

Riku Korhonen

# **ECOGRID-PROJEKTIN MARKKINA- MALLI SÄHKÖN JOUSTOLLE**

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Huhtikuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Riku Korhonen: EcoGrid-projektin markkinamalli sähkön joustolle  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tieto- ja sähkötekniikan TkK tutkinto-ohjelma  
Huhtikuu 2019  
Pääaine: Sähkövoimatekniikka  
Tarkastaja: professori Sami Repo

---

Uusiutuvan energiantuotannon ja tasaisesti käytettävän ydinvoiman osuuksien kasvaessa helposti ohjattavan energiantuotantokapasiteetin määrä pienenee. Tämän takia tarve tehotasapainon hallintaan kykenevälle kapasiteetille on kasvamassa. Kysyntäjousto toimii yhtenä apuvälineenä tehotasapainon hallintaan, mutta nykyisten sähkömarkkinoiden rakenne ei mahdollista kysyntäjoustopon tehokasta ja kannattavaa hyödyntämistä.

Tämä kandidaatintyö tutkii tanskalaista EcoGrid 2.0 -projektia. Projektissa kehitettävä markkinamalli pyrkii tarjoamaan kysyntäjoustolle nykyisiä sähkömarkkinoita paremman markkinapaikan, eli joustavuusmarkkinat. Kandidaatintyön tarkoituksena on tutkia ja esitellä EcoGrid 2.0 -projektissa kehitettyjen joustavuusmarkkinoiden rakenne, toimijat ja palvelut, sekä pohtia joustavuusmarkkinoiden mahdollisia epäkohtia sekä parannusmahdollisuuksia.

Työn alussa esitellään taustatietoa, ensimmäisenä nykyisten pohjoismaisten sähkömarkkinoiden rakenne ja toimijat. Nykyiset sähkömarkkinat koostuvat tukku-, vähittäis-, finanssi- ja reservimarkkinoista, sekä säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoista. Työssä käsiteltävät nykyiset toimijat sähkömarkkinoilla ovat kantaverkkoyhtiö, verkonhaltijat, tasevastaavat sekä sähkön myyjät. Taustatietona kerrotaan myös yleisesti kysyntäjoustopon. Kysyntäjoustopon tarkoitetaan siis yleisesti sähkön käyttökohteen kykyä alentaa tai kasvattaa omaa kulutustaan tiettyjen tarpeiden mukaan.

Tämän jälkeen esitellään tutkittua EcoGrid 2.0 -projektia ja projektissa kehitettyjen joustavuusmarkkinoiden rakennetta, toimijoita ja palveluita. Joustavuusmarkkinat on jaettu kahteen osaan: siirtojen hallinta -markkinoihin, missä kysyntäjoustopon käy kauppa vain verkonhaltija ja aggregaattori; sekä nykyisiin muokattuihin markkinoihin, mistä kysyntäjoustopon voivat hankkia kantaverkkoyhtiö ja tasevastaavat. Muokatut nykyiset markkinat kuvaavat nykyisiä sähkömarkkinoita, joiden vaatimuksia on pienennetty. Joustavuusmarkkinoilla uudet toimijat, eli aggregaattorit, siis keräävät pienemmistä kulutuskohteista kysyntäjoustopon ja kauppaavat sitä palveluina eri toimijoille. Aggregaattoreiden lisäksi EcoGrid 2.0 -markkinamalli esittelee kolme uutta toimijaa: markkinaoperaattori sekä mittaus- ja vahvistusvastaavat. Aggregaattorien tarjoamat palvelut ovat EcoGrid 2.0 -projektissa kuorman alentaminen ja kasvatus, tasapainotuspalvelu, tehon rajoitus, jännitteen hallinta sekä reservipalvelut.

EcoGrid 2.0 -projekti oli työn kirjoittamishetkellä kesken, mikä tietenkin haittasi markkinamallin arviointia. Projekti antaa kuitenkin hyvän kokonaiskuvan markkinamallista, sekä kuvaa monipuolisesti joustavuusmarkkinoilla tarjottavat palvelut, sekä näiden palveluiden hyödyt niitä ostaville toimijoille. Projektissa on kuitenkin lukuisia epäselvyyksiä, jotka johtuvat lähinnä tiedon puutteesta tai raporttien epäjohdonmukaisuuksista ja ristiriidoista. Nämä jonkin verran laskevat projektin sekä markkinamallin uskottavuutta. EcoGrid 2.0 -projekti ottaa kuitenkin hyvin huomioon nykyisten toimijoiden tarpeet, ja markkinamallissa pyritään selvästi ratkaisuun, jossa kysyntäjousto toimii hyödyllisenä ja kannattavana osana sähköenergiajärjestelmää.

Avainsanat: kysyntäjousto, aggregaattori, sähkömarkkinat, huipputeho, tase, toipuminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. POHJOISMAISET SÄHKÖMARKKINAT .....	2
2.1 Markkinaosapuolet ja vastuut .....	2
2.2 Sähkömarkkinoiden rakenne .....	3
3. KYSYNTÄJOUSTO .....	6
3.1 Tarve .....	6
3.2 Määritelmä ja saatavuus .....	6
3.3 Hyödyt ja mahdollisuudet .....	7
3.3.1 Hyödyt .....	7
3.3.2 Mahdollisuudet markkinoilla .....	8
3.4 Haasteet .....	9
4. ECOGRID-MARKKINAMALLI .....	12
4.1 EcoGrid 2.0 -projekti .....	12
4.2 Joustavuusmarkkinat .....	13
4.2.1 Rakenne .....	13
4.2.2 Siirtojen hallinta -markkinat (New congestion market) .....	14
4.2.3 Muokatut nykyiset markkinat (Adapted existing markets) .....	16
4.2.4 Toimijat .....	17
4.3 Joustavuuden tarjoamat palvelut .....	23
4.4 Esimerkki palvelun markkinaprosesseista: ajan perusteella aktivoitava kuorman alentaminen .....	28
4.4.1 Hyväksymisprosessi .....	29
4.4.2 Palvelun kauppaaminen .....	29
4.4.3 Toimitus .....	31
4.4.4 Varmistaminen .....	31
4.4.5 Loppuselvitys .....	34
5. YHTEENVETO JA KESKUSTELUA .....	35
LÄHTEET .....	37

# 1. JOHDANTO

Sähköenergiajärjestelmässä tulee joka hetki säilyä tehotasapaino, eli sähkön tuotannon ja kulutuksen on oltava yhtä suuret. Tämä on perinteisesti toteutettu säätämällä tuotantoa vastaamaan hetkellistä kulutusta. Säätökapasiteettien uusiutuvien energiantuotantomuotojen sekä tasaisesti käytettävän ydinvoiman osuus kasvaa koko ajan, mutta näiden tuotantomuotojen säätely ei yleisesti ole taloudellisesti kannattavaa [1]. Tämän takia tarve tehotasapainon säilyttävälle säätökapasiteetille kasvaa. Säätökapasiteettia voidaan saada muun muassa lisäämällä kysyntäjoustopuuta, eli säädettävän kulutuksen osuutta.

Kysyntäjoustopuuta laajamittainen hyödyntäminen sähkömarkkinoilla ei ole kuitenkaan tällä hetkellä mahdollista. Tässä työssä tarkastellaan tanskalaista EcoGrid 2.0 -projektia, jossa esitellään yksi vaihtoehto liittää kysyntäjoustopuuta paremmin osaksi nykyisiä sähkömarkkinoita. Työn tavoitteena on antaa käsitys kysyntäjoustopuuta mahdollisuuksista ja haasteista sekä esitellä EcoGrid 2.0 -projektissa kehitettyjen joustavuusmarkkinoiden rakenne, osapuolet ja niiden tehtävät sekä markkinoiden tarjoamat palvelut. Työn tavoitteena on myös tutkia hieman mitä heikkouksia, epäkohtia ja kehityskohteita projektin joustavuusmarkkinoilla on.

Työn alussa käydään läpi pohjoismaisia sähkömarkkinoita, joista käydään läpi eri markkinat sekä markkinaosapuolet ja osapuolten vastuut. Sen jälkeen käsitellään kysyntäjoustopuuta, josta esitellään sen tarpeet, saatavuus ja hyödynnettävyys, sekä pohditaan hieman sen haasteita. Tämän jälkeen käsitellään EcoGrid 2.0 -projektia. Ensin EcoGrid 2.0 -projekti ja sen tavoitteet esitellään yleisesti, minkä jälkeen tarkastellaan projektissa kehitettyjä joustavuusmarkkinoita. Joustavuusmarkkinoista käsitellään niiden rakenne, markkinoilla toimivat osapuolet sekä markkinoiden tarjoamat palvelut. Tämän jälkeen käydään tarkemmin läpi yhtä joustavuusmarkkinoilla tarjottua palvelua ja tutkitaan mitä prosesseja liittyy tämän palvelun toimittamiseen. Lopuksi tehdään vielä yhteenveto koko työstä, sekä hieman keskustellaan EcoGrid 2.0 -projektista.

## 2. POHJOISMAISET SÄHKÖMARKKINAT

### 2.1 Markkinaosapuolet ja vastuut

Tässä luvussa tarkastellaan pohjoismaisten sähkömarkkinoiden eri markkinaosapuolia ja näiden osapuolten vastuita. Tarkasteltavat osapuolet ovat kantaverkkoyhtiö, verkonhaltijat, tasevastaavat ja sähkön myyjät.

#### **Kantaverkkoyhtiö**

Kantaverkkoyhtiön (TSO, Transmission System Operator) vastuulla on tarjonnan ja kysynnän reaaliaikaisen tasapainon hallinta. Lisäksi kantaverkkoyhtiön vastuulla on maanlaajuisen kantaverkon toiminnan hallinta sekä vastuu käyttövarmuudesta ja siitä, että taseselvitys tehdään kansallisen lainsäädännön mukaisesti. [2] Kantaverkkoyhtiö vastaa sähkön siirrosta, minkä takia sillä on säädely monopoliasema [3]. Suomessa kantaverkkoyhtiö on Fingrid Oyj.

#### **Verkonhaltija**

Verkonhaltijalla viitataan tässä työssä juuri jakeluverkon omistajaan (DSO, Distribution System Operator), jonka tehtävänä on jakaa sähköä kuluttajille. Verkonhaltijan velvollisuuksina ovat sähkön siirto, verkon ylläpito ja kehittäminen sekä sähkönkäyttö- ja tuotantopaikkojen liittäminen verkkoon [4]. Verkon ylläpitoon kuuluu muun muassa sen viikatilanteiden hallinta, eli vian paikannus, eristys ja korjaus. Verkonhaltijan harjoittama verkkoliiketoiminta on alueellista monopolitoimintaa, jota valvoo viranomainen.

#### **Tasevastaava**

Tasevastaava (BRP, Balance Responsible Party) on markkinaosapuoli, jonka avoimena toimittajana on kantaverkkoyhtiö. Tasevastaava voi myös toimia avoimena toimittajana yhdelle tai useammalle sähkön myyjälle tai ostajalle. Avoimen toimittajan tehtävänä on toimittaa sähköä asiakkaalleen todellisen kulutuksen mukaan. Avoin toimittaja vastaa asiakkaansa ennustetun ja toteutuneen sähkönkäytön eli asiakkaan taseen poikkeaman toimittamisesta. [3] Tasevastaava voi siis olla sähkön kuluttaja, tuottaja tai myyjä, joka on vastuussa omasta taseestaan sekä mahdollisesti asiakkaidensa taseesta [2].

#### **Sähkön myyjä**

Sähkön myyjä ostaa sähköä joko suoraan tuottajalta, toiselta sähkön myyjältä tai nimitetyn sähkömarkkinaoperaattorin kautta ja myy sitä sähkön vähittäismarkkinoilla loppukäyttäjälle. [2] Kuluttaja voi valita sähkön myyjän sijainnistaan riippumatta, mutta sähkön siirrosta kuluttajalle vastaa aina alueen verkonhaltija.

## 2.2 Sähkömarkkinoiden rakenne

Pohjoismaiset sähkömarkkinat koostuvat useista eri markkinoista. Vähittäismarkkinoilla pienet sähkön kuluttajat ostavat sähköä sähkön myyjiltä, ja tukkumarkkinoilla kauppaa käyvät suuret tuottajat, kuluttajat ja sähkön myyjät. Lisäksi on finanssimarkkinat, joissa käydään kauppaa erilaisilla johdannaisilla, sekä säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat, joiden tarkoituksena on ylläpitää tehotasapainoa. Lisäksi kantaverkkoyhtiöt ylläpitävät omia reservimarkkinoita. [3] Tässä luvussa esitellään edellä mainitut markkinat.

### Tukkusähkömarkkinat

Pohjoismaissa ja Baltian maissa on yhteiset sähkön tukkumarkkinat, joissa markkina- paikkana toimii Nord Pool Spot -sähköpörssi eli Spot-markkinat. Spot-markkinat on jaettu kahteen osaan, Elspot- ja Elbas-markkinoihin.

Elspot-markkinoilla (Day-ahead market) käydään kauppaa sähkön toimituksista seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille. Tarjouksia voidaan tehdä yhdelle tai useammalle tunnille, ja tarjouksissa osapuolet ilmoittavat, kuinka paljon ja millä hinnalla ovat valmiita ostamaan tai myymään sähköä. Tarjoukset tulee tehdä viimeistään toimitusta edeltävänä päivänä kello 12.00 CET mennessä. [5]

Elbas-markkinat (Intraday market) ovat päivän sisäiset markkinat, joiden tarkoituksena on täydentää Elspot-markkinoita. Elspot-markkinoilla tehtyjen kauppojen ja todellisen energiantarpeen välillä on yleensä eroa, ja tätä eroa pyritään tasoittamaan Elbas-markkinoilla. Ostajat ja myyjät voivat tehdä tarjouksia Elbas-markkinoilla aina tuntia ennen toimitusta. [6]

### Vähittäismarkkinat

Sähkön vähittäismarkkinoilla pienemmät kuluttajat ostavat sähköä sähkön vähittäismyyjiltä. Sähkön vähittäismyyjät voivat myydä itse tuottamaansa tai tukkumarkkinoilta ostettua sähköä. Pohjoismaissa sähkön vähittäismarkkinat ovat kansallisia yhteisestä tukkumarkkinasta huolimatta. [3]

### Finanssimarkkinat

Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla käydään myös johdannaiskauppaa. Johdannaisten markkinapaikkana toimii Nasdaq Commodities -finanssimarkkinat. Johdannaisia ovat erilaiset futuurit ja optiot, jotka ovat sopimuksia tulevaisuudessa tehtävästä kaupasta, ja jotka toteutetaan rahaselvityksenä. [3] Finanssimarkkinoilla tehtävistä kaupoista ei siis seuraa sähkön fyysistä toimitusta.

