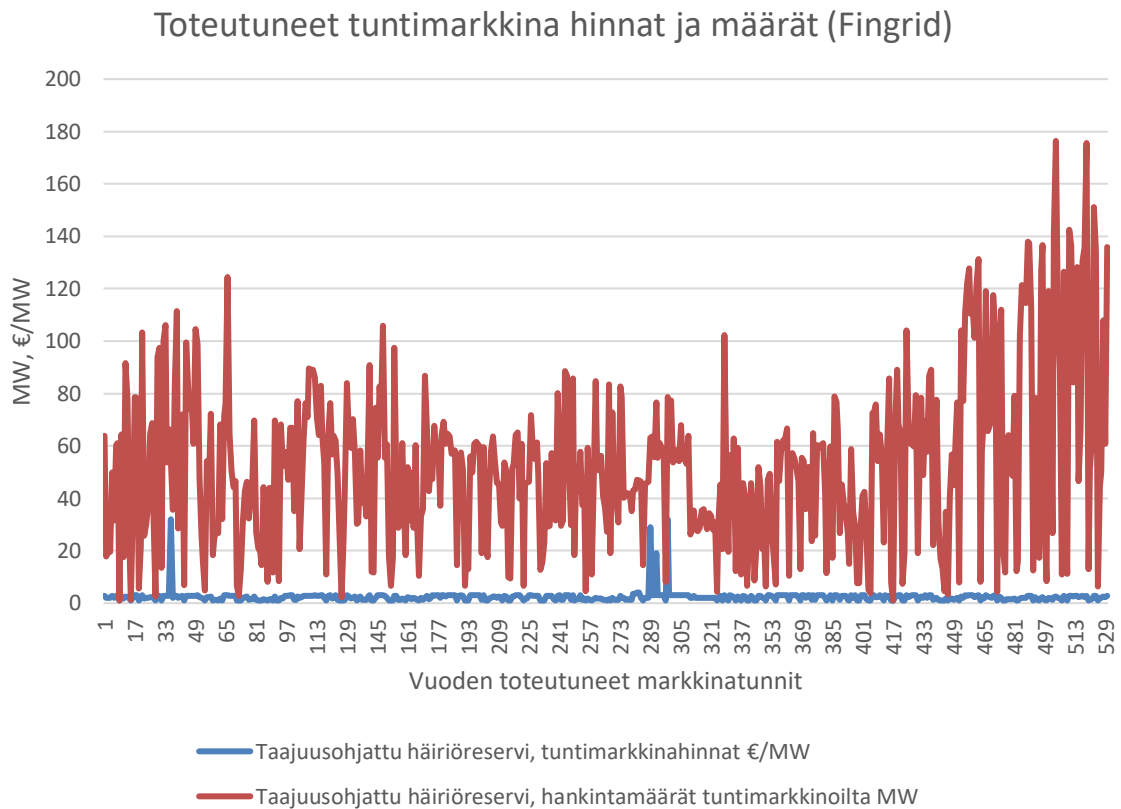
Seuraavissa kuvissa 2.5–2.9 Fingridin säätömarkkinoiden (FFR, FCR-N, FCR-D, aFRR) toteutuneet tuntimarkkinahinnat ja määrät vuodelta 2020. Kuvissa on vain toteutuneet markkinatunnit, koska vuoden 2020 aikana ei jokaisella tunnilla kauppooja tapahtunut. Kuvista voidaan huomata millä Fingridin markkinapaikoilla on kysyntää, sekä millaista korvausta niistä voi saada.



Kuva 2.5 Nopean taajuusreservin FFR toteutuneet hankintahinta ja -määrä vuodelta 2020 (Fingrid).

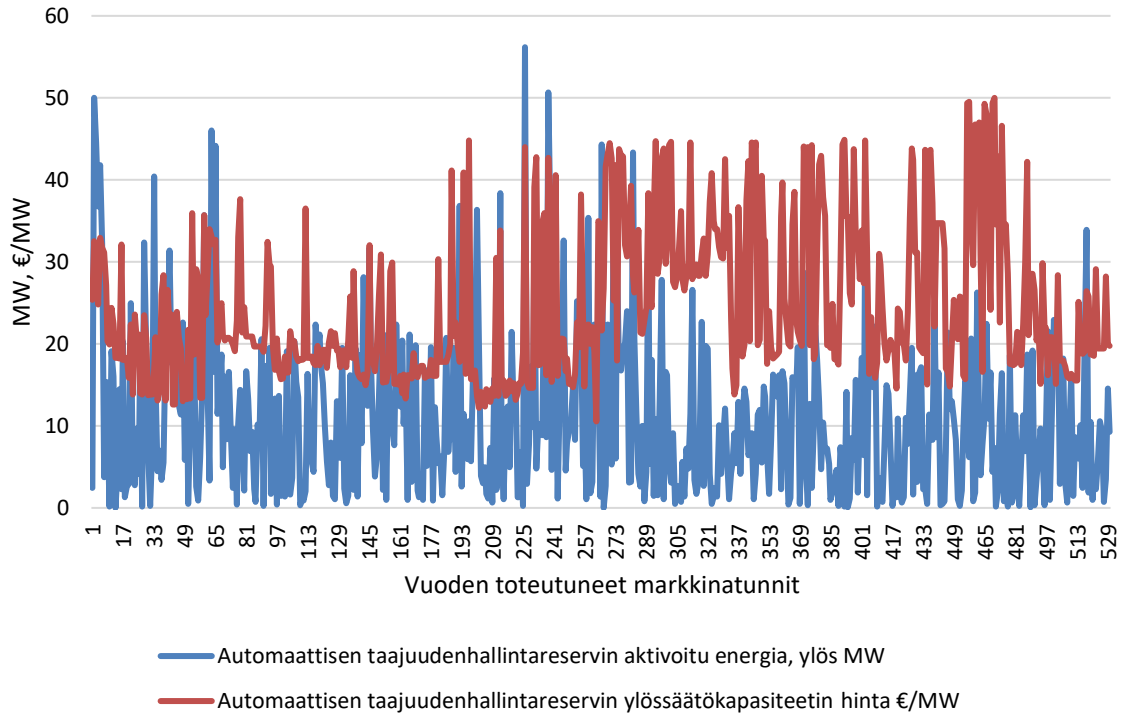


Kuva 2.6 Taajuusohjatun käyttöreservin FCR-N toteutuneet hankintahinta ja -määrä vuodelta 2020 (Fingrid).



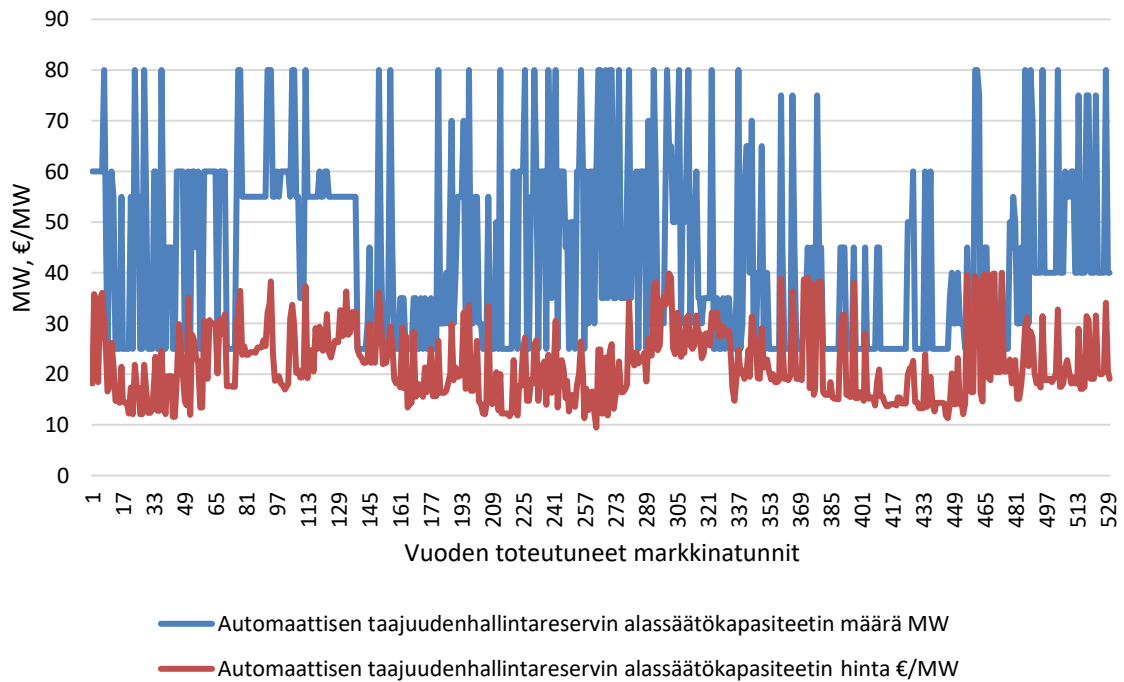
Kuva 2.7 Taajuusohjatun häiriöreservin FCR-D toteutuneet hankintahinta ja -määrä vuodelta 2020 (Fingrid).

Toteutuneet tuntimarkkina hinnat ja määrät (Fingrid)



Kuva 2.8 Automaattisen taajuudenhallintareservin ylösäättökapasiteetin toteutuneet hankintahinta ja -määrä vuodelta 2020 (Fingrid).

Toteutuneet tuntimarkkina hinnat ja määrät (Fingrid)



Kuva 2.9 Automaattisen taajuudenhallintareservin alassäättökapasiteetin toteutuneet hankintahinta ja -määrä vuodelta 2020 (Fingrid).

