



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JARI AUNIO
SÄHKÖN KYSYNTÄJOUSTON TOTEUTTAMINEN KOTITALOUK-
SISSA JA KYSYNTÄJOUSTOPOTENTIALIN HYÖDYNTÄMINEN
SÄHKÖMARKKINOILLA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pertti Järventausta
Tarkastaja ja aihe hyväksytty tieto- ja
sähkötekniikan tiedekunnan dekaanin
päätöksellä 2.5.2018

TIIVISTELMÄ

JARI AUNIO: Sähkön kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntäminen sähkömarkkinoilla

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 85 sivua, 7 liitesivua

Toukokuu 2018

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pertti Järventausta

Avainsanat: sähkön kysyntäjousto, sähkömarkkinat, kotiautomaatiojärjestelmät, HEMS

Ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi uusiutuvien energialähteiden sekä ydinvoiman määrä energiantuotannossa kasvaa. Kehitys on siis menossa siihen suuntaan, että yhä suurempi osuus sähköntuotannosta on sellaista, jota ei teknisesti voida tai taloudellisesti ole kannattavaa säätää ja sähköjärjestelmän joustavuus vähenee. Tämän seurauksena sähköntuotantoa on yhä vaikeampi hallita ja ennustaa, mikä taas luo paineita valtakunnallisen tehotasapainon kannalta. Jatkossa on pyrittävä siihen, että sähkön kulutus mukautuu enemmän sähköntuotannon vaihteluihin. Kysynnän joustolla tarkoitetaan sähkönkäytön rajoittamista ja siirtämistä korkean kulutuksen tunneilta ajankohtaan, jolloin kulutus on pienempää. Kysyntäjousto voidaan hyödyntää tehotasapainon hallinnan tarpeisiin, leikkaamaan kulutushuippuja ja sillä pyritään turvaamaan markkinoiden toiminta.

Tämän diplomityön yhtenä tarkoituksena on selvittää, miten kotitaloudet voivat hyödyntää kysyntäjoustoressurssiaan sähkömarkkinoilla ja mitkä erilaiset esteet ja haasteet rajoittavat kysyntäjoustopotentiaalin yleistymistä ja laajamittaista hyödyntämistä. Lisäksi työssä tarkastellaan yleisesti sähkömarkkinoita ja eri sähkömarkkinapaikoille asetettuja vaatimuksia. Tämän diplomityön yhtenä keskeisenä tavoitteena on muodostaa kokonaisvaltainen näkemys kotiautomaatiosta ja erilaisista kotiautomaatiojärjestelmistä, joita voidaan hyödyntää kuormien ohjauksessa. Työssä tutkitaan myös eri laitevalmistajien tarjoamia kotiautomaatiojärjestelmiä ja niissä tiedonsiirtoon yleisesti käytettyjä kenttäväylyitä.

Diplomityön tutkimusosiossa toteutettiin laaja kyselytutkimus sähkönmyyntiyhtiöille. Sähkönmyyntiyhtiö kyselyssä kartoitetaan sähkönmyyntiyhtiöiden tämän hetkisiä palveluita kysyntäjoustopotentiaalin edistämiseksi. Lisäksi kyselyn tarkoituksena on selvittää, minkälaisia esteitä ja haasteita yhtiöt näkevät kysyntäjoustopotentiaalin laajamittaisessa hyödyntämisessä ja mitä ristiriitoja syntyy eri toimijoiden välillä kuormien ohjauksista. Kyselyssä selvitetään myös myyntiyhtiöiden tämän hetkistä tilannetta liittyen kysyntäjoustopotentiaalin ja miten tärkeänä yhtiöt näkevät kysyntäjoustopotentiaalin tulevaisuudessa. Kyselyn tarkoituksena on myös tutkia yhtiöiden tarjoamia kotiautomaatioratkaisuihin liittyviä palveluita. Kyselytutkimuksen lopussa tutkitaan myös pientuotannon määrää kotitalouksissa ja yhtiöiden tarjoamia palveluita siihen liittyen.

ABSTRACT

JARI AUNIO: Electricity demand response implementation in households and utilizing demand response potential in the electricity market

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 85 pages, 7 Appendix pages

May 2018

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Power Systems and Market

Examiner: professor Pertti Järventausta

Keywords: electricity demand response, electricity markets, home automation systems, HEMS

In order to prevent climate change, the amount of renewable energy sources and nuclear power in energy production will increase. The development of power production is going to direction, that more of production is not controllable or economical to control and the flexibility of the electrical system is reduced. As a result, this reduces the predictability and controllability of electricity production, which sets pressure on controlling power balance management. For these reasons, electricity consumption needs to follow more electricity production. Demand response means limiting and shifting electricity consumption from times of high electricity consumption to lower ones. Demand response can be utilized for the needs of power balance management, cutting consumption peaks and to secure market functions.