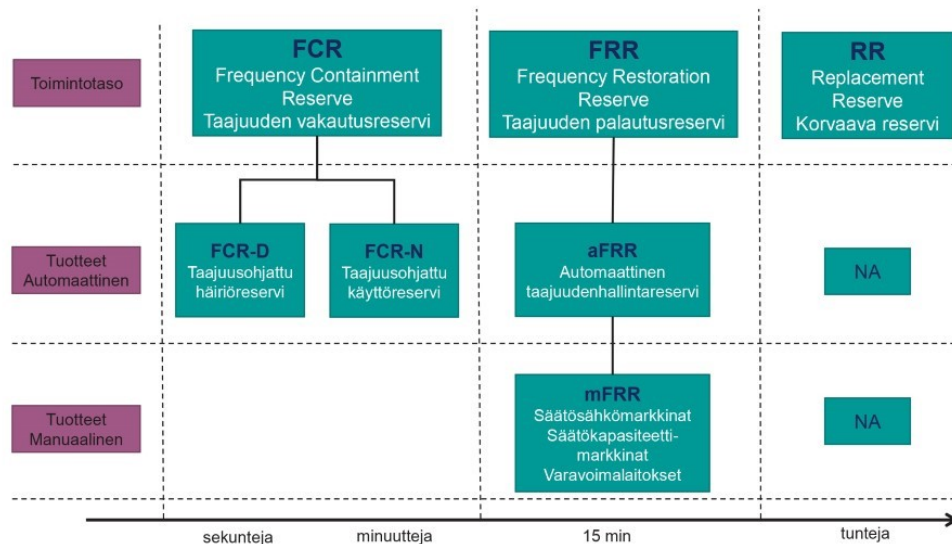
## Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat

Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoilta kantaverkkoyhtiö hankkii osan tehotasapainon hallitsemiseen käytettävästä säätösähköstä. Sähkön säätökykyisiä resursseja, eli säädettävää tuotantoa tai kuormaa, omaavat toimijat voivat jättää säätösähkömarkkinoille tarjouksia viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Säädettävissä oleva teho tulee säätösähkötarjouksissa olla vähintään 5 MW, jos tarjous voidaan tilata elektronisesti. Muussa tapauksessa kapasiteetin tulee olla vähintään 10 MW. Kantaverkkoyhtiö aktivoi tarjouksia tarpeensa mukaan. [7]

Säätökapasiteettimarkkinoilla sähkön säätökykyisten resurssien myyjät voivat jättää markkinoille kapasiteettitarjouksia. Jos kapasiteettitarjous hyväksytään, sitoutuu resursin myyjä tarjoamaan säätökapasiteettimarkkinoilla hyväksytyyn tarjousmäärän säätösähkömarkkinoille hankintajakson ajan kapasiteettikorvausta vastaan. Säätökapasiteettimarkkinat ovat viikkomarkkinat, eli hankintajakso on yksi CET-aikavyöhykkeen mukainen kalenteriviikko. [8]

## Reservimarkkinat

Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoiden lisäksi kantaverkkoyhtiöt pitävät huolen tehotasapainosta reservien avulla. Kantaverkkoyhtiöillä on käytössä useita reservejä, ja kuvassa 1 on esiteltyä Suomessa käytössä olevat reservit.



**Kuva 1: Suomessa käytössä olevat tehoreservit [9]**

Taajuusohjatuista reserveistä (FCR-N ja FCR-D) käydään kauppaa reservien vuosi- ja tuntimarkkinoilla. Vuosimarkkinoilla kapasiteettia tarjotaan käyttöön koko vuodeksi, ja tuntimarkkinoilla taas tuntikohtaisesti. Taajuusohjatut reservit aktivoituvat automaattisesti taajuudenmuutoksiin. Taajuusohjatun käyttöreservin minimikapasiteettivaatimus

on 0,1 MW, ja sen on reagoitava kolmessa minuutissa. Käyttöreservejä käytetään pitämään taajuus normaalialueella 49,9 – 50,1 Hz. Taajuusohjatun häiriöreservin minimikapasiteettivaatimus on 1 MW, ja sen on reagoitava 30 sekunnissa maksimiarvoon. Häiriöreservejä käytetään kun taajuus laskee alle 49,9 Hz:n, ja niiden avulla taajuus pyritään pitämään vähintään 49,5 Hz:n yläpuolella. [10]. Tällaisia tilanteita voi tapahtua esimerkiksi, jos esimerkiksi suuri tuotantolaitos irtoaa jostain syystä verkosta.

Automaattisessa taajuudenhallintareservissä (aFRR), minimikapasiteettivaatimus on 5 MW ja aktivointiaika kaksi minuuttia. Fingrid hankkii automaattisia taajuudenhallintareservejä tuntimarkkinoilta ja muista Pohjoismaista, ja kauppa käydään vain tietyillä tunteilla, jotka ilmoitetaan etukäteen. Automaattiset taajuudenhallintareservit siis pyrkivät pitämään taajuuden 50 Hz:n normaaliarvossa. [11]

Manuaaliseen taajuudenhallintareserviin (mFRR) kuuluu aiemmin käsitellyt säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat, sekä Fingridin omistamat varavoimalaitokset. Fingridillä on omia varavoimalaitoksia yhteensä noin 950 MW:n edestä, sekä käyttöoikeussopimuksella yhteensä noin 300 MW. Varavoimalaitokset ja käyttöoikeussopimuksilla hankitut varavoimalaitokset toimivat Fingridin nopeana häiriöreservinä, ja niitä ei käytetä kaupalliseen sähköntuotantoon. [12]

Reservien ylläpitämisestä sekä säätökapasiteetin hankinnasta on siis vastuussa kunkin maan kantaverkkoyhtiö. Pohjoismaisilla kantaverkkoyhtiöillä on sopimus reservien ylläpitovelvoitteista [9], mutta jokainen kantaverkkoyhtiö hankkii reservinsä parhaaksi näkemällään tavalla. Tämän takia reservien rakenne saattaa vaihdella eri Pohjoismaissa.



## 3. KYSYNTÄJOUSTO

### 3.1 Tarve

Sähköenergiajärjestelmässä tulee siis joka hetki säilyä tehotasapaino, eli sähkön tuotannon ja kulutuksen on oltava yhtä suuret. Jos tuotanto ja kulutus eivät ole yhtä suuret, alkaa järjestelmän taajuus muuttua, mistä voi seurata vakavia häiriöitä [13]. Perinteisesti sähköenergiajärjestelmässä tuotanto on seurannut kulutusta, eli tasapainon hallintaan on käytetty muun muassa vesivoimaa ja lauhdelaitoksia. Tulevaisuudessa sääriippuvan uusiutuvan tuotannon, eli pääasiassa tuuli- ja aurinkovoiman, sekä tasaisesti ajettavan ydinvoiman osuus kasvaa, mutta näiden tuotantomuotojen säätäminen ei kuitenkaan yleisesti ole taloudellisesti kannattavaa. Tästä syystä tarve tasapainon hallintaan osallistuvasta säätökapasiteetista kasvaa.

Tehotasapainon hallitsemisen kannalta olisi siis järkevää, että osa sähkön kulutuksesta seuraisikin tuotantoa. Tällöin voitaisiin välttää säätö- ja huipputehoa tuottavien energiantuotantoyksiköiden käyttöä, mitkä ovat juuri eniten päästöjä aiheuttavia ja käyttöönsä nähden kalliimpia tuotantoyksiköitä. Kulutuksen suunnittelu ja ohjaus, eli kysyntäjousto, tarjoaa yhden kustannustehokkaan keinon tehotasapainon hallintaan. [13]

### 3.2 Määritelmä ja saatavuus

Kykyä alentaa, kasvattaa tai siirtää sähkön kulutusta tarpeen mukaan tietyssä kohteessa sanotaan yleisesti kysyntäjoustoksi. Tarve voi olla tehotasapainon hallinta, tai tarve voi tulla itse kuluttajalta, eli kun halutaan käyttää sähköä silloin kun se on halpaa. Tehotasapainon hallinnassa kulutuksen alentaminen siis hoitaa saman asian kuin tuotannon kasvattaminen, ja kulutuksen kasvatus hoitaa samana asian kuin tuotannon vähentäminen. Kysyntäjousto voi olla siis suoraa kulutuksen ohjausta, jolloin kulutuskohde toimii esimerkiksi siirto- ja jakeluverkon tarpeiden mukaisesti tehoreservinä. Kysyntäjousto voi olla myös välillistä, jolloin kulutusta ohjataan vaikuttamalla asiakkaan käyttäytymiseen esimerkiksi sähkön hinnan avulla. [1] Kysyntäjouston peruseräteenä kuitenkin on, että pyritään hyödyntämään sellaisia kuormituksia, joita voidaan ohjata ja aikatauluttaa, aiheuttamatta kohtuutonta haittaa loppuasiakkaille [13].

Paras saatavuus kysyntäjoustoille vaikuttaisi tulevan omakotitalouksien sisätilan lämmityksestä [14], eli esimerkiksi lämpöpumpuista ja varaavista sähkölämmityksistä. Lämmitystä voidaan siirtää tehohuippujen kohdalta toiselle ajalle ilman aiheuttamatta haittaa

loppukäyttäjälle, varsinkin varaavaa sähkölämmitystä ohjattaessa. Lämmitykseen liittyvät potentiaalit riippuvat kuitenkin voimakkaasti ulkolämpötilasta, eli esimerkiksi sähkölämmityksen potentiaali on suurempi lämmityskaudella [1]. Tämän lisäksi lämmityksen ohjaamisessa tulee ottaa huomioon lämmityksen toipuminen (rebound). Jos esimerkiksi lämpöpumppu sammutetaan tunniksi, ehtii lämpötila laskea sen verran, että sen palauttaminen normaalille tasolle vaatii lämmitykseltä enemmän tehoa kuin normaali käyttöteho.

Sisätilan lämmityksen lisäksi tulevaisuudessa muita potentiaalisia kysyntäjoustopotentiaaleja on esimerkiksi ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmät, lämminvesivaraajat sekä kylmälaitteet ja sähköautojen akut [15]. Toisaalta sähköautojen akkujen potentiaalinen suuruus kysyntäjoustopotentiaalina riippuu siitä, että onko akuista mahdollista syöttää tehoa verkkoon päin [1]. Jos tehoa voidaan syöttää verkkoon päin, se mahdollistaa akkujen toimimisen energiavarastona ja samalla parantaa akkujen hyödyntämistä kysyntäjoustopotentiaalin osalta.

Sähkökuormien osallistuminen kysyntäjoustopotentiaalin hallintaan ei ole sinänsä uusi asia. Esimerkiksi Suomessa suurteollisuuden kuormat, muun muassa metalli- ja kemianteollisuuden kuormat, ovat jo pitkään toimineet reserveinä tehotasapainon hallinnassa [16]. Kotitalouksissa on myös jo pitkään asetettu esimerkiksi varaavat sähkölämmitykset ja lämminvesivaraajat käynnistymään yöaikaan [13]. Tällä tavalla osa kulutuksesta on saatu siirrettyä pois päivältä, jolloin kulutus on ollut yleensä suurempaa.

### 3.3 Hyödyt ja mahdollisuudet

Kysyntäjoustopotentiaali tarjoaa paljon hyötyjä ja mahdollisuuksia eri osapuolille ja markkinoille. Tässä luvussa käsitellään mitä eri hyötyjä kysyntäjoustopotentiaali tarjoaa, sekä ketkä niistä hyötyvät ja miten, sekä mitä kysyntäjoustopotentiaali tarjoaa eri markkinoille.

#### 3.3.1 Hyödyt

Kysyntäjoustopotentiaali tarjoaa apua **tehotasapainon hallintaan**. Kysyntäjoustopotentiaalit voivat toimia esimerkiksi kantaverkkoyhtiön käyttö- tai häiriöreservinä, sekä apuna verkonhallintajärjestelmän käyttötoiminnassa, kuten poikkeustilanteiden huipputehojen ja siirtojen hallinnassa. [1]

Kysyntäjoustopotentiaali mahdollistaa sähkökulutuksen **huipputehojen pienentämisen**. Kysyntäjoustopotentiaalin avulla kulutusta voidaan siirtää tehohuippujen kohdalta eri aikoihin, esimerkiksi tilanteissa, jossa huipputehon aikana verkon kapasiteetti ei riitä. Kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntäminen

täminen siis vähentäisi tarvetta verkon vahvistamisen investoinneille, ja sitä kautta voitaisiin saavuttaa huomattavia säästöjä [14]. Tästä hyötyisivät siis eniten verkon investointeja tekevät osapuolet, eli kantaverkkoyhtiöt ja verkonhaltijat, sekä tietenkin välillisesti heidän asiakkaansa. Kysyntäjousto ei kuitenkaan voida käyttää korvaamaan verkon uudelleenrakentamista. Huipputehujen pienentäminen kysyntäjoustolla verkon investointien sijasta toimii siis silloin, kun verkolla on vielä riittävästi elinikää jäljellä. Kuluttajille taas huipputehujen pienentäminen voisi mahdollisesti tarjota muun muassa liittymäkoon pienentämisen.

Lisäksi kysyntäjousto tarjoaa paljon **taloudellisia hyötyjä**. Verkonhaltija voisi hyödyntää kysyntäjoustoja verkon pitemmän aikavälin suunnittelussa, esimerkiksi korvaamaan mahdollisia verkon investointeja, kuten aikaisemmin jo mainittiin. Sähkön loppukäyttäjät voisi esimerkiksi keskittää sähkön käytön edullisen hinnan aikaan. Sähkön myyjä taas voisi hyödyntää kysyntäjoustoja sähkön hankinnassa, sekä mahdollisesti tasevastavaana taseiden hallinnassa. [1] Esimerkiksi sähkön hinnan ollessa korkealla tai kulutuksen ollessa arvioitua suurempi, saattaa sähkön myyjälle olla kannattavampaa kattaa osa kulutuksesta kysyntäjoustolla mieluummin kuin ostaa sähköä markkinoilta.

Kysyntäjousto tarjoaa myös **uusia liiketoimintamahdollisuuksia**. Esimerkiksi Suomessa lähes kaikilla asiakkailla on etäluettavat energiamittarit (AMR) [1], mutta näitä mittareita ei ole toteutettu niin, että niiden välityksellä kuormanohjaus olisi täydessä laajuudessaan hyödynnettävissä [13]. Mittarien tulee myös pystyä välittämään tietoa markkinaosapuolien välillä, mikä asettaa omat vaatimuksensa myös ICT-infrastruktuurille [1]. Tämä tarjoaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia laite- ja järjestelmätoimittajille. Lisäksi kysyntäjousta mahdollistaa uuden markkinaosapuolen, eli aggregaattorin, syntymisen. Aggregaattorit ovat yrityksiä, jotka muodostavat pienemmistä kulutusyksiköistä isomman kokonaisuuden, ja osallistuvat kysyntäjoustolla eri markkinoille.

### 3.3.2 Mahdollisuudet markkinoilla

**Elspot-markkinoilla** minimitarjouskoko on 0,1 MW [16], ja tiedot hyväksytyistä kaupoista saadaan toimitusta edeltävänä päivänä klo 14, joten aktivointiin jää aikaa useita tunteja. Eli vaatimukset kapasiteetille ja sen säädettävyydelle eivät ole merkittäviä, mikä helpottaa kysyntäjouston hyödyntämistä Elspot-markkinoilla. Koska tieto hyväksytyistä tarjouksista saadaan aikaisin, kysyntäjoustoressurssien tehokkaan käytön suunnittelu on kysyntäjouston myyjälle helpompaa. Tampereen teknillisen yliopiston julkaiseman raportin [1] mukaan kysyntäjouston taloudellinen potentiaali Elspot-markkinoilla on arvioitu olevan kuitenkin melko alhainen, verrattaessa sitä säätösähkömarkkinoiden tai reservimarkkinoiden taloudelliseen potentiaaliin. Raportissa tehdyissä laskelmissa tarkasteltiin

kuitenkin pelkästään suoran sähkölämmityksen ohjauksen tuotto-odotuksia, joten sitä ei voida yleistää pätemään kaikkiin kysyntäjoustoressurssiin. Raportissa päädyttiin kuitenkin tulokseen, että kysyntäjoustopotentiaali on yleisesti parempi mitä reaaliaikaisemmilla markkinoilla toimitaan.

**Elbas-markkinoilla** minimitarjouskoko on myös 0,1 MW [16], mutta tiedot hyväksytyistä kaupoista saadaan sitä mukaan kuin tarjouksia hyväksytään, mutta viimeistään tuntia ennen tarjouksen aktivointia. Kysyntäjoustoressurssien säädettävyyden vaatimukset ovat siis tiukemmat Elbas-markkinoilla, mikä saattaa rajoittaa tiettyjen resurssien hyödyntämistä kyseisillä markkinoilla. Koska tieto hyväksytyistä kaupoista saadaan niin myöhään, on kysyntäjoustoressurssien tehokas käyttö markkinoilla myös hankalampaa. Lisäksi, Elbas-markkinoilla on suurempi riski että kauppoja ei synny, esimerkiksi kaupankäynnin pienen volyymin tai tarjousten hintatason takia. [1]

**Tasekaupassa** sähkön myyjät voivat siis hyödyntää kysyntäjoustopotentiaalia oman taseen hallinnassa. Tällöin sähköä tarvitsee ostaa vähemmän avoimelta toimittajalta. Tällöin myös vaatimuksia kysyntäjoustoressurssin kapasiteetille ei ole, mutta sitä tulee pystyä ohjaamaan riittävän nopeasti lähellä käyttötuntia, tai sen aikana. [1]

**Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoilla** tarjotaan vähintään 10 MW säädettävää kapasiteettia (elektronisesti tilattuna 5 MW), jonka tulisi aktivoitua 15 minuutissa maksimitiehen aina tarvittaessa. Verrattuna siis Elspot- ja Elbas markkinoihin, säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoilla vaatimukset kapasiteetin suuruudelle ja säädettävyydelle ovat tiukemmat, mikä saattaa hankaloittaa kysyntäjoustopotentiaalin osallistumista markkinoille. Lisäksi tehon muutoksen tulee olla todennettavissa reaaliaikaisesti.