2.1.3 Yksityisen kiinteistön tasolla

Suomessa yksityisten kotitalouksien infrastruktuuri on mahdollistanut kulutusjoustoos osallistumisen jo vuodesta 2012 alkaen. Etäluettavat energiamittarit (AMR) löytyvät Suomessa lähes jokaisesta yksityisestä kotitaloudesta, mikä on johtavaa tasoa koko maailmassa. Mittarit mittaavat energiankäyttöä sekuntitasolla ja tallentavat sen tuntitasolla. Energiamittareilla voidaan verkon avulla lähettää ohjauskomentoja kuormille, mikä mahdollistaa kuormien ohjausta. Energiajärjestelmän tasapainon kannalta etäluettavat energiamittarit ovat tärkeitä tuntipohjaisen taseselvityksen kannalta. Ennen kuin kotitalous asiakkaat voivat itse osallistua kulutusjoustomarkkinoille täytyy seuraavan sukupolven älymittarit olla asennettuna kotitalouksiin. (Järventausta ym. 2015)

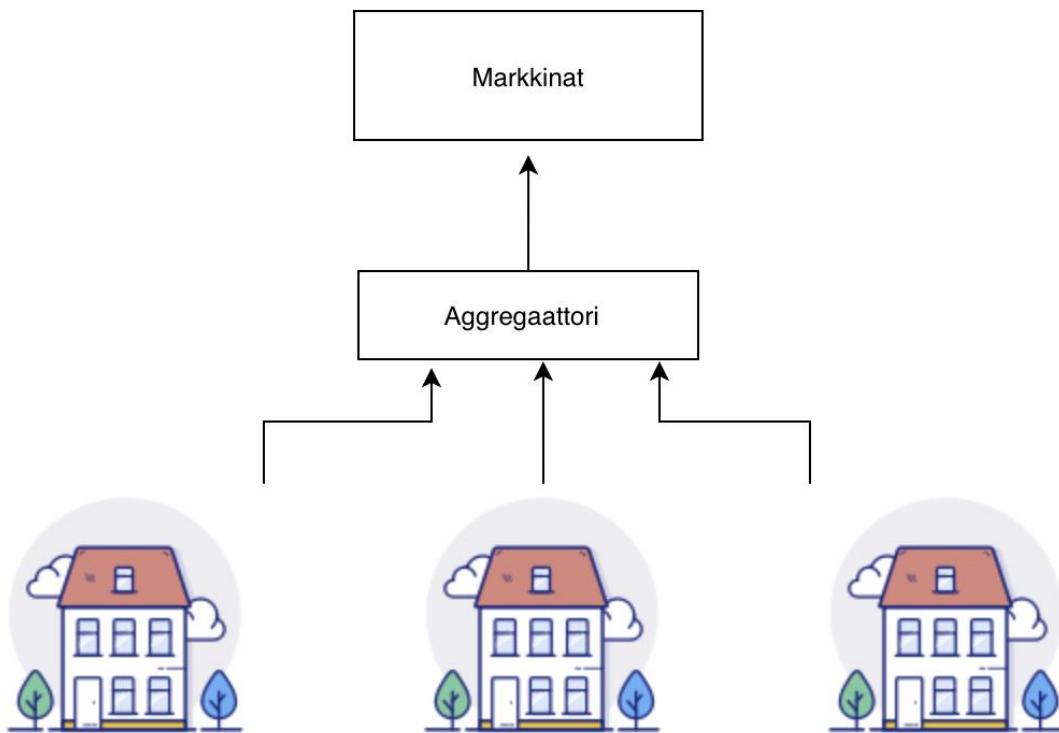
Suomessa suurteollisuuden mahdolliset kulutusjoustopotentiaalit ovat käytössä lähes kokonaan jo tänä päivänä. Sähkölämmitteisissä yksityisissä kiinteistöissä on paljon mahdollista säätöpotentiaalia, mitä ei vielä tänä päivänä olla kyetty hyödyntämään kulutusjoustopotentialia parhaalla mahdollisella tavalla. Yksityisiä sähkölämmitteisiä asuintalokiinteistöjä on Suomessa noin yli 600 000, joissa on yhteensä arviolta 600–1200 MW mahdollista ohjattavaa kuormaa riippuen onko kesä tai talvi. Nykyään talviaikoina aikaohjautuvat sähkölämmitykset aiheuttavat suuria tehopiikkejä, mitkä vaikuttavat suuresti kantaverkon tehotasapainon ylläpitoon. Sähkölämmityksen säätäminen älykkäässä kulutusjoustopotentialissa on suuri mahdollisuus tulevaisuuden kulutusjoustomarkkinoilla, koska sähkölämmitystä on nopeaa ohjata, mutta se ei vaikuta sähkönkuluttajaan haitallisesti tai vaadi suuria lisäinvestointeja. (Koponen ym. 2006)

Sähköautot ja pientuotanto yksityisissä kiinteistöissä on kasvamassa merkittävästi lähitulevaisuudessa teknologian ja sähkömarkkinain murroksen seurauksena. Sähköauton älykäs lataus tarjoaa auton omistajalle mahdollisuuden hyödyntää omaa auton latausta kulutusjoustomarkkinoilla, sekä auton akkua osana omaa energiavarastoa. Kotiautomaatiojärjestelmän avulla pientuotannon kuten esimerkiksi aurinkopaneelijärjestelmän yhdistäminen akkuvarastoon, energianhallintajärjestelmään ja sähköautoon tuo yksityisen kiinteistön omistajalle mahdollisuudet osallistua kulutusjoustomarkkinoille jo tänä päivänä. Tällöin akut voidaan ladata, kun sähkö on edullista ja käyttää akuissa olevaa energiaa, kun sähkö on kallista. (Järventausta ym. 2015) (Energiateollisuus)

Yksityisten kiinteistöjen osallistuminen kulutusjoustomarkkinoille tai säätösähkömarkkinoille vaatii joissakin markkinapaikoilla suurempia kuormia mitä yksityisen kiinteistön kuten omakotitalon pientuotanto tai kuormien ohjaus kattaa. Asiakas voi kuitenkin osallistua kulutusjoustomarkkinoille aggregaattoreiden eli pienempien asiakkaiden kulutusta, tuotantoa tai energiavarastoja yhdistävän markkinaosapuolen avulla (Kuva 2.10). Aggregaattorit voivat olla sähkönmyyjä, tasevastavia tai itsenäisiä toimijoita. Itsenäisellä aggregaattorilla tarkoitetaan toimijaa, joka voi toimia markkinoilla ilman että sillä olisi mitään yhteyttä asiakkaan sähkönmyyjään tai tasevastaavaan. Itsenäisten aggregaattoreiden lisääntyvä toiminta tuo yksityisten kiinteistöjen sähkönkäyttäjille lisää mahdollisuuksia osallistua kulutusjoustomarkkinoiden eri osa-alueille ja tätä kautta laskea sähkömarkkinahintaa, vähentää asiakkaiden käyttökustannuksia ja vähentää päästöjä, mikäli aggregaattoreiden toiminta tapahtuu oikein. (Pahkala ym. 2017)

Aggregointi kaikilla sähkömarkkinapaikoilla on jo nyt sallittua. Suomessa itsenäisen aggregaattorin toiminta on sallittu taajuusohjatuissa reserveissa (FCR-N, FCR-D, FFR).

Mikä on vaikuttanut jo markkinoiden hintojen laskuun (Kuva 2.4) (Fingrid 2020). Lähivuosina itsenäisen aggregaattorin osallistumisesta muillekin Fingridin reservimarkkinoille on mahdollista. Itsenäisten aggregaattoreiden toiminnalla voi olla kuitenkin haittaa sähkömyyjälle ja tasevastaavalle. Suomen työ- ja elinkeinoministeriön tekemässä julkaisussa käsiteltiin kolme havainnollistavaa tapausta, missä käsiteltiin itsenäisen aggregaattorin toiminnan vaikutuksia Sähkömyyjän tasevirheeseen. Mikäli ulkopuolinen itsenäinen aggregaattori tekee itse tarjouksen joustavasta kuormasta, sähkömyyjän taseeseen aiheutuu merkittävästi tasevirhettä. Jotta itsenäisen aggregaattorin toiminnasta ei aiheudu haittaa sähkömyyjälle tulee itsenäisille aggregaattoreille tehdä selvät markkinasäännöt. (Pahkala ym. 2017)



Kuva 2.10 Aggregaattori yhdistää pienempien talouksien kulutusjoukot ja vie sen asiakkaiden puolesta markkinoille (Pahkala ym. 2017)

Tulevaisuudessa yksityiset kiinteistöt voivat osallistua kulutusjoustomarkkinoille monipuolisemmin muodostamalla energiayhteisöjä. Energiayhteisöt voivat olla kiinteistön sisäinen energiayhteisö (kerrostalo), kiinteistön rajat ylittävä energiayhteisö (omakotitaloalue) tai hajautettu energiayhteisö. Yhteisöjen ei tulisi vaikuttaa markkinoiden kilpailun tasapuolisuuteen, eikä vaikuttaa yhteisön jäsenien maksamiin verkkopalvelumaksuihin tai veroihin. Energiayhteisöihin perustuvissa piloteissa ja hankkeissa on huomattu energiayhteisöjen kasvattavan yksityisten asiakkaiden investointeja ja hyväksyntää paikalliseen uusiutuvan energiantuotantoon liittyen. (Honkapuro ym. 2020)

Energiayhteisöihin liittyviin käytäntöihin tai toimintatapoihin liittyy vielä lakiin sisältyviä haasteita. EU-lainsäädäntö ajaa energiayhteisöjen kannattavuutta Euroopan komission puhtaan energian paketissa. Lain salliessa energiayhteisöt toisivat yksityisille asiakkaille mahdollisuuden suuremman aurinkovoimalan investointiin, kun investointikustannukset jakautuisivat yhteisön kesken, tämä pienentäisi yksittäiskustannuksia ja lisäisi uusiutuvan

energian tuotantoa. Suuremman kokoluokan sähkö- tai energiavaraston liittäminen osaksi yhteisön aurinkovoimalaa toisi jäsenille myös lisää sähkön toimitusvarmuutta. (Pahkala ym. 2017) (Direktiivi 2019/944/EU)

Investoimalla kotiautomaatiojärjestelmään ja omaan energian tuotantoon mahdollistuu yksityisten kotitalouksien osallistuminen kulutusjoustoan laitteiden aikaohjauksella. Aikaohjattavia kuormia mitä yksityisistä kotitalouksista löytyy tänä päivänä ovat sähkölämmitys, ilmanvaihto, jäädytys, lämminvesivaraaja, kodinkoneet, auton lämmitys ja sähköauton lataus. Näiden kaikkien laitteiden käytön aikaohjaukselta on mahdollista siirtää ajankohdalle, jolloin sähkö on edullisempaa. Tällöin vaikutat omaan osallistumiseesi kulutusjoustoan, kun kulutat sähkön ollessa edullista. (Motiva 2021). Yksityisten kotitalouksien hyötyminen taloudellisesti kulutusjoustoan on mahdollista, kun kuormia voidaan säätää automaation avulla siten, että kulutus painottuu edullisiin Spot-markkinahintojen ajankohtiin (Karppinen 2020).

2.1.4 Spot-markkinoilla

Päivittäisestä sähkökaupasta lähes 84 % (vuonna 2012) tapahtuu pohjoismaiden yhteisillä Elspot-markkinoilla ja Elbas-markkinoilla. Elspot-markkinoilla sähkökauppa käydään seuraavan päivän tunneille edellisen päivän kello 13 mennessä, kun taas Elbas-markkinoilla kauppaa voi käydä vähintään tunnin haluttua toimitustuntia aikaisemmin. Elspot-hinnat ja hyväksytyt kaupat julkaistaan seuraavan päivän sähkökaupoista aina klo 14 edellisenä päivänä. Elbas-markkinoiden hinnat ja toteutuneet kaupat julkaistaan, kun kauppoja Elbas-markkinoilla on syntynyt. (Järventausta ym. 2015)

Elspot-markkinat mahdollistavat myös pienempien asiakkaiden tai energiakapasiteettien omistajien kaupankäynnin markkinoilla, koska vähimmäiskapasiteetti kerrannaisilla kaupankäynneillä on 0,1 MW. Elbas-markkinoilla minimikapasiteetti kaupankäyntikerralla on 1,0 MW. Spot-markkinoita verrattaessa esimerkiksi reservimarkkinoihin eivät spot-markkinat aseta niin merkittäviä vaatimuksia kulutusjoustoan kapasiteetin koolle tai säädettävyysherkkyydelle. Taulukosta 2.1 nähdään tärkeimmät kaupankäyntiehtot spot-markkinoilla. (Järventausta ym. 2015)

Kulutusjoustomarkkinoilla Day-ahead markkinoita eli Elspot-markkinoita voidaan tulevaisuudessa hyödyntää AMR-mittareiden ohjausreleen avulla. Toimiakseen saumattomasti täytyy ohjaussignaaleja sähkönmyyjien ja verkkoyhtiöiden välillä vielä parantaa. Sähkölämmitys ja lämminvesivaraajakuorman ohjattavuus olisi nopeasti käytettävissä ja hyödynnettävissä Elspot-markkinoilla. Ohjattavaa kapasiteettia AMR-mittareihin kytketyissä ohjausreleen kautta ohjattavissa olevaa kuormaa olisi yli 1000 MW. (Järventausta ym. 2015)

Sähköpörssin spot-hintaan perustuvia sähkösopimuksia tarjoaa Suomessa lähes jokainen sähkönmyyjä. Spot-hintaan perustuviin sähkösopimukseen sisältyy perusmaksu €/kk, marginaali snt/kWh ja pohjoismaisen sähköpörssin mukaan määräytyvä spot-tuntihinta snt/kWh (Karppinen 2020).

Taulukko 2.1 Kaupankäyntiehdit Elspot- ja Elbas-, sekä tasehallintamarkkinoilla (Järventausta ym. 2015)

	Elspot-markkina	Elbas-markkina	Elbas-markkina
Vähimmäiskapasiteetti	kaupankäynti 0.1 MW kerrannaisilla	Kaupankäynti 1.0 MW kerrannaisilla	-
Kaupankäynnin sulkeutuminen	Kaupankäynti seuraavan päivän tunneille sulkeutuu 13:00 Suomen aikaa	1 h ennen toimitustunnin alkua	Ohjaamalla DR-resursseja toimitustunnin loppuun saakka
Vaatus aktivoitumisajalle	12 h	1 h	Pystyttävä säätämään lähellä toimitushetkeä, ei tarkkaa vaatimusta

2.2 Energianhallintajärjestelmät

Energiamarkkinoiden muutos ja kasvava primäärienergiantarve, niukentuvat energiavarat, kestävä kehityksen varmistaminen ja ilmastonmuutoksen rajoittaminen lisäävät energiatehokkuuden parantamiselle tavoitteita. Sekä suurilla yrityksillä, että yksityisillä kotitalouksilla on mahdollisuus parantaa energiatehokkuuttaan ja tätä myötä hyötyä siitä taloudellisesti. Energianhallintajärjestelmillä suuret yritykset eli yritykset, joissa työskentelee yli 250 henkilöä, tai vuosittainen liikevaihto on yli 50 miljoonaa euroa ja tase 43 miljoonaa euroa voivat vapautua energiantehokkuuslakivelvoitteesta energianhallintajärjestelmällä. (Motiva 2018). Yksityiset kotitaloudet voivat myös hyötyä taloudellisesti säästämällä energialaskussa energianhallintajärjestelmän avulla (Motiva 2019).

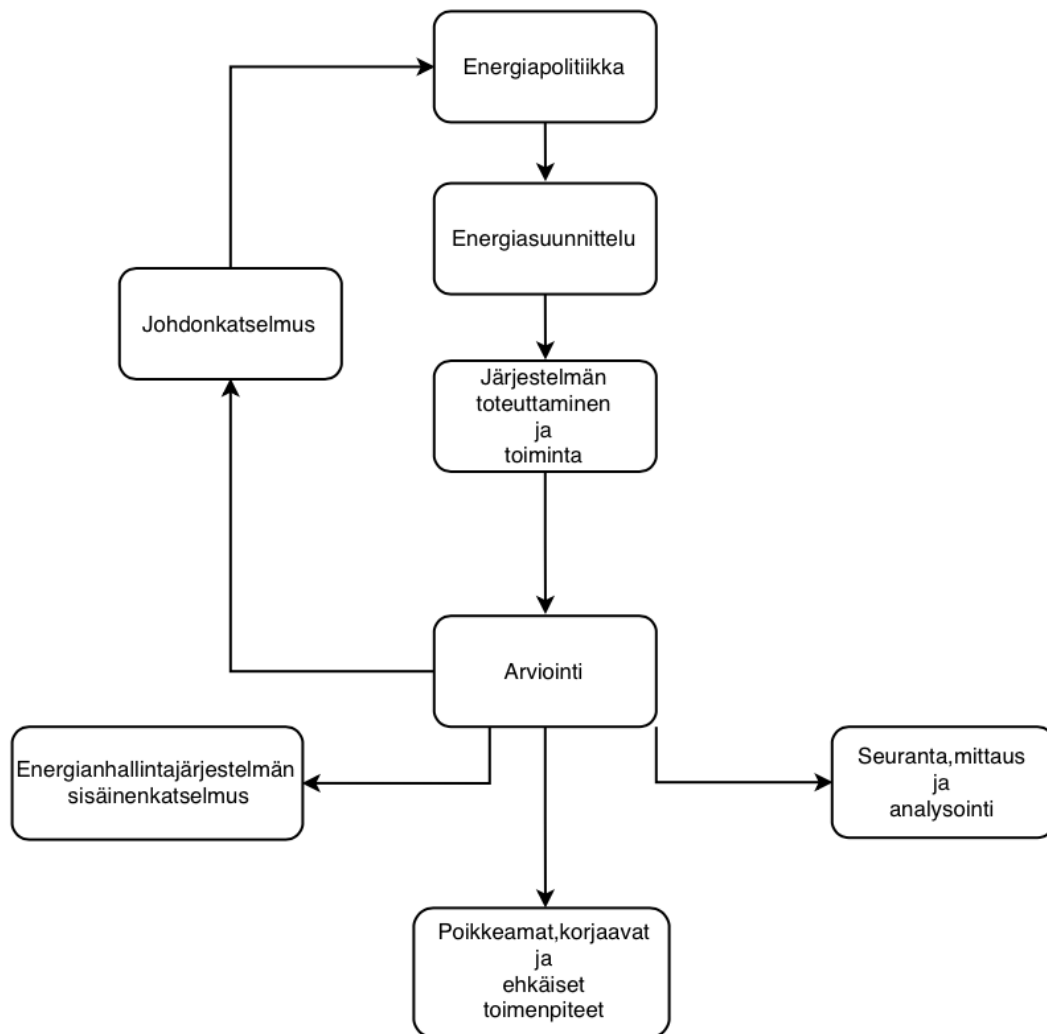
2.2.1 Suuret yritykset

Suuret yritykset ovat vuodesta 2015 alkaen velvoitettu toteuttamaan lakisääteistä energiatehokkuuslain mukaista energiankatselmusta. Yritykset, jotka sitoutuvat energiatehokkuussopimukseen ja hyödyntävät ETJ+ -energianhallintajärjestelmää, mikä perustuu ISO 50001 -standardin johtamisjärjestelmään voivat vapautua energiantehokkuuslakivelvoitteesta. Yrityksellä tulee olla energiankatselmukselle Energiaviraston pätevyyden myöntämä vastuuhenkilö. Vastuuhenkilö voi olla yrityksen oma työntekijä tai vastuuhenkilö voi tulla ulkopuoliselta palveluntarjoajalta. (Motiva 2018)