**Reservimarkkinoilla**, samoin kuin säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoilla, suurimmat vaatimukset tulevat kapasiteetin säädettävyyteen ja todennettavuuteen. Aktivointiajat reserveille ovat muutamista minuuteista kymmeneen sekuntiin, joten vaatimukset kapasiteetin säädettävyydelle ovat vielä tiukemmat kuin säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoilla. Toisaalta reservimarkkinoille voidaan liittyä pienemmällä kapasiteetilla, sekä taloudellinen potentiaali on näillä markkinoilla Tampereen teknillisen yliopiston tekemän raportin [1] mukaan yleisesti ottaen suurin, verrattuna muihin markkinoihin.

### 3.4 Haasteet

Kysyntäjoustopotentiaalin laajamittaisessa hyödyntämisessä on kuitenkin haasteensa. Monet haasteista ovat taloudellisia, mutta teknisiäkin esteitä löytyy. Kysyntäjoustopotentiaalin pitäisi yleistyäkseen olla riittävän kannattavaa kaikkien siihen osallistuvien osapuolien kannalta [1].

Kysyntäjoustop hyödyt ovat selviä ja hyvin tiedettyjä, mutta sen **kustannustehokkuudesta** on vielä paljon epävarmuutta [14] [17]. Yritykset eivät investoi järjestelmiin, jos se ei ole tiedettävästi kannattavaa. Epävarmuuden poistamiseksi tarvitaan siis enemmän tietoa ja varsinkin käytännön tutkimusta kysyntäjoustop hyödyntämisestä ja käytännön järjestelyistä. Yritykset eivät panosta kysyntäjoustop, koska sen kannattavuus ei ole tiedossa, mutta kannattavuutta ei saada selville ilman, että panostetaan kysyntäjoustop tutkimustyöhön. Tämä on yksi merkittävimmistä kysyntäjoustop hidasteista. [18]

Verkonhaltijoilla ei myöskään ole **kannustinta** kysyntäjoustop edistämiseen. Verkonhaltijoiden liiketoiminnan valvontamalli kannustaa enemmän verkon vahvistuksen investointeihin kuin kysynnän joustop investointeihin. Tämän takia sähköverkon pullonkaulat hoidetaan mieluummin verkkoinvestoinneilla kuin kysyntäjoustop avulla [1].

Kysyntäjoustop kohtaa myös haasteita **markkinoilla**. Säädetävän kapasiteetin minimivaatimukset ovat suuret esimerkiksi säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinoilla, missä minimikapasiteetti on 10 MW. Tämä saattaa estää pienempien kysyntäjoustopressurssien osallistumista tietyille markkinoille, vaikkakin 10 MW kapasiteetti voi koostua useammasta alle 10 MW aggregoidusta yksiköstä [16]. Tämän lisäksi monet reservimarkkinat vaativat säädetävältä kapasiteetilta nopeaa aktivointiaikaa, mikä voi myös rajoittaa kysyntäjoustopressurssien markkinapaikkoja.

Markkinoilla voi myös syntyä **eturistiriita** kysyntäjoustop käytöstä. Jos esimerkiksi sähköön myyjä ohjaa kysyntäjoustopressurssia sähköhinnan perusteella, tämä saattaa aiheuttaa kulutushuippuja halvemmän sähköhän aikana. Nämä kulutushuiput saattavat taas aiheuttaa ongelmia muun muassa verkonhaltijalle. Samalla tavalla kantaverkkoyhtiön hankkimat ohjaukset saattavat vaikuttaa negatiivisesti verkkoyhtiön toimintaan. Tampereen teknillisen yliopiston kysynnän joustop -raportin [1] mukaan jakeluverkon huipputehot itse asiassa kasvavat verkossa kun ohjaus tehdään markkinaperusteisesti.

Sähkökuormien **laajamittainen ohjaus** kiinteistöissä vaatii sen, että kuormia voi ylipääntänsä ohjata. Suomessa etäluettavat mittarit ovat jo käytännössä jokaisessa kulutuskohdeessa. Mittareiden on jo pitkään pitänyt pystyä vastaanottamaan ja panemaan täytäntöön tai välittämään viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjaukomentoja [19], mutta nykyäänkin mittalaitteiden kuormanohjausrelettä käytetään lähinnä sähkölämmityskohteiden yö- ja päiväsaatöön. Lisäksi standardoitujen ohjausrajapintojen puuttumisen takia palveluntarjoaja, esimerkiksi sähköhän myyjä tai aggregaattori, ei pysty lähettämään ohjaussignaaleita mittalaitteille. [20] Kiinteistöistä puuttuu lisäksi usein kuor-

manohjaus-johdotukset, ja ohjausreleen takana ei ole edes pakko olla säädettävää kuormaa, minkä takia kuormia ei pystytä ohjaamaan, vaikka se olisi periaatteessa mahdollista [1].

Vaikka kuormanohjaus periaatteessa onnistuu mittareilla, se ei välttämättä ole paras vaihtoehto. Nykyiset mittarit osaavat ohjata laitteita päälle tai pois, mutta monimutkaisempiin ohjauksiin tai useiden laitteiden sananaikaisiin ohjauksiin ne soveltuvat huonosti. Tämän lisäksi mittarit eivät kelpaa, kun ohjaus tarvitsee tehdä riittävän nopeasti. Mittareiden kautta ohjattavaa kysyntäjoustoja siis ei voida hyödyntää esimerkiksi reservimarkkinoilla, koska ohjaus mittareiden kautta ei nykyisillä järjestelmillä toimi tarpeeksi nopeasti. Mittarit soveltuvat kuitenkin Elspot- ja Elbas-markkinoilla kaupattavan kysyntäjouston ohjaamiseen, koska näillä markkinoilla jää enemmän aikaa aktivoida resurssi. [1] Mittareiden sijasta toinen tapa on tehdä kysyntäjouston ohjaus esimerkiksi erillisellä automaatiojärjestelmällä. Tällöin kysyntäjoustolla voitaisiin muun muassa osallistua nopeaa ohjausta vaativille markkinoille, esimerkiksi juuri reservimarkkinoille. Erillisillä automaatiojärjestelmillä voidaan myös parantaa asiakkaan oman tuotannon hyödyntämistä ja sähköautojen latausmahdollisuuksia, sekä ohjata älykkäämmin useita joustoressseja. [13]

Monet kysyntäjoustoressit toimivat kuitenkin vain lyhyen ajan kestäviin ohjauksiin, esimerkiksi tunniksi. Esimerkiksi sähkölämmitystä ei voida ohjata alaspäin liian pitkäksi aikaa ilman että siitä aiheutuu kohtuutonta haittaa asiakkaalle. Jos joustoja tarvitaan pidemmälle ajalle, esimerkiksi useammiksi tunneiksi tai jopa päiviksi, eivät nämä resurssit tule toimimaan. Pidemmän ajan ohjauksiin sopivia kysyntäjoustoressseja on siis vähemmän tarjolla.

Edellä käsitellyt kappaleet käsittelevät suoraa kulutuksen ohjausta ja sen haasteita. Kuten luvussa 3.2 todettiin, kysyntäjousto voi kuitenkin olla myös välillistä. Tällöin ongelmaksi tulee kulutuksen käyttäytymisen arviointi, kun asiakkaille lähetettäviä markkinasignaaleita, kuten sähkön hintaa, muutetaan [21].

## 4. ECOGRID-MARKKINAMALLI

### 4.1 EcoGrid 2.0 -projekti

EcoGrid 2.0 on tanskalainen kehitys- ja demonstraatioprojekti, jonka tarkoituksena on kehittää markkinapaikka kotitalouksista saatavalle kysyntäjoustolle. Projekti on seuraaja EcoGridEU projektille, ja EcoGrid 2.0 käyttääkin paljon EcoGridEU projektissa asennettua kalustoa. Projektin omistajana toimii Danish Energy Association, ja sen on tarkoitus olla valmiina kesäkuussa 2019 [22].

Projektin tavoitteena on siis luoda joustavuudelle markkinapaikka, missä kantaverkko-yhtiöt, verkonhaltijat ja tasevastaavat voivat hankkia palveluita hajautetuilta energiaresursseilta (DER, Distributed Energy Resource). Hajautetut energiaresurssit ovat käytännössä pieniä ohjattavia tuotanto- tai kulutuskohteita, jotka toimivat kysyntäjoustoparjoajina. Esimerkkinä tästä voisi olla kotitalouden lämpöpumppu. Hajautetut energiaresurssit eivät kuitenkaan suoraan tarjoa palveluita, vaan välikätenä toimii aggregaattori. Aggregaattori kerää useampia hajautettuja energiaresursseja yhteen, ja tarjoaa tätä kautta palveluita kantaverkkoyhtiöille, verkonhaltijoille ja tasevastaaville. Tavoitteena on myös, että kehitettyjen joustavuusmarkkinoiden hyötyjä ja kannattavuutta kasvatetaan sille tasolle, että tämä kannustaa nykyisiä markkinoita liittämään joustavuusmarkkinat osakseen. Tämän lisäksi yhtenä projektin tavoitteena on myös, että loppuasiakkaat voivat vapaasti valita haluamansa aggregaattorin. [23]

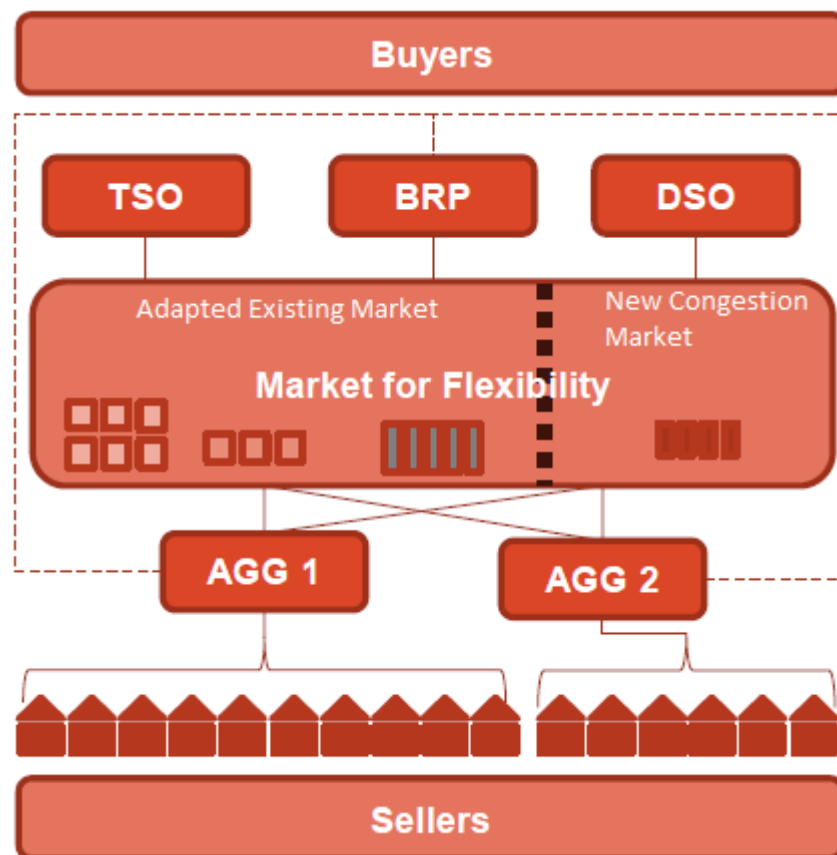
EcoGrid 2.0 on myös demonstraatioprojekti, eli markkinamallia käytetään siis samalla kuin sitä kehitetään ja tutkitaan. Projektia suoritetaan Tanskassa Bornholmin saarella, missä kysyntäjoustoparjoamiseen osallistuu noin 1000 kotitaloutta. Kotitalouksissa on asennettuina etäohjattavia lämpöpumppuja ja sähköpattereita, jotka ovat ohjattavissa asiakkaiden ilmoittamien mukavuuksien rajoissa. [22]

Projektin on siis tarkoitus olla valmis kesäkuussa 2019, minkä takia kaikkia raportteja projektista ei ole vielä mahdollisesti julkaistu. Tämä saattaa rajoittaa tiettyjä työssä käytävien asioiden käsittelyä. Seuraavissa luvuissa käsitellään EcoGrid 2.0 -projektin esitteleminen markkinamalli, toimijat, markkinoilla tarjottavat palvelut, sekä esimerkkipalvelun toimittamiseen liittyvät prosessit. Asiat käsitellään niiden raporttien pohjalta, jotka on julkaistu ennen 20.2.2019.

## 4.2 Joustavuusmarkkinat

### 4.2.1 Rakenne

EcoGrid 2.0 -projektissa kehiteltävät joustavuusmarkkinat toimivat vierekkäin nykyisten markkinoiden kanssa. Tämä tehdään sen takia, että nykyiset markkinat eivät salli EcoGrid 2.0 -projektissa käytettyjen hajautettujen energiaressurssien toimimista markkinoilla, muun muassa kapasiteettien minimivaatimuksien takia. Toisaalta, erillisillä joustavuusmarkkinoilla toimiminen mahdollistaa uusien tuotteiden kehittämisen. Kuvassa 2 on esiteltyä EcoGrid 2.0 -projektissa kehitettyjen markkinoiden rakenne ja keskeisimmät toimijat, ja näiden toimijoiden roolit.



**Kuva 2: EcoGrid 2.0 -markkinoiden rakenne ja keskeisimmät markkinaosapuolet, perustuu lähteeseen [23]**

Kuvasta nähdään eri osapuolien roolit markkinoilla. Ostajia kysyntäjoustolle ovat siis TSO eli kantaverkkoyhtiö, BRP eli tasevastaava ja DSO eli verkonhaltija. Myyjinä taas ovat AGG:t eli aggregaattorit, jotka keräävät joustoa kotitalouksilta. Kotitaloudet esitetään pieninä taloina kuvan alakulmassa.

Kuvasta nähdään myös, että joustavuusmarkkinat (Market for Flexibility) on jaettu kahteen osaan. Ensimmäinen on siirtojen hallinta -markkinat, eli "new congestion market",



missä kauppaa käyvät aggregaattorit ja verkonhaltijat, ja toinen on muokatut nykyiset markkinat, eli “adapted existing market”, missä kauppaa käyvät taas aggregaattorit, tasevastaavat ja kantaverkkoyhtiö. Katkoviivat aggregaattoreiden ja tasevastaavan välillä kuvaavat näiden kahden välistä toimintaa ja sopimusta, jota kuvataan tarkemmin luvussa 4.2.4. Seuraavaksi käydään tarkemmin läpi siirtojen hallinta -markkinoita ja muokattuja nykyisiä markkinoita.