Energiantehokkuusjärjestelmä ETJ+ on Motivan, sertifiointiyritysten, Energiaviraston ja työ- ja elinkeinoministeriön yhteistyönä laadittu työkalu energiantehokkuuden parantamiseen. ETJ+ auttaa yritystä jatkuvaan energiatehokkuuden parantamiseen ja energiankulutuksen ja kustannusten vähentämiseen. (Motiva 2015)

Energiatehokkuuden on tarkoitus edistää yrityksen tuotantotehokkuutta ja kilpailukykyä. Energianhallinta ja energiatehokkuuden jatkuva parantaminen vaatii yritykseltä:

- Johdon sitoutumista energiatehokkuuden kehittämiseksi
- Vaikutukset kustannuksiin, investointeihin, toimintatapoihin ja ympäristöön
- Tavoitteiden ja strategian asettamista ja seuraamista
- Oman energiankäytön ja energiansäästömahdollisuuksien tuntemista
- Energiatehokkuusjärjestelmän jatkuvan parantamisen prosessia (Kuva 2.11) (Motiva 2015)



Kuva 2.11 Jatkuvan parantamisen periaatteen prosessi energiatehokkuusjärjestelmässä (Energiatehokkuusjärjestelmä: 2014 (ETJ+) 2015, 6)

2.2.2 Kotitaloudet

Suomalaisten kotitalouksien sähkönkäyttö suuritehoisilla laitteilla näkyy sähköverkon vuorokautisessa kokonaiskulutuksessa. Kulutushuiput näkyvät piikkeinä sähkön pörssihinnassa, mikä vaikuttaa jokaisen suomalaisen sähkön hinnoitteluun. Ohjaamalla laitteiden aikaohjausta automaatiolla kulutuskuormia voisi helposti siirtää edullisempiin ajankohtiin. (Motiva 2020)

Kodin energianhallintajärjestelmillä (HEMS, Home Energy Management System) voidaan hyödyntää etälukumittareiden kuormienohjausta älykkäästi. Energianhallintajärjestelmien tavoite on kertoa käyttäjälleen, miten hän kuluttaa energiaa reaaliaikaisesti ja milloin käyttäjän tulisi käyttää tiettyjä kuormia säästääkseen energiankulutuksessa. Toimiakseen energianhallintajärjestelmät tarvitsevat kiinteistöautomaatiota. Kiinteistöautomaatiojärjestelmät eivät välttämättä pidä sisällään energianhallintajärjestelmien toimintoja. (Salonen 2017)

Kotitalouksien energian käytön seuranta tulee helpottumaan 2020-vuosikymmenen aikana, kun seuraavan sukupolven älymittarit korvaavat nykyiset etäluettavat mittauslaitteet. Suomen valtion tulee varmistaa, että uuden sukupolven mittarit toimivat kuluttajien energianhallintajärjestelmien kanssa eli täyttävät vaativat standardit. Uuden sukupolven mittareiden mahdollistamat reaaliaikaiset täsmälliset lukemat energian käytöstä helpottaisivat asiakkaiden energianhallintaratkaisujen toteuttamista. (Pöyry 2017)

3. MARKKINAKATSAUS

3.1 Markkinatilanne Suomessa

3.1.1 Yleistä

Suomen sanotaan olevan kulutusjoustossa edelläkävijä toimivien markkinoiden ja kehittyneen infrastruktuurin ja sähköverkkojen ansiosta. Tänä päivänä vain suuret sähkökuluttajat voivat osallistua Fingridin reservimarkkinoille, koska vaaditaan suuria joustokapasiteetteja. Pienemmän kokoluokan sähkön käyttäjien kuten yksityistalouksien osallistuminen Fingridin reservimarkkinoille ei vielä tänä päivänä ole mahdollista. Yksityisille kotitalouksille ei ole vielä markkinapaikkaa, mitä kautta he voisivat tarjota sähkö- tai energiakapasiteettiaan kulutusjoustoan. Suomessa yksityiset taloudet voivat vaikuttaa omaan sähkökulutusjoustoan pörssisähkösopimuksien kautta, mitä tarjoaa useampi sähkön myyjä Suomessa. Sähkön pörssisopimus kannustaa kuluttajaa käyttämään sähköä, kun sähkön hinta on alhainen eli muulloin kuin sähkön kulutuksen huippukuorman aikoina. Tämä edistää kulutusjoustoja sähköjärjestelmässä.

Energiankulutuksen seuranta ja ohjausta mahdollistavia energianhallintajärjestelmiä tarjoavien toimijoiden määrä on kasvanut suuresti ja järjestelmiä on tarjolla erilaisia sekä suurille toimijoille, että yksityisille kotitalouksille. Nämä järjestelmät tulevat saamaan lisää arvoa, kun kulutusjoustosta tulee vakituinen osa energiajärjestelmää, myös pienempien kuluttajien osalta. Kulutusjoustossa suuressa roolissa tulevat olemaan palvelut, jotka tarjoavat kuluttajille helpon tavan osallistua kulutusjoustomarkkinoille.

3.1.2 Toimijoita

Suomessa sähkön kulutusjoustoan osallistumiseen tarjoavia toimijoita tänä päivänä ovat energiayhtiöt, ICT- ja rakennusautomaatio-toimijat ja alan startup-yritykset (Annala 2020). Yritysten sähkön tarjoamisesta kulutusjoustoan esimerkiksi jakeluverkkoyhtiön tai kantaverkkoyhtiön käyttöön ansaitsee yritys korvauksen joustoan osallistumisesta. Sähkön kulutuksen joustamisesta yritys voi ansaita, jopa sata tuhatta euroa (Helen). Yritykset voivat tarjota Fingridin reservimarkkinoiden käyttöön paljon sähköä kuluttavia laitteita, ilman että niiden käytöstä osana kulutusjoustoaa ei koidu haittaa yritykselle ja tästä Fingrid maksaa korvauksen (Turku Energia).

Siemensin tytäryhtiön Vibeco:n tarjoamalla virtuaalivoimalaitoksella kiinteistön sähkökulutukseen vaikuttavat laitteet voidaan saada mukaan kulutusjoustoan. Virtuaalivoimalaitos on sähkökuormia hallitseva ohjelmistoalusta ja se on yhteydessä Fingridin kulutusjoustomarkkinoihin. Virtuaalivoimalaitokseen voi yhdistää halutut laitteet, sekä myös aurinkosähköjärjestelmät, sähkövarastot ja sähköautot ja niiden latausinfrastruktuuri. (Siemens). Myös kotitalouksille on mahdollista osallistua kulutusjoustoan esimerkiksi älykkäällä lämminvesivaraajan ohjauksella. Joustopotti on Nivoksen ja Fortum Springin tuottama palvelu, joka säätelee lämminvesivaraajan käyttöä yöllä, kun sähkö on edullista ja uusiutuvaa energiaa on tarjolla. (Nivos 2018)

EnerKey on yksi johtavista energianhallintajärjestelmäpalveluiden tarjoajista Suomessa. EnerKey tarjoaa älykkäitä ratkaisuita energian käytön hallitsemiseen ja seurantaan. EnerKey tarjoaa pilvipohjaisia alustaratkaisuja yrityksille ja energiayhtiöille. Suomessa EnerKeyn energianhallintapalveluita on käytössä yli 1000 asiakkaalla mm. Kesko, S-ryhmä ja Kone (EnerKey). Nuuka Solutions on suomalainen ohjelmistoyritys, joka tarjoaa kiinteistöihin energianhallintajärjestelmiä. Nuuka Solutionsin järjestelmät vastaavat Helsingin kaupungin energianhallinnasta yli 1000 julkisessa palvelurakennuksessa, sekä pilotoi seitsemää palvelukiinteistöä kulutusjoustoan Fingridin FCR-N-markkinoilla. (Nuuka Solutions)

Saksalainen virtuaalisia voimalaitoksia ja aggregointia tarjoava yritys e2m yhteistyössä Savon Voiman kanssa valmisti virtuaalisen voimalaitoksen Suomeen. Virtuaalisen voimalaitoksen tarkoituksena on optimoida energian kulutusta ja tuotantoa. Yhteistyön tarjoaa yrityksille ja joustaville energiankuluttajille mahdollisuuden osallistua Fingridin reservimarkkinoille. (e2m 2017)

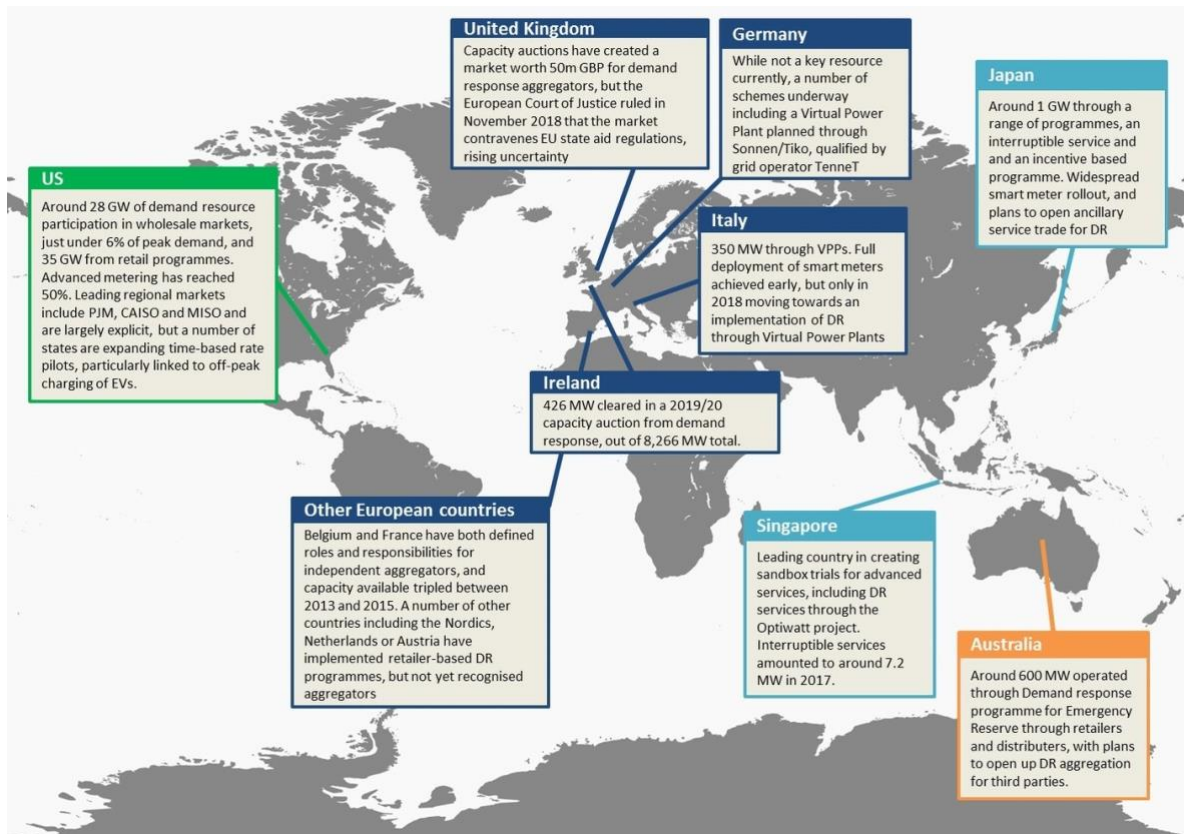
OptiWatti on suomalainen älykäs sähkölämmitysjärjestelmän ohjausjärjestelmä. Järjestelmän avulla voidaan ohjata ja seurata huonekohtaisia lämpötiloja ja tätä kautta säästää lämmityskuluissa. OptiWatti asennetaan lämmitysjärjestelmän yhteyteen ja se ohjaa internetin, releiden ja antureiden avulla lämmitystä. OptiWatti toimii sekä kiinteähintaisen, että tuntihintaisen sähkösopimuksen kanssa. Tehokkaimmillaan OptiWatti toimii tuntihinnoitellun pörssisähkösopimuksen yhteydessä, missä se seuraa Nordpoolin pörssin hintavaihtelua ja ohjaa lämmitystä edullisimpien tuntien mukaisesti. (OptiWatti)

- Toimijoita mm.
 - Siemens (Siemens)
 - Joustopotti (Nivos)
 - EnerKey (EnerKey)
 - Nuuka Solutions (Nuuka Solutions)
 - E2m (e2m 2017)
 - OptiWatti (OptiWatti)

3.2 Markkinatilanne maailmalla

3.2.1 Yleistä

Kulutusjousto (DR, Demand Response) on myös muualla maailmalla kovassa nosteessa. Suurimmat toimijat maailmalla kulutusjoustomarkkinoista löytyvät Iso-Britanniasta, Yhdysvalloista, Keski-Euroopasta, Australiasta ja Japanista (Kuva 3.1). Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa on käytössä jo omia markkinapaikkoja kulutusjoustoille (Cleantech 2020). Maailman kulutusjouston hallintajärjestelmien markkinoiden arvioidaan kasvavan vuoden 2020: 1.8 miljardista dollarista 13.9 miljardiin dollariin vuoteen 2027 mennessä (Report Linker 2020).



Kuva 3.1 Valittuja kulutusjoutoprojektien aloitteita maailmalta (IEA 2020).

3.2.2 Toimijoita

Next Kraftwerke on yksi Euroopan suurimpia virtuaalisen voimalaitoksien ja aggregointi palveluiden tarjoajista. Next Kraftwerke yhdistää sähköntuottajat, -kuluttajat ja sähkövarastot osaksi kulutusjoustoa. Next Kraftwerke:llä on vahva asema Euroopan, Pohjois-Amerikan ja Aasian markkinoilla (Next Kraftwerke) (Cleantech 2020). GridBeyond on Iso-Britanniassa ja Irlannissa toimiva yritys, mikä toimii verkkoyhtiöiden kanssa yhteistyössä ja tarjoaa niille ratkaisuja kulutusjoustoon. GridBeyond:in Point on palkittu energia älyteknologia-alusta, mikä yhdistää energia käyttäjä-, tuottaja- ja varasto toimijat kulutusjoustopalveluiden hallintaan. GridBeyond toi markkinoille ensimmäisenä hybridiakku kysyntäverkoston, minkä tarkoituksena on parantaa kulutusjoustopalveluita, vähentää paikan päälle asennettavan akun taloudellisia riskejä ja parantaa verkon kestävä kehityksen tavoitteita. (GridBeyond)

Piclo on Iso-Britanniassa toimiva yritys, mikä tarjoaa kulutusjoustolle oman markkinapaikan. Piclo tarjoaa markkinapaikan myös kulutusjoustoa mahdollistaville aggregaattoreille. Piclo omistaa suuren osan Iso-Britannian kulutusjoustopalveluiden markkinoista ja sillä on tällä hetkellä yli 300 kulutusjoustoon osallistuvaa toimijaa ja yli 10 GW joustokapasiteettia markkinoilla (Piclo) (Piclo flex). Leap on Pohjois-Amerikassa toimiva yritys, mikä tarjoaa myös kulutusjoustolle markkinapaikan. Leap:in virtuaalinen voimalaitos tarjoaa kuluttajille ja sähköverkkoyhtiöille markkinapaikan, jossa he voivat hyötyä taloudellisesti kulutusjoustostaan (Leap). Muita maailmalla toimivia kulutusjoustopalveluiden aggregointi-virtuaalivoimalaitos toimijoita mm. Kiwi Power, Open energi, Enbala ja GreenSync (Cleantech 2020).

Enel X on maailman johtava yritys kulutusjoustomarkkinoissa omistaen 12 % maailman kulutusjoustomarkkinoista 6.3 GW kapasiteetilla (Enel X 2020). Enel X on myös maailman johtavia yrityksiä sähkövarastojärjestelmien integroimisessa osaksi sähköverkoja ja hajautettua energiantuotantoa (DER, Distributed Energy Resources) (Enel X 2020). Enel X tarjoaa myös asiakkailleen hajautetun energiantuotannon energianhallintajärjestelmiä (DERMS, distributed energy resource management system). Energianhallintajärjestelmät tulevat olemaan suuressa roolissa, kun energiajärjestelmät muuttuvat. Enel X:n energianhallintajärjestelmä DER.OS tuo mahdollisuuden käyttäjälle osallistua kulutusjoustoan ja ansaita järjestelmällään teknillisesti ja taloudellisesti. (Enel X 2020)

Myenergi on Iso-Britannialainen yritys, mikä valmistaa laitteita aurinkovoimalan ylijäämäenergian hyödyntämiseksi lämmitykseen tai sähköautonlataukseen. Myenergin laitteet mahdollistavat älykkään kuorman ohjauksen ja älykkään sähköautonlatauksen hyödyntäen mahdollisimman paljon omatuotantoa. (Myenergi)

- Toimijoita mm.
 - Next Kraftwerke (Next Kraftwerke)
 - GridBeyond (GridBeyond)
 - Piclo (Piclo)
 - Leap (Leap)
 - Enel X (Enel X)
 - Myenergi (Myenergi)

3.3 Markkinoiden suunta tulevaisuudessa

VTT ja Vaasan yliopisto kehittivät kulutusjoustoille oman markkinapaikan Fleximar hankkeessa, mikä voisi tulevaisuudessa helpottaa jokaisen kuluttajan osallistumista kulutusjoustoan. Hankkeen tavoitteena on tuoda kuluttajille aktiivisempi rooli säätomarkkinoille ja mahdollisuus oman tuotannon myymiseen markkinoilla ilman välikäsiä. Markkinapaikkaa pilotoidaan kumppaniyritysten kanssa ja markkinat perustuvat älykkäisiin botteihin ja reaaliaikaiseen hinnoitteluun ja kuormien alueelliseen ohjaukseen. (VTT 2019)