#### **4.2.2 Siirtojen hallinta -markkinat (New congestion market)**

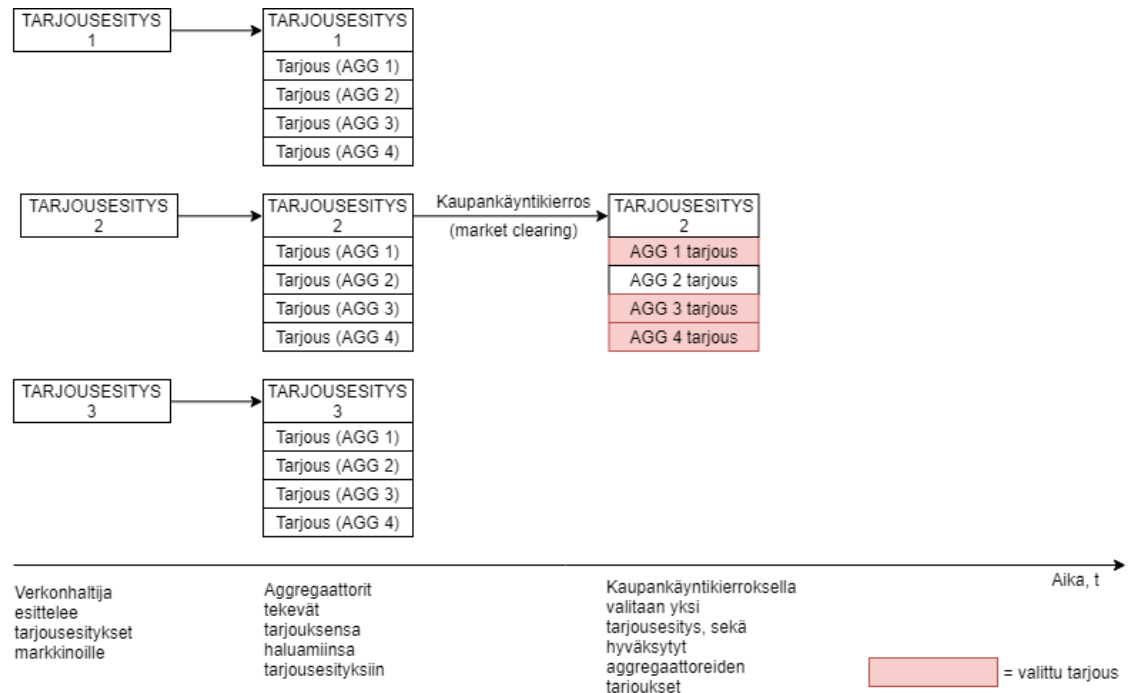
Näillä markkinoilla verkonhaltijoilla on siis mahdollisuus hankkia joustavuutta aggregaattoreilta. Kun aggregaattori myy joustoa, se myy sitä palveluna. Aggregaattorin myymä palvelu voi olla esimerkiksi tehon alentaminen tietyssä ajankohtana. Verkonhaltijalla voi olla esimerkiksi tarve vähentää kulutusta tietyllä alueella ja tietyssä aikana. Verkonhaltijat lähettävät tarjouksensa siirtojen hallinta -markkinoille omien tarpeidensa mukaisesti. Tarjousesitys siis sisältää tiedot siitä, mitä verkonhaltija haluaa ostaa.

Verkonhaltijan tarpeen tyydyttäminen voidaan kuitenkin hoitaa useammalla tavalla. Verkonhaltija etsii parhaan ratkaisun tarpeensa tyydyttämiseen lähettämällä useita erilaisia tarjousesityksiä markkinoille, joista valitaan lopulta paras vaihtoehto. Jokainen verkonhaltijan lähettämä yksittäinen tarjousesitys siis tyydyttää verkonhaltijan tarpeen, mutta eri tavalla. Tarjousesityksissä voi siis vaihdella esimerkiksi verkonhaltijan tarvitseman jouston teho, kesto tai ajankohta. Verkkoyhtiöiden tarpeet ovat paikallisia, minkä takia tarjousesityksissä tulee ilmoittaa aina tarpeen sijainti. Sijainti ilmoitetaan tarjousesityksissä listana hajautettuja energiaressusseja – tai paremminkin listana hajautettujen energiaressurssien todentamisessa käytettyjä koodeja – jotka voivat osallistua palvelun toimitamiseen. [24] Verkonhaltijalla tulee siis olla tiedossa hajautettujen energiaressurssien sijainnit, mikä käytännössä tarkoittaa sitä että verkonhaltija tietää resurssien todentamisessa käytetyt koodit. Projektissa ei asiasta mainita, mutta luultavasti jossain tietokannassa, esimerkiksi datahubissa, on kaikkien hajautettujen energiaressurssien koodit ja sijainti.

Tämän jälkeen aggregaattorit tekevät omat tarjouksensa jokaiselle verkonhaltijan tekemällä tarjousesitykselle. Aggregaattorit voivat tehdä tarjouksensa vain niiden hajautettujen energiaressurssien avulla, jotka ovat verkonhaltijan tarjousesityksessä listattuna. Toisin sanoen aggregaattorit voivat osallistua verkonhaltijan tarpeen täyttämiseen vain niillä hajautetuilla energiaressusseilla, jotka ovat verkonhaltijan tarpeen alueella. Aggregaattoreiden tarjoukset siis sisältää tiedot siitä, kuinka paljon joustoa aggregaattori voi tarjota ja millä hinnalla. Aggregaattoreiden tarjouksissa on myös se olennainen asia, että ne ovat myös mahdollista jakaa osiin. Toisin sanoen aggregaattori voi tarjota esimerkiksi

yhteensä 10 kW joustoa, mutta 1 kW:n osissa. Jos verkonhaltija ei tarvitse koko 10 kW, voi hän hankkia niin monta 1 kW:n osaa kuin tarvitsee.

Esitystarjouksista valitaan kaupankäyntikierroksella (market clearing) lopulta vain yksi. Tällöin aggregaattorien tarjouksista hyväksytään vain ne, jotka ovat tehty kaupankäyntikierroksella valittuun tarjousesitykseen, ja jotka ovat hyväksytyt tämän tarjousesityksen sisällä. [24] Siirtojen hallinta -markkinoiden toimintaa on pyritty selventämään kuvassa 3.



**Kuva 3: Siirtojen hallinta -markkinoiden toiminta, esimerkki**

Kuvassa 3 esitetään siis yksinkertaistetusti siirtojen hallinta -markkinoiden toiminta. Kuvassa AGG:t ovat siis aggregaattoreita, joita on kuvan 3 esimerkissä neljä. Verkonhaltija tekee kolme erilaista tarjousesitystä, joihin kaikkiin aggregaattorit tekevät omat tarjouksensa. Esimerkin kaupankäyntikierroksella valittiin siis tarjousesitys 2, ja tästä tarjousesityksestä valittiin aggregaattoreiden 1, 3 ja 4 tarjoukset. Aggregaattorit voivat siis tarjota niin paljon joustoa kuin pystyvät jokaiseen tarjoukseen, koska vain yksi tarjouksista voidaan valita. Tarjousesitys ja aggregaattoreiden tarjoukset valitaan kaupankäyntikierroksella. Projektissa esitellään useita mahdollisia tapoja kaupankäyntikierroksen toteuttamiseen, mutta nämä eivät kuulu tämän työn sisältöön.

Kaupankäyntikierros voidaan käydä siirtojen hallinta -markkinoilla päiviä tai kuukausiakin ennen palvelun toimitusta. Näillä markkinoilla joustavuuden hinta määräytyy kaupankäyntikierroksen mukaan (pay-as-cleared), eli kaikki aggregaattorit joiden tarjous hyväksyttiin, saavat tarjoamalleen joustavuudelle saman hinnan. [23]

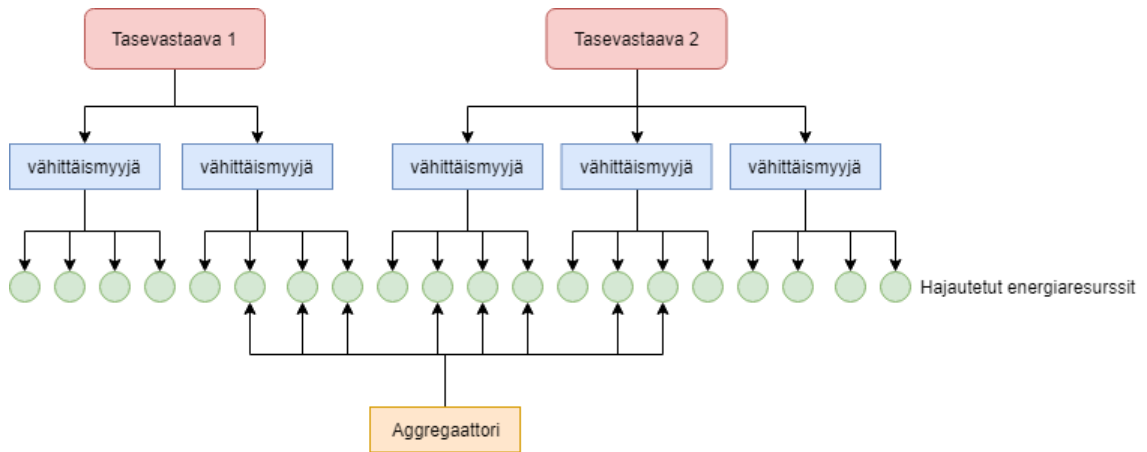
Tarjousesityksissä ja tarjouksissa on myös se olennainen asia, että kaikkien tehojen tulee olla ”pienimmän tarjottavan tehon” (minimum granularity) monikertoja. Eli verkonhaltijan tarvitsema teho, sekä aggregaattoreiden tarjoamat tehot on ilmoitettava tämän pienimmän tarjottavan tehon monikertana. [23] Projektissa ei kuitenkaan määritellä missään, miten pienin tarjottava teho valitaan, tai ketkä sen valitsevat.

Aggregaattorien kauppaamat palvelut näillä markkinoilla ovat yleisesti jaettavissa ajan perusteella tai käskystä aktivoituihin palveluihin. Ajan perusteella aktivoidut palvelut aktivoidaan automaattisesti sovittuna ajankohtana aggregaattorin toimesta. Käskystä aktivoidut palvelut ovat taas ostajan aktivoitavissa sopimuksessa sovitulla ajalla. Palveluita ja niiden toimitusta käydään tarkemmin läpi luvussa 4.3.

### **4.2.3 Muokatut nykyiset markkinat (Adapted existing markets)**

Nämä markkinat tarjoavat siis joustavuutta kantaverkkoyhtiölle ja tasevastaaville. Näillä markkinoilla pyritään projektissa kuvaamaan todellisia markkinoita, eli Elspot-, Elbas-, säätösähkö-, säätökapasiteetti- ja reservimarkkinoita. Näitä markkinoita on siis muokattu siten, että ne mahdollistavat EcoGrid 2.0 -projektissa käytettyjen kysyntäjoustoresurssien kauppaamisen kyseisille markkinoille. Käytännössä siis on pienennetty todellisten markkinoiden minimikapasiteettivaatimuksia, sekä on mahdollistettu toipumisen (rebound) kauppaaminen, mikä ei nykyisillä todellisilla markkinoilla ole vielä mahdollista. [23]

Aggregaattorit eivät kuitenkaan suoraan käy kauppaa muokatuilla nykyisillä markkinoilla, vaan tämän tekee tasevastaava aggregaattorin puolesta. Tasevastaavalla ja aggregaattorilla on EcoGrid 2.0 -projektissa sopimus, joka muun muassa velvoittaa tasevastaavan välittämään aggregaattorin tarjoukset aggregaattorin haluamille muokatuille nykyisille markkinoille. Tasevastaava saa tästä korvauksen aggregaattorilta. Aggregaattorin tulee tehdä kyseinen sopimus jokaisen tasevastaavan kanssa, joka toimii avoimena toimittajana aggregaattorin ohjaaman hajautetun energioresurssin sähkön vähittäismyyjälle. Tiilannetta on pyritty havainnollistamaan kuvan 4 esimerkissä.



**Kuva 4: Esimerkki tasevastaavan, sähkön vähittäismyyjien ja aggregaattorin välisistä yhteyksistä.**

Kuvassa 4 aggregaattorista lähtevät nuolet siis kuvaavat mitä hajautettuja energiare-surssseja aggregaattori ohjaa. Tasevastaavista lähtevät nuolet kertovat minkä vähittäismyyjien avoimena toimittajana tasevastaavat toimivat. Vähittäismyyjistä lähtevät nuolet taas kertovat, minkä hajautettujen energiareсурssien sähkön myyjänä vähittäismyyjä toimii. **Kuvan 4 esimerkissä kyseinen aggregaattori siis joutuisi tekemään sopimuksen molempien tasevastaavien kanssa**, koska aggregaattori ohjaa hajautettuja energiare-surssseja (vihreät pallot), jotka ovat molempien tasevastaavien avoimessa toimitusketjussa.

Projektissa ei kuitenkaan määritellä mille tasevastaavalle aggregaattorin tulee tarjoukset lähettää. Oletetaan, että aggregaattori käyttää kaikkia kuvan 4 esimerkissä ohjaamia hajautettuja energiare-surssseja muodostaessaan tarjouksen. EcoGrid 2.0 -projekti ei kuitenkaan määrittele, kumman tasevastaavan vastuulla on välittää tarjous muokatuille nykyisille markkinoille. Tällainen tarjous pitäisi kuitenkin olla mahdollinen tehdä, sillä jos tarjoukset tehtäisiin tasevastaavakohtaisesti, voisi tarjouksien teho jäädä monissa tarjouksissa hyvinkin pieneksi. Aggregaattorin ja tasevastaavan välistä sopimusta käydään läpi lisää luvussa 4.2.4.

Näillä markkinoilla tarjottavat palvelut voivat olla ajan perusteella tai käskystä aktivoitavia, mutta joustoresurssien tulee myös tukea muita toimitustapoja, markkinoista riippuen. Esimerkiksi jos hajautettuja energiare-surssseja halutaan kaupata FCR-reservinä, tulee resurssin osata aktivoitua taajuuden muutoksen perusteella.

#### 4.2.4 Toimijat

Joustavuusmarkkinoihin liittyy suoraan useampi osapuoli, jotka eivät kaikki tule esille kuvasta 2. Nämä osapuolet ovat: aggregaattori, kantaverkko-yhtiö, verkonhaltija, tasevas-

taava, markkinaoperaattori, mittausvastaava ja vahvistusvastaava. Tässä luvussa käydään läpi tarkemmin näiden osapuolien roolit, tehtävät ja vaatimukset tarkemmin läpi, sekä pohditaan hieman mitä osapuolien tulee ottaa huomioon joustavuusmarkkinoilla toimiessa.

### **Aggregaattori**

Aggregaattori on EcoGrid 2.0 -projektissa esiteltävä uusi markkinaosapuoli, joka toimii joustavuusmarkkinoiden ja kotitalouksien välissä. Aggregaattorin tehtävänä on siis kerätä hajautettujen energiaressurssien tarjoamaa joustavuutta suuremmaksi kokonaisuudeksi, ja tarjota sitä joustavuusmarkkinoille. Toisaalta, aggregaattorin tehtävänä on myös tarjota palveluita kuluttajalle. Näitä palveluita voi olla muun muassa sähkön kulutuksen tai lämmityksen optimointi. Aggregaattorin vastuulla on siis hajautettujen energiaressurssien ohjaus siten, että se vastaa joustavuusmarkkinoilla kaupattuja palveluita. Tämän lisäksi aggregaattorin tulee pitää huolta siitä, että kulutuksen ohjaus tehdään kunnioittaen kuluttajan asettamia vaatimuksia mukavuudelle. [23]

Kuten luvussa 4.2.3 todettiin, EcoGrid 2.0 -projektissa aggregaattoreilla tulee olla **sopimukset tasevastaavien kanssa**. Sopimus velvoittaa aggregaattorin toimittamaan tasevastaaville asiakasjoukkonsa (asiakkaat, joita aggregaattori ohjaa ja jotka ovat tasevastaavan avoimessa toimitusketjussa) ohjattavan kulutuksen kulutusennuste (day-ahead load schedule). Kulutusennuste sisältää myös palveluiden aktivoinnit jotka tiedetään tehtävän seuraavana päivänä (ajan perusteella aktivoitavat palvelut). Jos asiakasjoukko kuitenkin koostuu asiakkaista, joilla on vain yksi aggregaattori, on aggregaattorin lähetettävä tasevastaavalle ennuste asiakasjoukon kokonaiskulutuksesta. [23] EcoGrid 2.0 -demonstraatioissa asiakkailla on vain yksi aggregaattori, minkä takia aggregaattori siis toimittaa demonstraatioissa asiakkaiden kokonaiskulutuksen ennusteen.

Aggregaattorin tulee pitää todellinen kulutus jatkuvasti tarpeeksi lähellä tätä ennustettua kulutusta, lukuun ottamatta tilanteita, jolloin aggregaattori aktivoi palveluita [23]. Aggregaattorin aktivoidessa palveluita joita ei ole ilmoitettu kulutusennusteessa, joutuu aggregaattori tietenkin korvaamaan tasevastaavan taseeseen aiheutuneet ongelmat, sopimuksen ehtojen mukaisesti. Kulutuksen rajat (confidence interval) joiden sisällä aggregaattorin tulee pysyä, määritellään "Baseline Tool" -työkalun avulla, joka käydään läpi luvussa 4.3. Jos kulutus ylittää nämä rajat, joutuu aggregaattori korvaamaan tasevastaavalle tämän taseeseen aiheutuneet ongelmat, osapuolten välisen sopimuksen ehtojen mukaisesti. Jos asiakkailla on kuitenkin useita aggregaattoreita samassa kotitaloudessa, joutuu aggregaattori ennustamaan vain ohjattavaa kulutusta. Tällöin tulee aggre-

gaattorin luultavasti myös pitää vain ohjattava kulutus ennusteen rajoissa, mikä on aggregaattorille huomattavasti helpompaa. Tämä kuitenkin vaatii sen, että joustoresursseista on saatavilla erillinen kulutuksen mittausta.

Aggregaattorin vastuulla on myös tehdä ilmoitus tiettyjen palveluiden aktivoinneista. Aggregaattorin aktivoimissa verkkonhaltijan ostaman, ajan perusteella aktivoitavan palvelun, tulee aggregaattorin lähettää tästä ilmoitus markkinaoperaattorille. Markkinaoperaattori ohjaa tämän ilmoituksen verkkonhaltijalle, eli tieto vain kulkee markkinaoperaattorin läpi. Tasevastaaville voidaan myös lähettää ilmoitus jos tämän asiakkaita ohjataan, jos siitä on sovittu aggregaattorin ja tasevastaavan välisessä sopimuksessa. Tämä ilmoitus lähetetään kuitenkin suoraan aggregaattorilta tasevastaavalle. Käskyllä aktivoitavan palvelun tapauksessa verkkonhaltija lähettää aktivointikäskyn markkinaoperaattorille, joka ohjaa aktivointikäskyn taas aggregaattorille. Aggregaattorin tulee vahvistaa markkinaoperaattorille saaneensa käskyn vastaan, joka taas ohjaa vahvistuksen verkkonhaltijalle. [23]

Samassa kotitaloudessa tulee myös pystyä toimimaan useampi aggregaattori. Tämän lisäksi kotitalouksilla tulee myös olla mahdollisuus valita ja kilpailuttaa aggregaattorit, samalla tavalla kuin nykyään on mahdollisuus valita sähkön vähittäismyyjä. [23] EcoGrid 2.0 -projektissa ei kuitenkaan mainita mitään aggregaattoreiden välisestä kommunikaatiosta. Ilman aggregaattoreiden välistä koordinaatiota voi syntyä ongelmia asiakaspäässä, jos esimerkiksi molemmat aggregaattorit ohjaavat laitteita, joilla on vaikutus samaan asiaan, esimerkiksi sisälämpötilaan. Eli jotta useampi aggregaattori voisi toimia samassa kotitaloudessa, vaaditaan aggregaattoreilta kommunikaatiota, tai aggregaattoreiden tulee ohjata laitteita, joilla on vaikutus eri asioihin. Esimerkkinä toinen aggregaattori voi ohjata lämpöpumppua ja toinen sähköauton latausta.

Aggregaattori voi myös tehdä kaupat aktivoinnista esimerkiksi sekä kantaverkkoyhtiön, että verkkonhaltijan kanssa. Jos molemmat kuitenkin tilaavat palvelun toimituksen samaan aikaan, tulee aggregaattorin itse päätellä kummalle palvelun toimittavat, koska EcoGrid 2.0 -projektissa ei oteta kantaa mitä palveluita tulee priorisoida. Palvelun toimittamisen laiminlyönti voi kuitenkin aiheuttaa vakaviakin seurauksia, minkä takia aggregaattoreiden tulisi välttää tällaista tilannetta, tai varmistaa että molemmat palvelut ovat mahdollista toimittaa. EcoGrid 2.0 -projektissa ei tarkenneta mitä seuraamukset mahdollisesti ovat, mutta luultavasti aggregaattori joutuu hyvittämään toimittamatta jätetyn palvelun rahallisena hyvityksenä.

## **Kantaverkkoyhtiö**

Kantaverkkoyhtiön rooli on siis joustavuuspalveluiden ostajana. Kantaverkkoyhtiön vastuulla on reaaliaikainen tehotasapainon hallinta, sekä maanlaajuisen kantaverkon ylläpito ja kehittäminen. Kantaverkkoyhtiö voi siis ostaa joustavuusmarkkinoiden tarjoamia palveluita muun muassa tehotasapainon hallintaan, samalla tavalla kuin se nykyään hankkii palveluita säätösähkömarkkinoilta, tai esimerkiksi kantaverkon pullonkaulojen hallintaan.

Verkonhaltijan tilaamat palvelut eivät vaikuta kantaverkkoyhtiön tasolla [23], mutta näiden palveluiden aktivointi voi aiheuttaa ongelmia tasevastaavan taseeseen. Kantaverkkoyhtiön tekemät ohjaukset taas saattavat vaikuttaa verkkonhaltijaan huomattavasti enemmän. EcoGrid 2.0 -projektissa ei mainita, kuinka eri toimijat kommunikoivat joustotarpeitaan toisillensa, tai että millaista yhteistyötä tehokas kysyntäjoustopalvelun hyödyntäminen vaatii eri osapuolilta. Eturistiriidat, mistä puhuttiin luvussa 3.4, ovat siis ongelmia mihin EcoGrid 2.0 -projektissa ei oteta kantaa.

## **Verkonhaltija**

Verkonhaltijan rooli on joustavuuspalveluiden ostajana. Verkonhaltijan vastuulla on sähkön jakaminen kuluttajille, verkon ylläpito- ja kehittäminen, sekä sähkönkäyttö- ja tuotantopaikkojen liittäminen verkkoon. Verkonhaltija voi hyödyntää joustavuusmarkkinoiden palveluita muun muassa verkon vikatilanteiden hallinnassa, sekä huoltotöiden yhteydessä.

Vikatilanteissa vika eristetään ja sähköä pyritään toimittamaan mahdollisimman usealle asiakkaalle mahdollisimman nopeasti. Tämä voi kasvattaa verkon kuormitusta vian palautuskytkentöjen alueella merkittävästi, sekä aiheuttaa jänniteongelmia. Joustavuusmarkkinoiden palvelut voivat toimia apuna näissä ongelmissa, sekä toimia samalla vaihtoehtona verkon vahvistamisen investoinneille. Verkon vahvistamisen investoinnit on tähän mennessä ollut yksi tapa estää vikatilanteiden ylikuormitus- ja jänniteongelmia. Toisaalta, viankorjaus saattaa kestää useita tunteja, joten käytettävät joustavuusmarkkinoiden palvelut tulee olla saatavissa tarpeeksi pitkäksi aikaa. Verkonhaltija voi myös varata palveluita käyttöönsä vikatilanteiden varalle (käskystä aktivoitavat palvelut). Tämä voi kuitenkin tulla kalliiksi, sillä palveluiden varaaminen maksaa erikseen. Palveluita käsitellään enemmän seuraavassa luvussa 4.3. Joustavuusmarkkinoiden palveluita voidaan myös käyttää suunniteltujen huoltokeskeytyksien hallintaan. Tällöin keskeytykset voidaan yleensä kuitenkin suunnitella niin, että tarve joustolle on mahdollisimman pieni.

Kuten aikaisemmin totesimme, kantaverkkoyhtiön tekemät ohjaukset saattavat aiheuttaa ongelmia verkkoyhtiöille. EcoGrid 2.0 -raportissa [23] todetaan, että verkkonhaltijan tulee

hyväksyä se riski, että kantaverkon tilaamat aktivoinnit saattavat aiheuttaa ongelmia verkonhaltijan siirtojen hallintaan (congestion management). Verkonhaltijan tulee raportin mukaan näissä tilanteissa hoitaa siirtojen hallinta joko ostamalla itse joustavuutta siirtojen hallinta -markkinoilta, tai vahvistamalla verkkoa investoinneilla. Tämä ei tietenkään ole verkonhaltijoiden näkökulmasta kovin positiivista. Kysyntäjoustopuutteen tulisi yleistyä osittain kannattavaa kaikkien siihen osallistuvien osapuolten kannalta [1], minkä takia tämä EcoGrid 2.0 -raportissa esitetty verkonhaltijoiden ”riskien hyväksyminen” ei ehkä ole paras vaihtoehto. Mieluummin tulisi löytää keino toimijoiden välisen yhteistyön avulla poistaa tai edes ehkäistä mahdollisten ongelmien syntyminen.

### **Tasevastaava**

Tasevastaava on myös joustavuusmarkkinoiden palveluiden ostaja. Tasevastaavan tehtävänä on hallita oma taseensa, sekä mahdollisesti asiakkaidensa tase. Tasevastaava voi siis hyödyntää joustavuusmarkkinoiden palveluita taseiden hallinnassa.

Tasevastaavan tehtyä sopimuksen aggregaattorin kanssa, on tasevastaava velvollinen ohjaamaan aggregaattorin tarjoukset muokatuille nykyisille markkinoille. Tasevastaava saa tästä tietenkin aggregaattorilta palkkion [23]. Tasevastaava tietenkin hyötyy välikätenä toimimisesta myös siten, että se saa suoraan tietoonsa hyväksytyt kaupat, eli aggregaattorin tulevaisuudessa aktivoitavat tai mahdollisesti aktivoitavat palvelut, ja voi varautua niihin.

EcoGrid 2.0 -raportissa [23] sanotaan, että tasevastaava ohjaa aggregaattoreiden tarjoukset muokatuille nykyisille markkinoille, koska tasevastaavalla on enemmän osaamista ja kokemusta nykyisillä markkinoilla toimimisesta. Lisäksi tämä on raportin mukaan kustannustehokas tapa aggregaattorille tehdä kauppaa, koska aggregaattorin ei tarvitse investoida asiantuntevuuteen kaupankäynnissä. Jos tasevastaava kuitenkin vain ohjaa aggregaattorin tarjoukset markkinoille, jää vähän epäselväksi missä välissä tasevastaava voi hyödyntää kaupankäyntiosaamistaan.

### **Markkinaoperaattori (Market Operator)**

Markkinaoperaattorin rooli on pitää huolta itse markkinapaikasta. Markkinaoperaattori siis pitää huolen siitä, että joustavuusmarkkinat toimivat tehokkaasti ja luotettavasti, ja että markkinoille pääsy on mahdollista. Markkinaoperaattori toimii myös välikätenä, kun eri toimijat lähettävät toisilleen ilmoituksia, vahvistuksia ja käskyjä. Tämä sen takia, että kolmannella osapuolella olisi tieto kaikista tapahtumista mahdollisia ongelmatilanteita varten. Tämä tekee markkinaoperaattorin roolin todella tärkeäksi, ja samalla koko järjestelmän kannalta haavoittuvaksi. Lisäksi, koska käskyjen tulee mennä markkinaoperaattorin kautta, saattaa käskyjen läpimenoajat olla pidempiä kuin esimerkiksi hajautetulla



järjestelmällä. Markkinaoperaattorin vastuulla on myös säilyttää ilmoituksia, vahvistuksia ja käskyjä tietyn ajan. EcoGrid 2.0 -projektissa ei kuitenkaan tarkenneta, kuinka kauan aktivointisignaaleja tulee säilyttää.

### **Mittausvastaava (Metering Responsible Party)**

Mittausvastaavan rooli joustavuusmarkkinoilla on avustaa markkinoiden toimintaa. Mittausvastaava on vastuussa joustavuusmarkkinoiden palveluiden vahvistamisesta ja selvityksessä käytettyjen mittareiden asennuksista, mittaustuloksien keräyksestä, mittaustuloksien tarkkuudesta ja luotettavuudesta, sekä luotettavan datan toimittamisesta asianmukaisille osapuolille. Asianmukaisilla osapuolilla tarkoitetaan vahvistusvastaavaa ja datahubia. EcoGrid 2.0 -projektissa oletetaan datahubin olemassaolo, koska Tanskassa on jo käytössä oma datahub [25].

Palveluiden vahvistukseen käytettävä mittausdata on siis hajautettujen energiaresursien kulutus, tai jos tätä ei ole saatavilla niin kulutuskohteen kokonaiskulutuksen data. EcoGrid 2.0 -projektissa hajautetuilla energiaresursseilla ei ole erikseen omaa mittariaan, joten varmistukseen tarvittava data saadaan kulutuskohteen etäluettavista mittareista, joiden lukemat mitataan 15 minuutin välein. Etäluettavien mittareiden data saadaan viiveellä, joka on EcoGrid 2.0 -projektissa maksimissaan viisi päivää itse mittauksesta. [23]

Projektissa ei kuitenkaan tarkenneta voiko tämän roolin hoitaa jokin muu nykyinen markkinaosapuoli, vai pitääkö sen olla kolmas osapuoli. Koska mittausvastaavan tulee asentaa ja käyttää palveluiden vahvistamiseen tarkoitettuja mittareita, helpoin tapa olisi luultavasti antaa tämä rooli aggregaattorille. Toisaalta, tämä antaisi aggregaattorille tietenkin mahdollisuuden huijaukseen, muun muassa muokkaamalla mitattua dataa.

### **Vahvistusvastaava (Verification Responsible Party)**

Vahvistusvastaavan rooli on mittausvastaavan tavoin avustaa joustavuusmarkkinoiden toimintaa. Vahvistusvastaavan tehtäviä ovat mittausvastaavalta saatavan mittausdatan käyttäminen joustavuusmarkkinoilla tehtävien kauppojen vahvistamiseen. Eli vahvistusvastaava varmistaa sen, että joustavuusmarkkinoilla kaupatut palvelut ovat toimitettu asianmukaisesti. Vahvistusvastaavan roolin voi ottaa muun muassa verkonhaltija, kantaverkkoyhtiö, tasevastaava, markkinaoperaattori, tai mahdollisesti jokin kolmas osapuoli, mutta ei tietenkään aggregaattori.

## Sähkön myyjä

Sähkön myyjien roolista tai vaikutuksista ei puhuta EcoGrid 2.0 -projektissa hirveästi mitään. Sähkön myyjät eivät EcoGrid 2.0 -raportin [23] mukaan osallistu joustavuusmarkkinoille, ja niiden tehtävänä on raportin mukaan toimia vain tasevastaavan ja asiakkaan välissä. Käytännössä sähkön myyjille ei siis tarjota EcoGrid 2.0 -markkinamallissa joustoa, eli muun muassa mahdollisuutta kattaa osaa kulutuksesta kysyntäjoustolla. Tämä ei tietenkään ole sähkön myyjille positiivinen asia. Toisaalta, tämä voi estää eturistiriitojen syntyä, mistä puhuttiin luvussa 3.4. Projektissa aggregaattoreilla on siis mahdollisuus tarjota joustoa Elspot ja Elbas-markkinoille, mutta sähkön myyjät eivät saa tätä joustoa näiltä markkinoilta hankkia.

Aikaisemmin todettiin, että aggregaattoreiden ohjaukset voivat aiheuttaa ongelmia tasevastaavan taseeseen. Samalla tavalla ne vaikuttavat tietenkin ongelmia sähkön myyjän taseeseen. Normaalisissa tilanteissa, jos sähkön myyjän taseessa on virhettä, joutuu tasevastaava korjaamaan tämän, ja sähkön myyjä maksaa tämän korjauksen. EcoGrid 2.0 -projektissa jos aggregaattori aiheuttaa virhettä sähkön myyjän – ja samalla tasevastaavan taseeseen – joutuu aggregaattori korvaamaan aiheutuneen virheen suoraan tasevastaavalle. Tällöin siis virhe näkyisi sähkön myyjän taseessa, mutta korvauksen siitä tekisi aggregaattori. EcoGrid 2.0 -projektissa ei tätä aihetta käsitellä ollenkaan, joten jää hieman epäselväksi miten taseiden hallinta todellisuudessa on tarkoitus hoitaa.

### 4.3 Joustavuuden tarjoamat palvelut

Joustavuusmarkkinoilla tarjottavat palvelut voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen on **ajan perusteella aktivoitava palvelu**, eli joustavuuden aktivoinnin ajankohta, suuruus ja aktivoinnin pituus ovat ennalta sovittuja. Toinen on **käskystä aktivoitava palvelu**, mitkä siis aktivoidaan palvelun tilaajan käskystä tai signaalista. Käskystä aktivoituvat palvelut ovat periaatteessa ostajan aktivoitavissa useampaan kertaan, niin kauan kuin sopimus on voimassa. Tätä saattaa kuitenkin haitata resurssin toipumistarve, minkä takia EcoGrid 2.0 -projektissa on sovittu, että palvelut ovat aktivoitavissa vain kerran päivässä. [23]

Toipumistarpeen teho ja pituus riippuu edeltävän ohjauksen suuruudesta ja pituudesta. Toipumisen tehoa ja pituutta voidaan halutessa muokata, tai se voi tapahtua automaattisesti, esimerkiksi lämmityskuormilla termostaatti palauttaa lämpötilan automaattisesti normaalitilaan ohjauksen jälkeen. Toipuminen on olennainen osa palveluita, sillä se on tietyillä joustoresursseilla, esimerkiksi lämpöpumpuilla, pakko suorittaa ohjauksen jälkeen.