Tänä päivänä maailman kulutusjoustopotentiaalista on käytössä vain alle 2 %. Suuret öljy-yhtiöt ovat alkaneet sijoittamaan teknologioihin, mitkä ovat yhteydessä kulutusjoustoan. Aggregaattorit ja virtuaaliset voimalaitokset tulevat olemaan suuressa roolissa kulutusjoustoan tulevaisuudessa. Hallitusten ja sääntelyviranomaisten tulisi joustaa enemmän kulutusjoustoan mahdollistavien toimijoiden pääsystä käsiksi kuluttajiin, jotta kulutusjousto voitaisiin mahdollistaa paremmin. Tätä myötä kuluttajat voisivat osallistua helpommin kulutusjoustoan ja sitä myötä osallistua myös markkinoille. (IEA 2020)

Kulutusjoustoan osallistuminen tulee vaatimaan yrityksiltä aluksi investointeja toimiakseen, mutta pitkässä juoksussa se tulee tarjoamaan taloudellisia ratkaisuja sekä yrityksille, että valtion taloudelle. Kulutusjoustomarkkinat voivat toimia samalla markkinapaikalla sähkön tuotannon kanssa. Kulutusjoustoan osallistuminen tulee tarkoittamaan pääosin muutamien sekuntien joustoja verkosta tai harvemmin pidempiä keskeytyksiä. Kun kulutusta voidaan säätää joustavasti ei keskeytyksille ole mahdollisesti lainkaan tarvetta. (Fingrid 2020)

Suurin osa kulutusjouston palveluista tulee perustumaan kuormien vähentämiseen järjestelmästä vuoteen 2030 asti. Kulutusjouston hyödyntäminen uusiin palveluihin voisi lisätä tuloja, vähentää siirtomaksuja ja tarjota hajautetulle energiantuotannolle enemmän taloudellisia mahdollisuuksia (IEA 2020). Tällaisia uusia palveluita voisi olla energiayhteisöt, joiden kautta voisi parantaa verkkojen toimintavarmuutta, mikä vähentää verkkoihin tehtäviä kalliita investointeja mitkä nostavat siirtomaksujen hintaa.

4. KULUTUSJOSTON KUORMIEN SÄÄDÖN RATKAISUJA

Kulutusjousto tarvitsee toimiakseen kuormia, joiden käyttöä voidaan joustaa älykkäästi verkon tehotasapainon säilyttämiseksi. Älykäs sähköverkko tarvitsee älykkäät komponentit ja alustan, jotta kulutusjoustosta ei koidu haittaa vaan hyötyä siihen osallistuville. Kulutusjouston toiminnan kannalta myös energian varastoiminen eri energian muotoihin on, myös tärkeää kun energian tuotanto on yhä enemmän hajautettua ja sääriippuvaista.

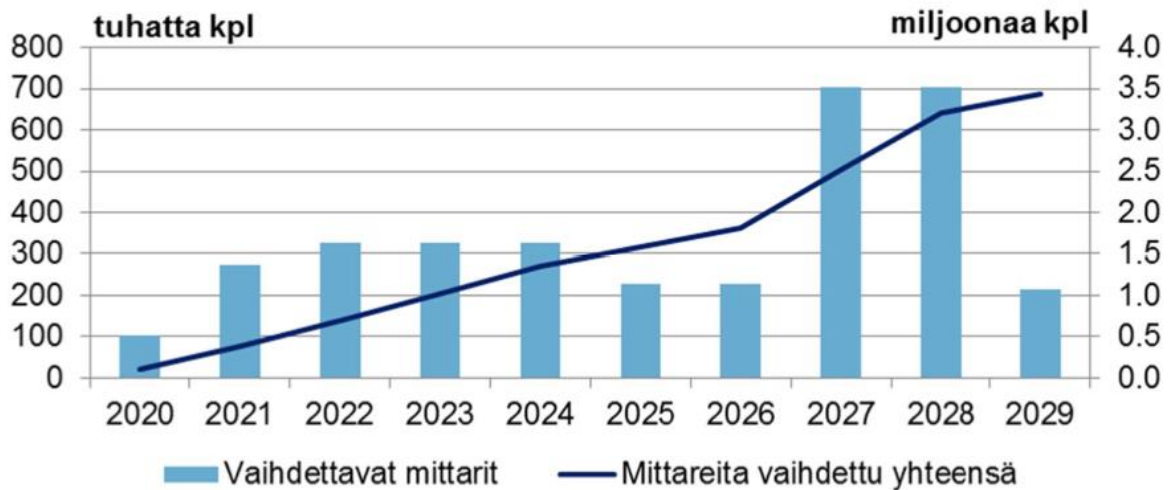
4.1 Uuden sukupolven älymittarit (AMR 2.0)

Seuraavan sukupolven älymittareiden tarkoituksena on tuottaa asiakkaille laadukkaampaa tietoa omasta sähkönkulutuksestaan, sekä mahdollisuuden seurata tietoja sähköntoimituksesta ja sähkönlaadusta. Kulutusjouston kannalta seuraavan sukupolven mittareiden tulee mahdollistaa asiakkaan oman sähköntuotannon kaupankäynti markkinoilla. (Pahkala ym. 2018)

Seuraavan sukupolven älymittareiden tulee mahdollistaa dynaamisempi kuorman ohjaus asiakkaille, kenellä on suuria ohjattavia kuormia. Nykyisen yösähköohjauksen poistuessa dynaamisella kuormanohjauksella saadaan yösähköohjauksen piirissä olleet asiakkaat helposti kulutusjoustoön mukaan. Mittareiden kautta ohjattavia kuormia on yhteensä noin 1800 MW, mikä olisi merkittävä lisä kulutusjouston tehokkaan toiminnallisuuden kannalta. (Pahkala ym. 2018)

Jakeluverkkoyhtiöiden tulee tarjota seuraavan sukupolven älymittareille standardisoitu rajapinta ja tekninen alusta. Tämä mahdollistaa sähkönmyyjille ja palveluntarjoajille kuten esimerkiksi aggregaattoreille tarjota asiakkaille kulutusjoustopalveluita. Seuraavan sukupolven mittareiden tulee kyetä nykyisiä mittareita parempaan energiatietojen rekisteröintitiheyteen, jotta vartitaseeseen tai jopa lyhyempään tasejaksoon siirtyminen mahdollistuisi. (Pahkala ym. 2018)

Suomessa seuraavan sukupolven älymittareiden asennukset tulevat tapahtumaan 2020–2029 välisenä aikana (Kuva 4.1) (Pahkala ym. 2018). Älymittareihin perustuvia pilotteja on suomessa tehty jo aikaisemmin. Elenia asensi yhdessä Soneran ja energianmittaukseen erikoistuneen Aidonin kanssa sähköverkkoonsa vuonna 2017. Uuden sukupolven sähkömittareita asennettiin noin 30 000 pääosin kerrostaloihin. Älymittausjärjestelmä mahdollistaa asiakkailleen reaaliaikaiset palvelut ja mahdollisuuden yhdistää mittari kotiautomaatiojärjestelmään. (Elenia 2017)



Kuva 4.1 Seuraavan sukupolven älymittareiden asennus määrä suunnitelma vuosittain (Pöyry 2017)

Italiassa ensimmäisen sukupolven älykkäiden sähkömittareiden asentaminen aloitettiin jo 2000-luvun alussa. Viimevuosien aikana on Italiassa aloitettu seuraavan sukupolven älykkäiden mittareiden asennushanke. Italiassa tavoitteena on, että yli 40 miljoonaa uudensukupolven älymittaria on asennettuna vuoteen 2031 mennessä. Italiassa kehitys on ollut älykkäisiin sähköverkkoihin tehokasta ja tämä johtuu jakeluverkkoyhtiöiden vastuusta päivittää verkkoa. Italiassa sähköverkkoyhtiöistä Enel Distribuzionen suuri osuus 86 % markkinoista myös edesauttaa nopeaa kehitystä. Italian uuden sukupolven älymittarit tulevat pystymään tehotiedon 1 s päivitystaajuuteen. (Pöyry 2017)

Isossa-Britanniassa sähkön myyjät ovat vastuussa uuden sukupolven älymittareiden käyttöönotossa. Lisenssiehtoihin perustuen sähkönmyyjien tavoitteena oli asentaa kaikkiin kotitalouksiin ja pienyrityksiin uuden sukupolven älymittarit vuoteen 2021 mennessä. Iso-Britanniassa kaikilla asiakkaila kenellä on älymittari, on käytössä 30 minuutin tasejakso. (Pöyry 2017)

Haasteena uuden sukupolven älymittareissa on tietoturvatietojen takaaminen. Kun älymittari on yhteydessä verkkoon, tulee sen taata käyttäjälle tietoturva asiattomien pääsystä henkilötietoihin (Pöyry 2017). Haasteena on myös asiakkaat, jotka eivät suostu käyttämään uuden sukupolven älymittareiden ohjaustoimintoja joutuvat maksamaan siirtomaksuissaan kulutusjoustoon kieltäytymisestä. Näitä syitä voivat olla esimerkiksi riippuvuus asumismukavuudesta. (Pahkala ym. 2018)

4.2 Energiavarastot

Energiavarastoista voidaan hyötyä usealla eri tavalla kulutusjoustossa, tulevaisuuden energiamarkkinoilla ja uusiutuvan energian tuotannossa. Energiavarastoista voivat hyötyä niin kuluttajat, tuottajat, verkkoyhtiöt kuin myös esimerkiksi tasevastaavat. Akkuvarastojen hinnat ovat tulleet paljon alaspäin teknologian kehittyessä, mikä mahdollistaa akkuvarastoista hyötymisen myös taloudellisesti. (Honkapuro ym. 2020)