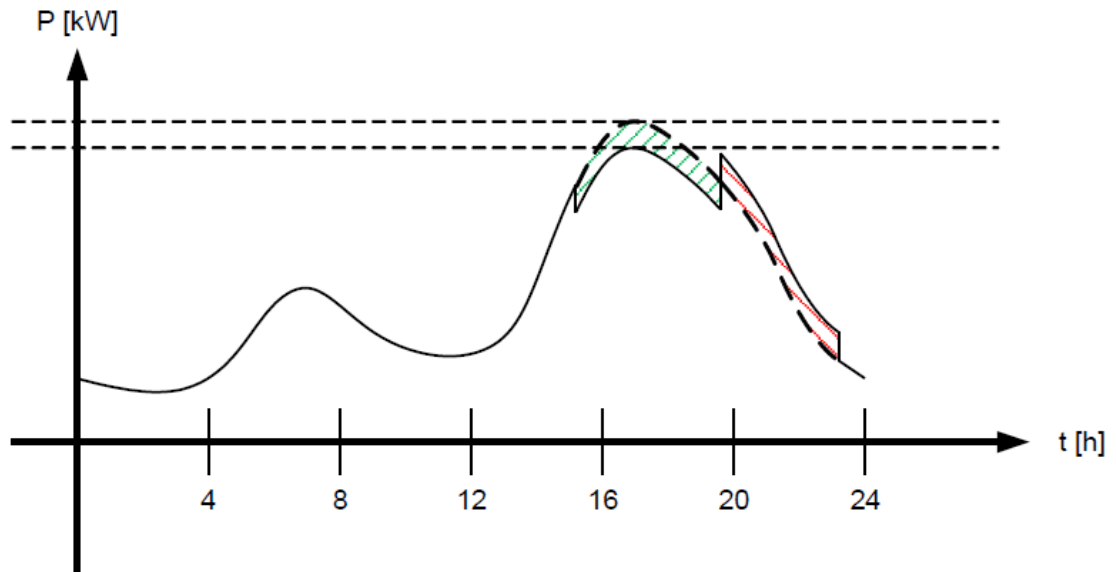
Ajan perusteella aktivoidut palvelut siis aktivoidaan automaattisesti sovittuna ajankohdana aggregaattorin toimesta. EcoGrid 2.0 -projektin raporteissa ei kuitenkaan mainita, että tämän palvelun peruminen olisi mahdollista. Luulisi kuitenkin, että jos aktivointiin olisi vielä reilusti aikaa (esimerkiksi muutama päivä), olisi aktivoinnin peruminen mahdollista, varsinkin kun tiedetyistä aktivoinneista ilmoitetaan tasevastaavalle vasta päivää ennen itse aktivointia. Jos palvelun ostaja haluaa palvelun ehdollisena, eli haluaa itse valita aktivoiko palvelun vai ei, tulee palvelu ostaa käskystä aktivoituna. [23] EcoGrid 2.0 -projektissa ei myöskään mainita, että palvelu olisi aktivoitavana vajaalla teholla. Kaikki palvelut siis aktivoidaan sillä teholla, mitä on kaupankäyntitilanteessa sovittu. Joustavuuden tarve kuitenkin perustuu monissa tapauksissa kulutusennusteisiin, minkä takia näin jäykkä toiminta ei ehkä ole paras vaihtoehto.

Palveluiden tapauksessa aggregaattorin toimittamalla joustavuudella tarkoitetaan eroa normaaliin kulutukseen (baseline). Normaali kulutus on tietyn asiakasjoukon sähkönkulutus tilanteessa, jolloin ulkoisia ohjauksia, eli aggregaattoreiden ohjauksia, ei tehdä [23]. Normaali kulutus lasketaan "Baseline Tool" työkalun avulla. "Baseline Tool" työkalu on neuroverkkoihin perustuva ohjelma, joka ottaa sisääntulona ohjattavien kotitalouksien koodit, ohjauksen aloitusajankohdan sekä keston, ja palauttaa ennustetun normaalin kulutuksen, sekä tälle varmuusmarginaalin. Käytännössä "Baseline Tool" -työkalu ensin lataa asiakkaiden kulutustiedot datahubista (Tanskassa on jo käytössä datahub), ja opettaa tällä tiedolla neuroverkkoa ennustaman asiakkaiden kulutusta. Tämän jälkeen työkalu hyödyntää sääennusteita tulevalta ohjauksen ajankohdalta, ja laatii kulutusennusteet valitulle asiakasryhmälle. Eli työkalu yhdistää sääennusteet kulutuksen historiatietoon, ja sitä kautta ennakoii kulutusta, sekä tarjoaa tälle kulutukselle varmuusmarginaalin. Työkalua käytetään muun muassa palveluiden varmistamisessa.

On myös hyvä muistaa, että aggregaattorit eivät kuitenkaan ohjaa asiakkaan kokonaiskulutusta, vaan pelkästään asiakkaan hajautetun energiaressurssin kulutusta. Tämä asia on tärkeä tiedostaa varsinkin tehon rajoitus -palvelun kohdalla, missä verkonhaltijan tulee ennustaa aggregaattorin ohjattavaa kapasiteettia. Seuraavaksi käymme läpi EcoGrid 2.0 -projektissa aggregaattoreiden tarjoamat palvelut.

### **Kuorman alentaminen**

Kuorman alentaminen palveluna tarkoittaa sitä, että aggregaattori ohjaa hajautettujen energiaressurssien kulutusta pienemmäksi sovittuun määrään ja ajan. Tämä voidaan myös toteuttaa ohjaamalla hajautettujen energiaressurssien tuotantoa ylöspäin yhtä paljon ja yhtä pitkän ajan. Ideana on siis vähentää verkon tehontarvetta. [23] Kuvassa 5 on yksinkertainen esimerkki palvelun toimituksesta.



**Kuva 5: Kuorman alentaminen -palvelun toimitus [23]**

Kuvassa esitetään kuorman kulutusteho ajan funktiona. Kulutusta alennetaan siis tehohipun kohdalla hetkeksi, mitä kuvaa vihreä alue, mutta tämä täytyy kompensoida lisäämällä tehoa normaalia suuremmaksi kuorman alentamisen jälkeen, jota taas kuvaa punainen alue. Punainen alue, eli toipumiseen tarvittava volyyymi riippuu paljon ohjattavasta kohteesta, ja aina ei toipumista edes vaadita. Tyypillisesti toipumiseen tarvittava volyyymi on kuitenkin yhtä suuri kuin kuorman alentamisen volyyymi [23]. Toipumista ei yleensä tarvitse ohjata, mutta se on mahdollista. EcoGrid 2.0 -projektissa toipumiselle ei aseteta aloitusajankohtaa palveluiden määrittelyssä, joten toipuminen alkaa aina heti ohjauksen jälkeen riippumatta mikä palvelu oli kyseessä. Kuorman alentamisen ja toipumisen volyyymejä voidaan muokata muuttamalla niiden tehoja, sekä kuinka pitkään ohjausta tehdään. Kuvasta nähdään myös hyvin, kuinka palvelun toimitus laskee huipputehon suuruutta.

Kuorman alentamisen ostajana toimii verkonhaltijat, jotka voivat hyödyntää palvelua siirtojen hallinnan ongelmien ratkaisuun. Tämän takia palvelua tarjotaan lähinnä siirtojen hallinta -markkinoilla. Kuorman alentaminen voidaan tarjota ajan perusteella aktivoitavaksi tai käskystä aktivoitavaksi. Ajan perusteella aktivoitava kuorman alentaminen on hyödyllinen tapauksissa, joissa voidaan hyvin arvioida kulutus. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi iltapäivisin tapahtuvien kulutushuippujen pienentäminen ja aikataulutettujen verkon korjaustöiden aikainen verkon hallinta. Käskystä aktivoitava kuorman alentaminen on taas hyödyllinen muun muassa vikatilanteiden hallinnassa. [23]

### **Kuorman kasvatus**

Kuorman kasvatus toimii samalla periaatteella kuin kuorman alentaminenkin, mutta vain päinvastaisesti [23]. Eli kuorman kasvatuksessa aggregaattori ohjaa kulutusta ensin normaalia suuremmaksi tietyksi ajaksi, ja mahdollinen toipuminen hoidetaan laskemalla kulutus normaalia pienemmäksi. Tämä voidaan tietenkin hoitaa myös ohjaamalla hajautettujen energiaressurssien tuotantoa alaspäin. Kuorman kasvatusta tarjotaan myös lähinnä verkonhaltijoille, ja palvelu voidaan tarjota myöskin ajan perusteella aktivoitavaksi, sekä käskystä aktivoitavaksi. Kuorman kasvatuksesta on hyötyä samoissa tilanteissa kuin kuorman alentamisestakin, pois lukien kulutushuippujen pienentäminen. Tämän tilalla on mahdollisuus kasvattaa kulutusta, kun esimerkiksi paikallista tuotantoa on ylimäärin.

### **Tasapainoituspalvelu**

Kuorman alentaminen -palvelua sekä kuorman kasvatus -palvelua tarjottiin siis vain siirtojen hallinta -markkinoille, eli käytännössä vain verkonhaltijoille. Tasapainotuspalvelu on taas palvelu, joka tarjoaa samoja asioita, eli kuorman kasvatusta tai alennusta, mutta tarjoaa näitä palveluita hieman eri muodossa muokatuille nykyisille markkinoille, eli käytännössä tasevastaaville ja kantaverkkoyhtiölle. Palvelussa aggregaattori ei siis tasapainoita mitään, vaikka palvelun nimi onkin tasapainoituspalvelu. Tasevastaavat voivat hyödyntää palvelua (kuorman kasvatusta/alentamista) muun muassa taseiden hallinnassa, ja kantaverkkoyhtiö manuaalisena taajuudenhallintareservinä (mFRR). [23]

Tasapainotuspalvelussa tarjotaan siis kulutuksen alentamista tai kasvatusta, mutta tässä palvelussa toimitusaika on yhtä pitkä kuin sopimuksen pituus. [23] Eli kahdessa edellisessä palvelussa palvelu voitiin varata pidemmäksi ajaksi, eli sopimuksen pituus oli vapaasti valittavissa. Tasapainoituspalvelussa taas palvelun toimitusaika on automaattisesti sama kuin sopimuksen pituus. Palvelu on siis kertaluonteinen, ja koska sopimuksen pituus on yhtä pitkä kuin toimitusaika, palvelua tarjotaan vain ajan perusteella aktivoitavaksi.

### **Tehon rajoitus**

Tehon rajoitus eroaa merkittävästi edellä mainituista palveluista. Tässä palvelussa aggregaattorin tulee oma-aloitteisesti pitää sovitun asiakasjoukon kokonaiskulutus tietyn rajan alapuolella. Sopimuksessa on siis olennaista määrittää ohjattava asiakasjoukko, kokonaiskulutuksen maksimiteho ja sopimuksen pituus, jonka jälkeen aggregaattori tekee vapaasti tarvittavat ohjaukset pitääkseen kulutuksen alle sovitun rajan. Ohjattavan asiakasjoukon tulee koostua asiakkaista, jotka kuuluvat aggregaattorin portfolioon, eli ovat aggregaattorin ohjattavissa. [23]

Asiakasjoukon kokonaiskulutuksen raja määritellään aina sopimuskohtaisesti. Rajan määrittäminen on kuitenkin monimutkaisempi prosessi, ja tämän tekee ostaja eli käytännössä verkonhaltija. Verkonhaltijan tulee ennustaa ensin kokonaiskulutus ja kokonaistuotanto. Tämä ei kuitenkaan riitä, sillä aggregaattorit eivät suinkaan ohjaa koko kulutusta. Verkonhaltijan tulee siis lisäksi määritellä kuinka suuri osuus kokonaiskulutuksesta ei ole aggregaattorin ohjattavissa, minkä jälkeen se voi arvioida järkevän rajan, minkä alapuolella kulutuksen tulee säilyä. [23] Eli palvelun ostajan tulee siis ottaa huomioon aggregaattorin ohjauskyky määrittäessään järkevää tehon rajoituksen rajaa.

Projektin raporteissa ei kuitenkaan mainita, että mistä kaikki tarvittava tieto on saatavilla. Esimerkiksi verkonhaltijan täytyy edellisen kappaleen perusteella osata ennustaa kuinka suuri osa sovitun asiakasjoukon kulutuksesta on aggregaattorin ohjattavissa. Tämä tieto on tietenkin saatavilla vain aggregaattoreilta. Projektissa siis luultavasti oletetaan että aggregaattorit jakavat tiedon omasta ohjauskyvystään, koska tämän tiedon ennustaminen olisi verkonhaltijalle muuten todella haastavaa. Lisäksi, aggregaattoreiden tulee pitää kulutus tietyn tason alapuolella, mutta projektissa ei mainita mistä aggregaattori saa tämän reaaliaikaisen kulutustiedon. Asiakkaiden kokonaiskulutukset ovat saatavilla datahubista, mutta ne saadaan vasta nopeimmillaan 12 tunnin viiveellä [26].

Tehon rajoitusta voidaan tarjota kolmella eri tavalla. Ensimmäiset kaksi tapaa ovat ajan perusteella aktivointi ja käskystä aktivointi. Näitä käytetään, kun tehoa halutaan rajoittaa lyhyellä ajalla. Tällöin täytyy kuitenkin ottaa huomioon palvelun toipuminen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että palvelulle ja toipumiselle on asetettu omat maksimirajat. Toipumiselle asetettu raja on korkeampi kuin itse palvelulle asetettu raja. Kolmas tapa on asettaa kulutuksen maksimiraja pidemmäksi aikaa, jolloin ostajan, eli tämän palvelun tapauksessa verkonhaltijan, ei tarvitse määrittää tai ottaa huomioon palvelun toipumista. [23] Ajan tai käskyn perusteella aktivoitujen palveluiden tapauksessa ohjatun kulutuksen tulee siis olla sovitun ajan tietyn rajan alapuolella, minkä jälkeen toipuminen tulee taas suorittaa sille erikseen määritellyn rajan alapuolella. Pidemmissä sopimuksissa toipumista ei siis tarvitse ottaa huomioon, koska aggregaattorilla pitäisi olla tarpeeksi aikaa suunnitella portfolionsa ohjaus niin, että se ei ylitä sovittua rajaa edes toipumisen aikana.

Tehon rajoituksella verkonhaltija voi siirtää riskiä ja vastuuta aggregaattoreille [23]. Jos palvelu ostetaan pidemmäksi aikaa, verkonhaltijan ei tarvitse huolehtia milloin aktivoida palvelu, koska se tapahtuu automaattisesti aggregaattorin tekemänä. Tämän lisäksi verkonhaltijan ei tarvitse pitempiaikaisissa sopimuksissa huolehtia toipumisen aiheuttamista ongelmista.

Palvelua tarjotaan siis verkonhaltijoille, eli palvelua kaupataan siirtojen hallinta -markkinoilla.

### **Jännitteen hallinta**

Jännitteen hallinnassa aggregaattorin tulee pitää verkon jännite sovittujen ylä- ja alarajan sisäpuolella. Aggregaattorilla ei kuitenkaan ole tietoa verkon tilasta, minkä takia verkonhaltijan, eli palvelun ostajan, tulee jatkuvasti toimittaa aggregaattorille referenssisignaalia, jonka avulla mahdolliset ohjaukset tehdään. EcoGrid 2.0 -projektissa referenssisignaali annetaan tehoreferenssinä (pätöteho), koska verkonhaltija tietää tarkalleen tehon, mikä tarvitaan jännitteen pitämiseksi rajojen sisäpuolella. Tämä helpottaa varsinkin aggregaattorin toimintaa. [23]

Aggregaattori ei kuitenkaan pysty ennustamaan kuinka paljon tehon ohjausta tarvitaan, tai kuinka suuria tehonohjauksen tulee olla. Tämä kasvattaa aggregaattorin riskiä palvelun toimittamisessa huomattavasti. Tämän takia palvelun ostajan tulee toimittaa jatkuvan referenssisignaalin lisäksi päivittäin seuraavan päivän ennuste, sekä arvioida sopimusta tehdessä mikä on suurin tehon ohjaustarve. [23] Ilman näitä aggregaattorin kyky toimittaa jännitteen hallinta -palvelua olisi huomattavasti epävarmempi.

Palvelua tarjotaan siis verkonhaltijoille, eli palvelua kaupataan siirtojen hallinta -markkinoilla. Verkonhaltijat voivat hyödyntää palvelua harvoin toistuvissa ongelmassa, missä ei ole kannattavaa investoida verkon vahvistamiseen. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi kesämökkialueen yllättävä tehontarve yleisinä lomapäivinä. [23]

### **Reservipalvelu**

Kysyntäjoustoa voidaan myydä myös reservipalveluna. Joustoa voidaan siis tarjota muun muassa taajuuden vakautusreservinä (FCR), tai taajuuden palautusreservinä (FRR). Tällöin joustoresurssin tulee toimia samalla tavalla kuin muut reservit. Reservipalvelua tarjotaan tietenkin vain reservimarkkinoilla, eli muokatuilla nykyisillä markkinoilla.

## **4.4 Esimerkki palvelun markkinaprosesseista: ajan perusteella aktivoitava kuorman alentaminen**

Palvelun kauppaamiseen, toimittamiseen ja vahvistamiseen liittyy useita prosesseja, jotka käydään läpi esimerkkitapauksen kautta. Tässä luvussa siis seurataan mitä eri markkinaprosesseja liittyy **yksittäiseen ajan perusteella aktivoitavaan kuorman alentaminen -palvelun** toimittamiseen, eli mitä toimia eri osapuolilta vaaditaan, ja mitä tietoa liikkuu.

Yleisesti markkinaprosessit voidaan neljään eri osaan: Palvelun kauppaaminen, toimitus, varmistaminen ja loppuselvitys. Näiden lisäksi ennen kuin palveluita pääsee kauppaamaan, tulee aggregaattorin läpäistä hyväksymisprosessi. [23]

#### **4.4.1 Hyväksymisprosessi**

Hyväksymisprosessi ei suoraan liity kuorman alentamispalveluun, vaan aggregaattorin tulee suorittaa se hyväksytysti ennen kuin se pääsee markkinoille kauppaamaan palvelua. Kuorman alentamispalvelua tarjotaan verkonhaltijalle, joten aggregaattorin tulee läpäistä verkonhaltijan vaatima hyväksymisprosessi. Hyväksymisprosessissa on kolme osaa: dokumentaatio, simulointi ja testaus. [23]

Dokumentaatioissa aggregaattori esittelee portfolionsa rakenteen ja aggregaation algoritmin. Simulaatioissa aggregaattoria testataan simuloimalla niiden palveluiden toimittamista, mitä aggregaattori haluaa tarjota. Eli tässä esimerkissä simuloitaisiin aggregaattorin kykyä toimittaa erilaisia kuorman alentamisen palveluita. Testauksessa varmennetaan simulaation tulokset mittaamalla kentällä todellisia arvoja. [23]

Nykyään hyväksymisprosesseja tehdään vain kantaverkkoyhtiön hankkimille reserveille. Edellä esitelty hyväksymisprosessi onkin tarkoitettu aggregaattoreille, jotka aikovat toimittaa muita palveluita, eikä toimia kantaverkkoyhtiön reservinä. Hyväksymisprosessin tarkempi suunnittelu, vaatimusten laatiminen, sekä testausten suorittaminen voisi olla kolmannen osapuolen tehtäviä, mutta prosessin suunnittelu ja vaatimukset tulee silti sopia yhteistyössä kantaverkkoyhtiön, verkonhaltijoiden ja tasevastaavien kesken. [23]

#### **4.4.2 Palvelun kauppaaminen**

Kuorman alentamispalvelua tarjotaan verkonhaltijalle siirtojen hallinta -markkinoilla. Verkonhaltija siis lähettää ensin markkinoille tarjousesitykset, jotka sisältävät kuvassa 6 esitetyt parametrit [24].



Parametrit	Parametrien yksikkö
- Toimituksen aloitusaika	pvm, klo
- Toimituksen lopetusaika	pvm, klo
- Toipumisen lopetusaika	klo
- Toimituksen teho	kW
- Toipumisen maksimiteho	kW
- Lista loppukäyttäjistä (Sijainti)	"lista koodeja"
- Palvelun maksimihinta	-
- Aktivoinnin todennäköisyys	1
- Seuraamukset toimittamatta jätetystä palvelusta	-

***Kuva 6: Verkonhaltijan tarjousesityksen parametrit ja parametrien tyypit, esimerkki ajan perusteella aktivoitavan palvelun tarjousesityksestä.***

Kuvassa 6 on siis esimerkki ajan perusteella aktivoitavan palvelun tarjousesityksestä. Näillä parametreilla verkonhaltija siis määrittelee, millaiselle ajan perusteella aktivoitavalle palvelulle verkonhaltijalla on tarve. [24] Toimituksen ajankohdat määrittelevät milloin ohjaus suoritetaan, mutta EcoGrid 2.0 -projektissa toipumisella on vain lopetusajan kohta, joten toipuminen aloitetaan aina heti ohjauksen jälkeen. Lisäksi, kuten aikaisemmin totesimme luvussa 4.3, ajan perusteella aktivoitava palvelu toimitetaan automaattisesti, joten aktivoinnin todennäköisyys on ajan perusteella aktivoitavissa palveluissa aina 1 (100%).

Kuvassa 6 esitetyt parametrit kuvaavat siis niitä tietoja, mitkä verkonhaltijan tulee tarjota ajan perusteella tehtävää kuorman alentaminen -palvelua määrittäessä. Käskystä aktivoitavilla palveluilla on hieman erilaiset parametrit, muun muassa tällöin ei ole määriteltä toimituksen ajankohtaa, vaan pelkästään ajankohta (sopimuksen/varauksen ajankohta) milloin verkonhaltijalla on mahdollisuus aktivoida palvelu. Tämän lisäksi käskystä aktivoitavissa palveluissa aktivoinnin todennäköisyys on myös jotain nollan ja yhden väliltä, mutta EcoGrid 2.0 -projektissa ei oteta kantaa, kuinka tarkka tämän luvun tulee olla.

Tämän jälkeen aggregaattorit, joilla on hajautettuja energiareсурseja tarjousesityksen loppukäyttäjien listassa, voivat tehdä tarjouksensa markkinoille. Aggregaattorit tekevät tarjoukset jokaiseen verkonhaltijan esittämään tarjousesitykseen. Aggregaattorin tarjous edellä esitettyyn verkonhaltijan tarjousesitykseen taas sisältää kuvassa 7 esitetyt tiedot.

Parametrit	Parametrien yksikkö
- Hintatarjous	-
- Tarjottavan tehon määrä	kW
- Teho jaettavissa vai ei	kyllä/ei

***Kuva 7: Aggregaattorin tarjouksen sisältö, esimerkki ajan perusteella tehtävän aktivoinnin tarjouksesta***

Tarjouksessa siis tarjottavan tehon määrä ilmoitetaan aina ”pienimmän tarjottavan tehon” monikertana, sekä onko kyseinen teho jaettavissa osiin, kuten luvussa 4.2.2 selitettiin. Jos teho on jaettavissa osiin, voi verkonhaltija hyväksyä niin monta osaa kuin haluaa. EcoGrid 2.0 -raporteissa ei kuitenkaan kerrota että missä aggregaattorin tulisi ilmoittaa osien koko. Luonteva paikka tämän ilmoittamiselle olisi itse tarjous. EcoGrid 2.0 -raporteissa ei myöskään oteta kantaa, miten pienimmän tarjottavan tehon suuruus määritellään tai ketkä sen määrittävät. Se on luultavasti melko vakiona säilyvä luku, koska sitä ei erikseen ilmoiteta tarjousesityksissä tai tarjouksissa. Tämän jälkeen suoritetaan kaupankäyntikierron.

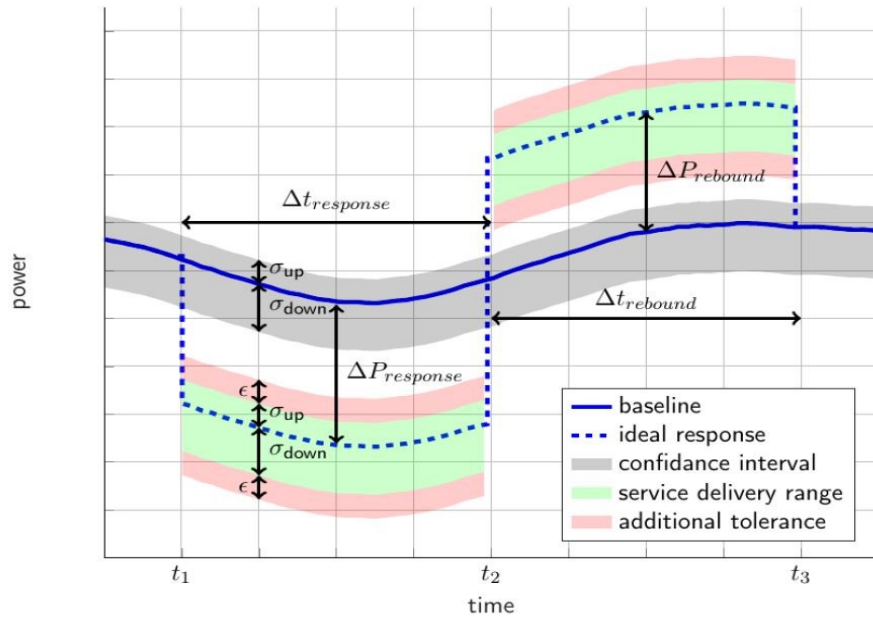
#### **4.4.3 Toimitus**

Ajan perusteella aktivoitava kuorman alentaminen toimitetaan siis automaattisesti sopimukseen kirjattuna ajankohtana. Tällöin aggregaattorin ei tarvitse odottaa aktivointisignaalia verkonhaltijalta, vaan se voi aktivoida ja vapauttaa palvelun oma-aloitteisesti. Tällöin aggregaattorin tulee vain lähettää aktivoinnista ilmoitus siirtojen hallinta -markkinoille, mistä ilmoitus ohjataan verkonhaltijalle. Aggregaattorin ja tasevastaavan välisestä sopimuksesta riippuen ilmoitus voidaan tehdä myös samalla tavalla tasevastaavalle. Ilmoitukset eivät kuitenkaan ole näkyvissä koko markkinoille. [23]

Eri hajautetuilla energiaressursseilla kestää kuitenkin eri aika ennen kuin ne saavuttavat palvelun täyden toimitustehon, eli tässä esimerkissä täyden kuorman alentamisen. Ajan perusteella aktivoitavilla palveluilla tämä ei ole kuitenkaan suuri ongelma, koska aloitusajankohta on ennalta määriteltä. Tällöin aggregaattoreilla on hyvin aikaa valmistella ja toteuttaa hajautettujen energiaressurssien aktivointi, riippumatta siitä kuinka kauan energiaressursilla kestää saavuttaa täysi toimitusteho. Tämä mahdollistaa siis suuremman hajautettujen energiaressurssien valikoiman käytön. [23]

#### **4.4.4 Varmistaminen**

Varmistamisessa tarkastetaan, että palvelu on toimitettu asianmukaisesti. EcoGrid 2.0 -projektissa palvelun toimituksen varmistaminen suoritetaan käyttämällä ohjattavien asiakkaiden etäluettavia mittareita, ja vertaamalla todellista kulutusta ideaaliseen kulutukseen. Todellinen kulutus on mitattavissa 15 minuutin otosvälillä, ja nämä tiedot ovat saatavilla 12 tunnin viiveellä datahubista. Tämän lisäksi tarvitaan sovitut rajat, joiden sisällä toimituksen tehon tulee pysyä. Nämä rajat nähdään selvästi kuvasta 8.



**Kuva 8: Kuorman alentaminen -palvelun toimituksen rajat [26]**

Kuvasta nähdään ideaalinen palvelun (ideal response) toimitus sinisellä katkoviivalla ja normaali kulutus (baseline) sinisellä viivalla. Palvelun toimituksen (service delivery range) rajat ovat vihreällä pohjalla, sekä palvelun ylimääräinen toleranssi (additional tolerance) punaisella pohjalla. Harmaa pohja kuvaa normaalin kulutuksen varmuusmarginaalia. Palvelun toimituksen rajat (vihreä pohja) vastaa siis normaalin kulutuksen varmuusmarginaalia (harmaa pohja), joka on vain siirretty ideaalisen toimituksen ympärille. Varmuusmarginaalia, eli sallittua poikkeamaa ylöspäin kuvaa siis  $\sigma_{up}$ , ja alaspäin  $\sigma_{down}$ . Kuten luvussa 4.3 mainittiin, varmuusmarginaali saadaan "Baseline Tool" -työkalun avulla, samalla kuin määritellään normaali kulutus eli baseline. Tämän lisäksi palvelulla on myös ylimääräinen toleranssi  $\epsilon$ .

### Yksittäisen palvelun varmistaminen

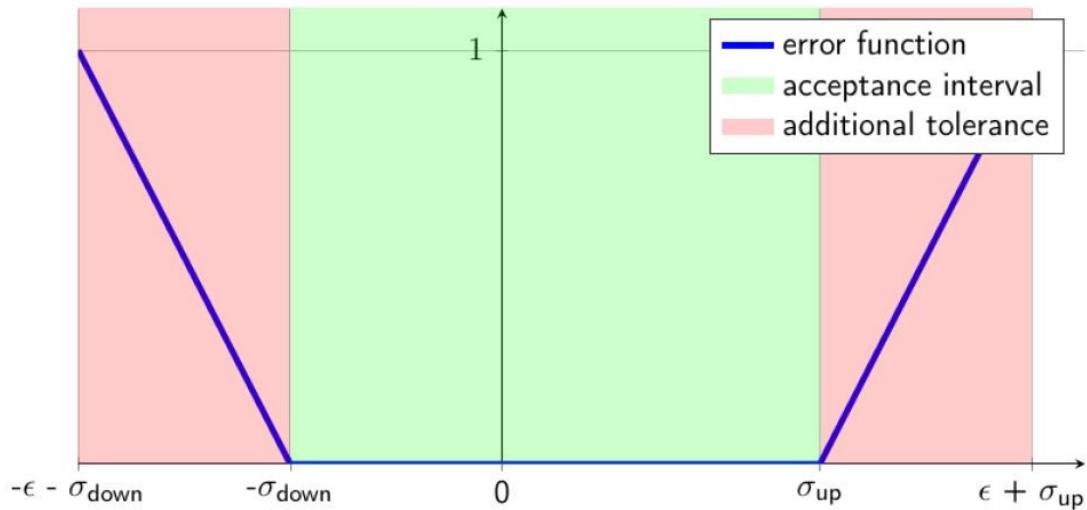
Palvelun toimituksen varmistaminen tehdään laskemalla toimituksen suorituskyky. Jos suorituskyky on nolla, katsotaan palvelun toimituksen olevan epäonnistunut. Palvelun suorituskyky  $\eta_{tot}$  saadaan kaavalla

$$\eta_{tot} = 1 - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x) \right) \quad [1]$$

missä  $f(x)$  on palvelun toimituksen virhefunktio, ja  $n$  on palvelun aikana tehtyjen mitauksien lukumäärä. Virhefunktio saa lähtöarvoikseen ideaalin palvelun tehon  $P_{ideal}$  ja todellisen palvelun tehon  $P_i$  erotuksen. Tällöin palvelun suorituskyvyn kaava saadaan muotoon

$$\eta_{tot} = 1 - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(P_{ideal} - P_i) \right) \quad [2]$$

Virhefunktion toimintaa kuvaa hyvin kuva 9.