Energiavarastoista etenkin akkuvarastoista voidaan tehoa siirtää nopeasti, mikä mahdollistaa akkujen käytön tehotasapainon säätämisessä. Esimerkiksi taajuussäädössä akkujen käytössä

on paljon potentiaalia. Akkuvarastoja voidaan ladata, kun taajuus nousee korkeaksi eli tuotantoa on liikaa, jolloin saadaan varastoitua energiaa eikä tuotantoa tarvitsisi ajaa alas. Varastoihin ladattu energia voidaan ottaa käyttöön, kun taajuus laskee liian alas, eli kun kulutusta on liikaa, tällöin ei tarvitsisi ottaa käyttöön mahdollisia reservejä, jotka toimivat esimerkiksi fossiililla polttoaineilla. Tällöin energiavarastoja voitaisiin käyttää varavoimaitoksina. Akkuvarastoilla voidaan vähentää myös tarvittavien investointien, kuten kaapeloinnin tai muuntajien osalta. Akkujärjestelmillä voidaan vaikuttaa myös tehokkaasti ja nopeasti jännitteen laadun parantamiseen. (Honkapuro ym. 2020)

Kulutusjoustossa energiavarastoja voi hyödyntää kuormien ohjauksessa. Sähkön ollessa edullista voidaan akkuihin ladata sähkö ja käyttää ladattua sähköä, kun sähkön hinta on kallista esimerkiksi kulutuksen ruuhkaisina aikoina. Tämä kannustaa kuluttajia investoimaan omatuotantoon esimerkiksi aurinkovoimalaan ja energiavarastoon. Uusiutuvan energian tuotannon kannalta energiavarastoja voi hyödyntää myös suuremman kokoluokan voimaloissa kuten tuulivoimaloissa. Tällöin voitaisiin välttyä taloudellisilta menetyksiltä, kun tuulee paljon, mutta kulutusta on vähän ja sähkön hinta alhaista. (Honkapuro ym. 2020)

Sähköautojen akkuja voi myös hyödyntää energiavarastoina (V2H, Vehicle-to-Home), kun tekniikka, autonvalmistaja ja auton käyttäjä sen sallii tai tehonsäädön kannalta suoraan verkkoon (V2G, Vehicle-to-Grid) (Honkapuro ym. 2020). Fortum ja Elenia kehittivät älykkään järjestelmän, missä akusto toimii normaalitilanteessa säätövoimana Fingridin reservimarkkinoilla ja verkon vikatilanteessa auttaa pitämään sähköt päällä mahdollisimman pitkään alueen asiakkaille (Kuva 4.2). (Elenia 2020)

Tänä päivänä sähkövarastojen verotus ei kannusta sähkövaraston investoimiseen. Sähköveroa maksetaan verkosta lataamiseen. Sähkövaraston lataamisesta maksettavasta verotuksesta olisi tärkeää luopua, koska verkosta ladattavalla sähköllä on iso osuus kulutusjoustossa. (Pahkala ym. 2018)



Kuva 4. 2 Elenian ja Fortumin kehittämä järjestelmä, missä hyödynnetään akkuvarastoa jakeluverkon tukena (Elenia 2020).

4.3 Power-to-X

Power-to-x-tekniologia (P2X) on yksi tulevaisuuden potentiaalisista ratkaisuista varastoida uusiutuvaa energiaa. Power-to-x-tekniologia perustuu päästöttömän sähkön eli esimerkiksi tuuli- tai aurinkosähkön muuttamiseen toiseksi energian muodoksi ja siitä halutessaan takaisin sähköksi. Puhtaan sähkön lisäksi power-to-x-tekniologia tarvitsee ilmasta hiilidioksidia, vedestä vetyä tai ilmasta typpeä. Lopputuotteena prosessista saadaan synteettisiä polttoaineita tai jopa proteiinia ruuantuotantoon. (LUT 2018)

Sähkön varastointi pidempikestoiseen energianmuotoon power-to-x-tekniologialla ja varastoidun energianmuodon muuntamista takaisin sähköksi voi hyödyntää myös sähkön kulutusjoustossa. Power-to-x-tekniologialla sähkön varastoiminen onnistuu jopa viikoiksi, kun sähkö muunnetaan kemialliseen muotoon. Tällöin saadaan pienennettyä sähkön tuotannollisia haittoja, kun esimerkiksi on ajan jaksoja, jolloin ei ole paljoa tuulta. (NEOCARBONENERGY)

Suomessa on merkittävästi potentiaalia hiilineutraalien polttoaineiden tuottamiseen power-to-x-tekniologialla. Teollisuudesta kuten sellutehtaista ja sementin valmistuksesta vapautuu paljon hiilidioksidia ja Suomessa tuulivoimalla on suuresti potentiaalia, mitä ei vielä ole pystytty hyödyntämään. Suomella ei ole vain mahdollisuus hyötyä itse power-to-x-tekniologiasta vaan sille on laajasti kysyntää globaalisti, ja siitä on muodostumassa Suomelle uusi vientiala, mikä tuo lisää työllisyyttä. (St1 2020)

5. YHTEENVETO

Tässä kandidaatin työssä tutkittiin millaiset ratkaisut mahdollistavat kulutusjoustomarkkinoiden ja energianhallintajärjestelmien roolin osana tulevaa energiajärjestelmää ja energiamarkkinoita. Työssä tutkittiin myös millaisia kulutusjousto- ja energianhallintajärjestelmäpalveluita tarjoavia toimijoita Suomessa ja maailmalla on.

Ilmastonmuutoksen hidastaminen vaatii muutoksia energiajärjestelmään, kuten fossiilisten voimalaitosten korvaaminen uusiutuvilla energianlähteillä. Tällaiset muutokset kasvattavat jo tänä päivänä suuresti kulutusjouston tarvetta. Tänä päivänä Suomessa kulutusjoustomarkkinat koostuvat Fingridin reservimarkkinoista, joihin voi osallistua vain suuria energiakapasiteettejä käyttävät toimijat. Maailmalla on tänä päivänä jo muutamia toimijoita, jotka tarjoavat kulutusjoustolle oman markkinapaikan. Tulevaisuudessa kulutusjoustomarkkinoilla tulee olemaan myös Suomessa oma markkinapaikka, missä kulutusjousto-voimoihin voivat osallistua myös yksityiset kotitaloudet. Aggregaattorit ja virtuaaliset voimalaitokset tulevat helpottamaan kulutusjoustomarkkinoille osallistumisen. Kulutusjouston tarve kasvaa myös lisääntyvien kuormien kuten, sähköautojen määrän kasvaessa.

Energianhallintajärjestelmillä niin suuret kuin pienetkin toimijat voivat parantaa omaa energiatehokkuuttaan hyötyä siitä myös taloudellisesti. Energianhallintajärjestelmillä palvelun käyttäjä voi helposti seurata omaa tai oman yrityksensä energian käyttöä älykkäiden sovellusten avulla. Varsinkin suurien teollisten yritysten kiristyvät päästöihin liittyvät lainsäädännöt tulevat velvoittamaan parempaan energiatehokkuuteen, mikä kasvattaa palveluiden kuten energianhallintajärjestelmien kannattavuutta. Energianhallintajärjestelmät tulevat helpottamaan käyttäjilleen kulutusjoustomarkkinoille osallistumista, kun järjestelmällä saadaan tarkempaa tietoa omasta energiankäytöstään.

Kulutusjoustossa tärkeässä roolissa ovat myös kuormien säädeltävyys ja niihin liittyvät teknologiat. Energian varastointiin liittyvät teknologiat ovat kehittyneet viimevuosien aikana paljon. Tämä on tärkeää tulevaisuuden energiajärjestelmässä, kun tuotanto on enemmän vaihtelevaa ja sääriippuvaisempaa. Kulutusjousto tulee vaikuttamaan niin sähkön kuluttajiin kuin myös sen tuottajiin, myyjiin ja sen palveluiden tarjoajiin.

Tässä työssä esiteltiin toimijoihin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, koska verkkosivuilla ei kaikkea teknologiasta kerrota. Vaikka eri toimijat kertovat ja lupaavat toiminnastaan, tuotteistaan ja saavutuksistaan, kannattaa niihin suhtautua kriittisesti.

LÄHTEET

Ahonen, T., Honkapuro, S. 2017 Energiamurroksen ennakoitua vaikutuksia 2030: Kysynnänjoustojärjestelmät. Aalto-yliopisto. Helsinki. <http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2017/02/Energiamurroksen-ennakoitua-vaikutukset-2030-Kysynnänjoustojärjestelmät.pdf>. Viitattu 05.10.2020, 07.10.2020.

Annala, S. 2020. Kulutusjoustoliiketoiminnan kehittyminen Suomessa. Energiamurroksen haasteet ja mahdollisuudet -webinaari. 1.12.2020. <https://www.slideshare.net/SmartEnergyTransition/kulutusjoustoliiketoiminnan-kehittyminen-suomessa>. Viitattu 28.12.2020.

Cleantech Group 2020. Smart Grid Flexibility Markets – Entering an Era of Localization. 14 April 2020. <https://www.cleantech.com/smart-grid-flexibility-markets-entering-an-era-of-localization/>. Viitattu 29.12.2020.

Direktiivi 2019/944/EU: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>. Viitattu 07.10.2020.

e2m 2017. e2m and Savon Voima announce virtual power plant technology partnership. Verkkosivut – 11.2017. <https://www.e2m.energy/en/news-entry/e2m-and-savon-voima-announce-virtual-power-plant-technology-partnership.html>. Viitattu 08.01.2021.