**Kuva 9: Palvelun toimituksen varmistamisen virhefunktion  $f(x)$  [26]**

Kuvasta nähdään, että jos ideaalisen ja todellisen tehon erotus pysyy  $\sigma_{up}$  ja  $-\sigma_{down}$  arvojen välissä, saa virhefunktio arvon nolla. Jos erotus ylittää nämä arvot, mutta pysyy ylimääräisten toleranssien  $\epsilon + \sigma_{up}$  ja  $-\epsilon - \sigma_{down}$  sisällä, saa virhefunktio arvokseen jostain nollan ja yhden väliltä. Tämä suoritetaan jokaiselle mittaustulokselle, ja tulosten perusteella lasketaan toimituksen suorituskyky kaavalla 2. **Jos yksikin ideaalisen ja todellisen tehon erotus ylittää ylimääräisen toleranssin, toimitus katsotaan välittömästi olevan epäonnistunut**, ja toimituksen suorituskyky  $\eta_{tot} = 0$  [26]. Muussa tapauksessa palvelu on toimitettu hyväksytysti.

### Pitkäaikainen palvelun varmistaminen

Toimituksen rajat  $\sigma_{up}$  ja  $-\sigma_{down}$  määritellään normaalin kulutuksen (baseline) mukaan, minkä takia ne eivät voi olla kovin tiukat. Aggregaattoreilla on tällöin mahdollisuus tarkoituksella alitoimittaa kuorman alentamista, eli tarkoituksella toimittaa vähemmän joustoa kuin on sovittu. Edellä esitetty toimituksen varmistamisen kaava ja virhefunktio toimivat hyvin yksittäisten toimitusten varmistamiseen, mutta jatkuvaa palveluiden alitoimittamista niillä ei voida havaita.

EcoGrid 2.0 -projektissa palvelun tarkoituksellinen alitoimittaminen pyritään havaitsemaan pitkäaikaisella palvelun varmistamisessa (long term service verification). Projektissa jokaisen palvelun toimituksen yhteydessä lasketaan aina todellisen kulutuksen (smart meter data) keskipoikkeama ja otoskeskihajonta ideaalisesta kulutuksesta (ideal response). Eli toisin sanoen lasketaan palvelun todellisen toimituksen keskimääräinen poikkeama ideaalisesta toimituksesta. Projektissa pitkäaikainen palvelun varmistaminen

tehdään niin, että **useiden samanlaisten palveluiden (sama palvelu, teho ja kesto) lasketuista keskipoikkeamista otetaan keskiarvo**, ja tämä keskiarvo kuvaa kuinka hyvin aggregaattori on toimittanut samanlaista palvelua pitkällä aikavälillä. Jos keskipoikkeamien keskiarvo on suuri, tämä saattaa kertoa muun muassa tarkoituksella tehdyistä alitoimituksista [26]

Keskipoikkeamien keskiarvo kertoo siis kuinka paljon keskimäärin samanlaisten palveluiden toimitukset ovat eronneet ideaalisista toimituksista. Kyseinen keskipoikkeama on kuitenkin keskiarvo mittaustulosten absoluuttisista eroista ideaaliseen verrattuna, minkä takia palvelun ylitoimitamisella, eli toimittamalla enemmän joustoa kuin on sovittu, on siis yhtä paljon negatiivista vaikutusta keskipoikkeamaan kuin on palvelun alitoimitamisellakin. Pitkäaikaisella palveluiden varmistamisella ei siis täsmällisesti saada selville onko palvelua ali- tai ylitoimitettu. Tässä on kuitenkin se hyvä puoli, että tällainen pitkäaikainen varmistaminen motivoi aggregaattoreita toimittamaan juuri sen minkä on sovittu. Aggregaattori ei siis voi korjata aikaisempia alitoimituksia ylitoimitamisella. EcoGrid 2.0 -projektissa ei oteta kantaa siihen, millaisia seuraamuksia aggregaattori voi saada jos tämä on pitkällä aikavälillä tehnyt ali- tai ylitoimitamista.

Palveluiden varmistaminen on EcoGrid 2.0 -projektissa varmistusvastaavan tehtävä.

#### 4.4.5 Loppuselvitys

Loppuselvityksessä palvelun ostaja siis maksaa aggregaattorille palvelun toimittamisesta. Tässä esimerkissä siis verkonhaltija maksaa aggregaattorille yksittäisestä ajan perusteella tehdystä kuorman alentaminen -palvelusta. Verkonhaltija hankkii palvelun siirtojen hallinta -markkinoilta joten jouston hinta, eli aggregaattorin saama palkkio, määräytyy osittain kaupankäyntikierroksen perusteella. Aggregaattorin palkkio riippuu siis siitä, miten kaupankäyntikierros suoritetaan. [27] Tässä työssä ei käydä läpi eri kaupankäyntikierroksen toteutustapoja, joten aggregaattorin saamaa palkkiota ei voida käydä tarkasti tässä esimerkissä läpi.

EcoGrid 2.0 -raportin [26] mukaan aggregaattorin saama palkkio riippuu myös toimituksen suorituskyvystä ( $\eta_{tot}$ ). EcoGrid 2.0 -raportin [27] mukaan suorituskyvyllä ei kuitenkaan ole merkitystä tietyillä palveluilla, koska tämän raportin mukaan aggregaattorille maksetaan palvelusta heti kaupankäyntikierroksen jälkeen. Jälkimmäisen raportin mukaan nämä tietyt palvelut ovat verkonhaltijalle kaupattavat kaupattavat käskystä aktivoitavat palvelut sekä useampina päivinä aktivoitavat ajan perusteella aktivoitavat palvelut. Jälkimmäisessä raportissa [27] ei kuitenkaan selitetä minkä takia juuri näiden palveluiden kohdalla verkonhaltijan tulee maksaa palvelusta heti kaupankäyntikierroksen jälkeen, eikä vasta kun palvelu on toimitettu ja varmistettu.

## 5. YHTEENVETO JA KESKUSTELUA

EcoGrid 2.0 -markkinamalli tarjoaa pienemmistä kulutuskohteista joustoa kerääville aggregaattoreille markkinapaikan, missä tarjota joustoa verkonhaltijoille, tasevastaaville ja kantaverkkoyhtiölle. Markkinamallissa ei tarjota palveluita sähkön myyjille. Markkinapaikkana toimii joustavuusmarkkinat, mitkä ovat jaettu kahteen osaan: siirtojen hallinta -markkinoihin ja muokattuihin nykyisiin markkinoihin. Siirtojen hallinta -markkinat ovat EcoGrid 2.0 -projektissa kehitetty täysin uusi markkinapaikka, missä kysyntäjoustosta käyvät kauppaa vain aggregaattorit ja verkonhaltijat. Muokatuilla nykyisillä markkinoilla kuvataan todellisia nykyisiä sähkömarkkinoita, joita on siis muokattu siten että kysyntäjouston tarjoaminen on näillä markkinoilla mahdollista. EcoGrid 2.0 -projektin yhtenä tavoitteena onkin saada muutettua nykyiset sähkömarkkinat sellaisiksi, että kaupankäynti kysyntäjoustosta olisi kyseisillä nykyisillä markkinoilla mahdollista. EcoGrid 2.0 on demonstraatioprojekti, eli projektissa kehitettävää markkinamallia käytetään jo osittain käytännössä. Demonstraatiota suoritetaan Tanskassa Bornholmin saarella, missä kysyntäjouston tarjoamiseen osallistuu noin 1000 kotitaloutta.

Markkinamalli esittelee muutamia uusia markkinatoimijoita, joista merkittävin on tietenkin aggregaattori. Aggregaattorin tehtävä on tarjota palveluita sekä kuluttajille, että muille markkinatoimijoille. Kuluttajille tarjottavat palvelut ovat esimerkiksi sähkön kulutuksen tai lämmityksen optimointi, ja markkinatoimijoille tarjottavat palvelut ovat esimerkiksi tietyn asiakasjoukon kulutuksen alentaminen tai tietyn alueen jännitetaso hallinta. Oleellinen asia aggregaattorin toiminnalle tulee olemaan sopimus, joka aggregaattorin tulee tehdä tasevastaavan kanssa. Tämä sopimus velvoittaa aggregaattorin muun muassa tarjoamaan kulutusennusteita tasevastaavalle, sekä korvaamaan tasevastaavalle aiheuttamansa tasevirheet. Tasevastaavan velvollisuutena on taas toimia välikätenä aggregaattorin ja muokattujen nykyisten markkinoiden välillä. Muita uusia rooleja EcoGrid 2.0 -markkinamallissa ovat muun muassa mittaus- ja varmistusvastaavat, sekä erillinen markkinaoperaattori. Osa näistä rooleista voidaan kuitenkin jakaa nykyisille toimijoille, eli näin monta uutta toimijaa ei välttämättä tarvita.

Markkinamalli tarjoaa useita palveluita eri markkinatoimijoille. Nämä palvelut ovat kuorman alentaminen ja kasvatus, tasapainotuspalvelu, tehon rajoitus, jännitteen hallinta ja reservipalvelut. Markkinamalli tarjoaa myös useita työkaluja esimerkiksi kulutuksen enustamiseen, kaupankäyntikierroksen suorittamiseen sekä palvelun toimituksen varmistamiseen.

EcoGrid 2.0 -projekti ei kuitenkaan ole vielä valmis, mikä tarkoittaa tietenkin että kaikkia ongelmia ei ole vielä ratkaistu. EcoGrid 2.0 on myös demonstraatioprojekti, eli markkinamalli on jo tietyssä laajuudessa käytössä. Kaikkia markkinamallin toimintoja ei kuitenkaan ole testattavissa demonstraatioprojektin rajoitetussa ympäristössä, joten tietyt markkinamallin toiminnot ovat vain suunniteltuja. Projekti jättää kuitenkin lukuisia kysymyksiä ilman vastausta, eikä ota kantaa moniin käytännön toteutuksen ongelmiin. Tämän lisäksi epä johdonmukaisuudet ja ristiriidat raporteissa aiheuttavat hämmennystä, mikä laskee myös osaltaan markkinamallin uskottavuutta. Hämmennys saattaa johtua myös osin siitä, että kaikkia projektin raportteja ei todennäköisesti ole tarjottu julkisesti saatavaksi, mikä heikentää markkinamallin täsmällisen kokonaiskuvan kehittämistä.

Projektin markkinamallissa ei myöskään hyödynnetä kovin hyvin toimijoiden välistä kommunikaatiota. Markkinamallin mukaan on siis hyväksyttävää, että tiettyjen osapuolten hankkimat kulutuksen ohjaukset aiheuttavat ongelmia toiselle toimijalle. Esimerkiksi kantaverkkoyhtiön ja verkonhaltijoiden välistä yhteistyötä ei ole markkinamallissa esitetty. Lisäksi markkinamallin mukaan samassa kotitaloudessa tulisi voida toimia useampi aggregaattori, mutta aggregaattorien välisestä kommunikaatiosta ei ole mainintaa.

EcoGrid 2.0 -markkinamalli tuo kuitenkin hyvin esille joustavuusmarkkinoiden kokonaiskuvan, sekä mitä palveluita kysyntäjoustopilla voidaan tarjota, mille toimijoille, sekä miten eri toimijat tästä hyötyvät. Varsinkin verkonhaltijoiden näkökulma tulee projektissa vahvasti esille. Markkinamallista voidaan huomata, että projektissa on yritetty huomioida tarkasti nykyisten toimijoiden halut ja tarpeet. Markkinamallissa selvästi pyritään ratkaisuun, jossa kysyntäjousto toimii hyödyllisenä ja kannattavana osana sähköenergiajärjestelmää.

# LÄHTEET

- [1] P. Järventausta, S. Repo, P. Trygg, A. Rautiainen, A. Mutanen, K. Lummi, A. Supponen, J. Heljo, J. Sorri, P. Harsia, M. Honkaniemi, K. Kallioharju, V. Piikkilä, J. Luoma, J. Partanen, S. Honkapuro, P. Valtonen, J. Tuunanen, N. Belongova, Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiölle (DR-pooli): Loppuraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015, 360 s, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <http://URN.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0>
- [2] eSett Oy, Pohjoismaisen taseselvityksen käsikirja - ohjeet ja säännöt markkinaosapuolille, 2018, Saatavissa (viitattu 26.2.2019): <https://www.esett.com/handbook/>
- [3] J. Partanen, S. Viljainen, J. Lassila, S. Honkapuro, K. Salovaara, S. Annala, M. Makkonen, Sähkömarkkinat - opetusmoniste, LUT, 2018
- [4] Sähköverkon haltijat, Energiavirasto, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>
- [5] Day-ahead market, NordPool, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 28.2.2019): <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/>
- [6] Intraday Market, NordPool, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 28.2.2019): <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Intraday-market/>
- [7] Säättösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat, Fingrid Oyj, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 28.2.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko-ja-saatokapasiteettimarkkinat/>
- [8] Liite 2. Säättökapasiteettimarkkinoiden säännöt, Fingrid Oyj, Saatavissa (viitattu 3.3.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko-ja-saatokapasiteettimarkkinat/>
- [9] Reservit ja säätösähkö, Fingrid Oyj, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 28.2.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>
- [10] Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi, Fingrid Oyj, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 28.2.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi/>
- [11] Automaattinen taajuudenhallintareservi, Fingrid Oyj, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 6.4.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>
- [12] Varavoimailaitokset, Fingrid Oyj, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 6.4.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/varavoimailaitokset/>
- [13] P. Harsia, S. Penttinen, P. Järventausta, J. Sorri, P. Aalto, K. Kallioharju, J. Kaivo-oja, M. Kojo, T. Korpela, I. Ruostetsaari, A. Oksa, Edellytykset kysyntäjouoston toteutumiselle kiinteistöissä, EL-TRAN Analyysi, 2017, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/edellytykset-kysyntajouoston-toteutumiselle-kiinteistoessa\(ce3a6bca-61f4-4593-8e2b-ce538ec9954c\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/edellytykset-kysyntajouoston-toteutumiselle-kiinteistoessa(ce3a6bca-61f4-4593-8e2b-ce538ec9954c).html)
- [14] Nordic Council of Ministers, Nordic Energy Research, Flexible demand for electricity and power: Barriers and opportunities, Nordic Council of Ministers, 2017, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <https://www.nordicenergy.org/publications/flexible-demand-for-electricity-and-power-barriers-and-opportunities/>
- [15] C. Yongbao, X. Peng, G. Jiefan, S. Ferdinand, L. Weilin, Measures to improve energy demand flexibility in buildings for demand response (DR): A review, Energy & Buildings, Vol. 177, 2018, pp 125-139, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.003>
- [16] Kysyntäjousto, Fingrid Oyj, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 28.2.2019): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/>



- [17] THEMA Consulting Group, Demand response in the Nordic electricity market, 2014, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <https://www.nordicenergy.org/publications/demand-response-in-the-nordic-electricity-market/>
- [18] S. Nolan, M. O'Malley, Challenges and barriers to demand response deployment and evaluation, *Applied Energy*, Vol 152, 2015, pp 1-10, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.083>
- [19] Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 66/2009, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>
- [20] Pöyry, Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuudet (AMR 2.0), 2017.
- [21] R. Masiello, J. Harrison, R. Mukerji, Market Dynamics of Integrating Demand Response into Wholesale Energy Markets, *The Electricity Journal*, Vol. 26, Iss. 6, 2013, pp 8-19, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619013001486>
- [22] [Ecogrid.dk/en/home\\_uk](http://www.ecogrid.dk/en/home_uk), Saatavissa (viitattu 7.3.2019): [http://www.ecogrid.dk/en/home\\_uk](http://www.ecogrid.dk/en/home_uk)
- [23] J. Mehmedalic, E. Larsen, D. Bondy, A. Papakonstantinou, *EcoGrid 2.0 Market Specification*, 2016, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): [http://www.ecogrid.dk/en/home\\_uk](http://www.ecogrid.dk/en/home_uk)
- [24] C. Heinrich, A. Syrri, C. Ziras, M. Pertl, H. Bindner, DSO tool for quantification of flexibility benefit, service request and activation, 2018, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <http://www.ecogrid.dk/>
- [25] Datahub, Energinet, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 10.3.2019): <https://en.energinet.dk/Electricity/DataHub#Documents>
- [26] C. Heinrich, C. Ziras, D. Bondy, Tool for market interaction and service delivery verification, 2018, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): <http://www.ecogrid.dk/>
- [27] C. Kok, J. Kazempour, P. Pinson, DSO Market Formulation, 2018, Saatavissa (viitattu 20.2.2019): 10.3.2019): <http://www.ecogrid.dk/>