Elenia 2017. Uuden sukupolven älykäs mittausjärjestelmä. Verkkosivut – Kesäkuu 2017. <https://www.elenia.fi/uutiset/video-uuden-sukupolven-älykäs-mittausjärjestelmä>. Viitattu 04.01.2021.

Elenia 2020. Fortumina ja Elenian akusto varastoi sähköä katkojen varalle ja sähköjärjestelmän tasapainon ylläpitoon. Verkkosivut – Toukokuu 2020. <https://www.elenia.fi/uutiset/fortumin-ja-elenian-akusto-varastoi-sähköä-katkojen-varalle-ja-sähkö%20ADjär%20ADjes%20ADtelmän>. Viitattu 31.12.2020.

Enel X 2020. Distributed Energy Resources Management Systems are key to the transition-E-Industries – December 2020. <https://www.enelx.com/en/stories/2020/12/distributed-energy-resource-management>. Viitattu 30.12.2020.

Enel X 2020. Enel X proves demand response is reliable during lockdown, looks to future of customer flexibility. E-Industries – June 2020. <https://www.enelx.com/en/stories/2020/06/demand-response-test-ireland-lockdown>. Viitattu 30.12.2020.

Enel X 2020. Enel X ranked as one of 3 top systems integrators in energy storage worldwide. E-Industries – July 2020. <https://www.enelx.com/en/stories/2020/07/btm-storage-leaderboard-report>. Viitattu 30.12.2020.

IEA 2020. Tracking report. Demand Response. Recommend actions. Evaluate demand-side flexibility for new markets and services. Verkkosivut – June 2020. <https://www.iea.org/reports/demand-response>. Viitattu 07.01.2021.

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., ... Belonogova, N. (2015). Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnan_jousto_loppuraportti.pdf. Viitattu 05.10.2020, 07.10.2020, 24.11.2020.

Karppinen, P. Keravan Energia Oy. Olisiko aika kokeilla fiksusähköä? Verkkosivut. <https://www.keravanenergia.fi/artikkeli/olisiko-aika-kokeilla-fikusahkoa/>. Viitattu 08.03.2021.

Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Farin, Juho & Pihala, Hannu. Markkinahintasiinaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus. Loppuraportti [Control of small customer electricity demand with spot-market price signals. Final report]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2362. 66 s. + liitt. 8 s. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2006/T2362.pdf>. Viitattu 06.10.2020.

Korpio, J. Sähkönjakeluverkko kysyntäjoustop mahdollistajana. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/37858/master_Korpio_Juha_2019.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Viitattu 05.10.2020.

Leap. Verkkosivut. <https://leap.energy>. Viitattu 29.12.2020.

LUT University 2018. Power-to-x (P2X) – Mitä se tarkoittaa ja miten se mullistaa energia- ja ruoantuotannon? Verkkosivut – Uutiset – 11.2018. https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/power-to-x-p2x---mita-se-tarkoittaa-ja-miten-se-mullistaa-energia-ja-ruoantuotannon-. Viitattu 05.01.2021.

Motiva 2015. Energiantehokkuusjärjestelmä:2014 (ETJ+). Files – 3.2015. https://www.motiva.fi/files/10070/Energiantehokkuusjarjestelma_ETJ_.pdf. Viitattu 09.10.2020.

Motiva 2018. Energiavirasto ja Motiva: Suuri yritys, valmistaudu lainmukaiseen energiakatselmuksen uusimiseen. Tiedotteet – 6.2018. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2018/energiavirasto_ja_motiva_suuri_yritys_valmistaudu_lainmukaisen_energiakatselmuksen_uusimiseen.13344.news. Viitattu 09.10.2020.

Motiva 2019. Taloautomaatio pientalossa. 10.2019. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/taloautomaatio/taloautomaatio_pientaloissa. Viitattu 03.03.2021.

Motiva 2020. Valmistaudu sähkön kulutusjousto. Koti ja asuminen – 9.2020. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/valmistaudu_sahkon_kulutusjousto. Viitattu 01.10.2020, 12.10.2020.

Motiva 2021. Käytä sähköä joustavasti. Sähkön kulutusjousto. Verkkosivut. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/sahkon_kulutusjousto. Viitattu 04.03.2021

Myenergi. Verkkosivut. <https://myenergi.com>. Viitattu 16.03.2021.

NEO CARBON ENERGY. Towards 100 % renewable energy system. Verkkosivut. Solutions. <http://www.neocarbonenergy.fi/solution/>. Viitattu 05.01.2021.

Next Kraftwerke. Verkkosivut. <https://www.next-kraftwerke.com>. Viitattu 29.12.2020.

Nivos 2018. Joustopotti-palvelun avulla on omakotiasukkaiden lämminvesivaraajat tekevät pian ekotekoja lämpenemällä älykkäästi. 23.10.2020. <https://www.nivos.fi/joustopotti-palvelun-avulla-omakotiasukkaiden-lamminvesivaraajat-tekevät-pian-ekotekoja-lampenemalla>. Viitattu 28.12.2020.

Nuuka Solutions. Verkkosivut. <https://www.nuukasolutions.com/fi-fi/home>. Viitattu 29.12.2020.

Oinonen, J. 2019. Kysyntäjoustotuotteet pienasiakkaille. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159014/Kandidaatintyö_Oinonen_Joni-Aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 01.10.2020.

Optiwatti. Verkkosivut. <https://www.optiwatti.fi/mika-on-optiwatti/mista-saasto-syntyy/>. Viitattu 10.03.2021.

Pahkala, T, Uimonen H, Väre, V. 2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä – Älyverkkotyöryhmän loppuraportti – Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 33/2018. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM_33_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 04.01.2021.

Pahkala, T, Uimonen, H, Väre, V. 2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää – Älyverkkotyöryhmän väliraportti – Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80792/TEMrap_38_2017_verkk_julkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 07.10.2020.

Partanen, J. Sähkömarkkinat. Lappeenrannan teknillisen yliopiston Sähkömarkkinat -kurssin luentomateriaali. Päivitetty.16.09.2020. Saatavissa Sähkömarkkinat -kurssin Moodle-sivulla Lappeenrannan teknillisen yliopiston verkkotunnusten haltijoille. Viitattu 04.10.2020

Piclo flex. Verkkosivut. <https://picloflex.com>. Viitattu 29.12.2020.

Piclo. Verkkosivut. <https://piclo.energy/about>. Viitattu 29.12.2020.

Pöyry 2017. Älyverkkotyöryhmä – Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuudet – AMR 2.0. 12.2017. <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017/6a2df7e6-a963-40c0-b4d8-d2533fbca488/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017.pdf>. Viitattu 18.12.2020, 04.01.2021.

Report Linker 2020. Global Demand Response Management System (DRMS) Industry. Summary – September 2020. https://www.reportlinker.com/p05561817/Global-Demand-Response-Management-Systems-DRMS-Industry.html?utm_source=GNW. Viitattu 30.12.2020.

Salonen, O. 2017. Sähkön kysyntäjouaston kuormanohjausten tekniset toteutusmallit pienikiinteistöissä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/133874/diplomityo_salonen_otso.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 12.10.2020.

Samuli Honkapuro, Ville Sihvonen, Jarmo Partanen, Pirkko Harsia, Kari Kallioharju, Aki Kortetmäki, Pertti Järventausta, Sami Repo, Laura Remes ja Jaakko Ketomäki. (2020). Jousto 2035 visio – Energiajärjestelmän jouston tarpeet ja toteutuspotentiaali 2035: Tutkimusraportti. Lappeenranta: Lappeenrannan-Lahden teknillinen Yliopisto LUT. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161812/Jousto%202035%20visio%20-%20Energiajärjestelmän%20jouston%20tarpeet%20ja%20toteutuspotentiaali%202035.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Viitattu 07.10.2020, 05.11.2020, 31.12.2020.

Siemens. Virtuaalivoimalaitos – Kiinteistöt hyötymään sähkömarkkinoista. <https://new.siemens.com/fi/fi/yhtio/ajankohtaiset-teemat/alykas-infrastrukturi/kiinteistoejen-virtuaalivoimalaitoshanke-lisaae-omistajien-tuot.html>. Viitattu 28.12.2020.

Siponen, S. 2018. Kysyntäjouaston hyödyntäminen osana älykästä sähköverkkoa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158776/diplomityo_siponen_tommi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 01.10.2020.

St1 2020. LUT, Wärtsilä ja St1: Power-to-X-ratkaisut tulee nostaa Suomen energia- ja ilmastoratkaisujen ytimeen. Verkkosivut – Artikkelit – 09.2020. <https://www.st1.fi/lut-wartsila-ja-st1-power-to-x-ratkaisut-tulee-nostaa-suomen-energia-ja-ilmastoratkaisujen-ytimeen>. Viitattu 05.01.2021.

Tolonen, S. 2015. Yritysten sähkön kysyntäjouaston tuotteistaminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/104790/Diplomityo_Sami%20Tolonen.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 01.10.2020.

Turku Energia. Kulutusjousto valjastaa yrityksesi sähkölaitteistot ansaintakeinoksi. <https://www.turkuenergia.fi/yritykset/kulutusjousto/>. Viitattu 28.12.2020.

VTT 2019. Sähkön kulutusjouston tarve kasvaa - nyt pilotoitava markkinapaikka tehostaisi joustoressurssien käyttöä. Uutiset, Lehdistötiedote – 17.12.2019.
<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/sahkon-kulutusjouston-tarve-kasvaa-nyt-pilotoitava-markkinapaikka-tehostaisi>. Viitattu 29.12.2020.