One of the aims of this thesis is to discover how households can utilize demand response resources on the electricity market and what are the different challenges that limit the popularity and the large-scale utilization. In addition, the thesis examines the electricity market and the requirements for the different marketplaces, which demand response resources must fulfil. One of the objectives of this thesis is to provide a comprehensive view of home automation and various home automation systems that can be used to control loads. The thesis also examines automation systems offered by different equipment manufacturers and the fieldbuses commonly used for data transfer.

The electricity sales company survey was carried out in the research part and the survey investigates the current services of electricity sales companies to promote demand response. In addition, the purpose of the survey is to find out what challenges the companies see in the widespread utilization of the demand response and what conflicts are created between the different actors in managing the loads. The survey also investigates the current situation of sales companies in relation to the demand response and how important the companies will see demand response in the future. The purpose of the survey is also to investigate the services provided by companies for home automation solutions. At the end of the survey, the amount of small-scale production in households is also investigated.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Sähköenergiatekniikan laboratoriossa. Diplomityöni mielenkiintoisesta aiheesta, tarkastamisesta ja laadukkaasta ohjaamisesta haluan kiittää professori Pertti Järventaustaa. Lisäksi suuri kiitos kaikille sähkönmyyntiyhtiöille, jotka vastasivat työssä tehtyyn kyselytutkimukseen.

Tampereella 18.05.2018

Jari Aunio

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Diplomityön tavoite ja rajausta	2
1.2	Diplomityön rakenne	3
2.	POHJOISMAISET SÄHKÖMARKKINAT JA TASEHALLINTA	4
2.1	Vähittäis- ja tukkusähkömarkkinat	4
2.2	Sähköpörssin fyysiset tuotteet	5
2.2.1	Elspot	5
2.2.2	Elbas	9
2.3	Sähkötaseiden hallinta	9
2.3.1	Tasesähkökauppa	10
2.3.2	Säätösähkökauppa	11
2.3.3	Säätökapasiteettimarkkinat	13
2.4	Reservimarkkinat	14
2.4.1	Taajuuden vakautusreservi (FCR)	15
2.4.2	Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	18
2.4.3	Nopea häiriöreservi (mFRR)	20
3.	KYSYNNÄN JOUSTO	21
3.1	Kysyntäjoustoprojektin hyödyntäminen sähkömarkkinoilla	22
3.1.1	Kysyntäjoustoprojektin hyödyntäminen eri markkinapaikoilla	23
3.2	Aggregaattorit	27
3.3	Kysyntäjoustoprojektin haasteet ja edellytykset	29
3.4	Fingridin pilottiprojektit kysyntäjoustoprojektin edistämiseksi	33
3.4.1	Kotitalouksien sähkölämmityksen hyödyntäminen kysyntäjoustoprojektina	33
3.4.2	Varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla	37
3.4.3	Pakkasvaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi	39
3.4.4	S-ryhmän kysyntäjoustoprojekti ”HertSi”	40
4.	KOTIAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT	42
4.1	Kotiautomaation yleistymisen ja markkinoiden kehittyminen	44
4.2	Suomessa yleisesti käytössä olevia kenttäväyliä	50
4.3	Kotiautomaatioratkaisuja	54
5.	SÄHKÖNMYYNTIYHTIÖ KYSELY	61
5.1	Sähkömyyntiyhtiöiden toimintaan ja asiakkaiden sähkön ostoon liittyvät vastaukset	61
5.2	Kuormien ohjaamiseen tarve ja kotiautomaatiojärjestelmiin liittyvät vastaukset	62
5.3	Kysyntäjoustoprojektiin liittyvät vastaukset	65
5.4	Pientuotantoon sekä siirtotariffiin liittyvät vastaukset	68
5.5	Kahden eri sähkömyyntiyhtiökyselyn vastausten vertailua	69

6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	75
LÄHTEET.....	81

LIITE A: SÄHKÖNMYYNTIYHTIÖ KYSELYN KYSYMYKSET

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AES	Advanced Encryption Standard, lohkosalausmenetelmä
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve, automaattinen taajuudenhallintareservi
AMR	Automatic Meter Reading, automaattinen mittarinluenta
BACS	Building Automation and Control Systems, kiinteistöautomaatio
DR	Demand Response, kysyntäjousto
FCR	Frequency Containment Reserve, taajuuden vakautusreservi
FCR-D	Frequency Containment Reserve for Disturbances, taajuusohjattu häiriöreservi
FCR-N	Frequency Containment Reserve for Normal operation, taajuusohjattu käyttöreservi
FRR	Frequency Restoration Reserve, taajuuden palautusreservi
GSM	Global System for Mobile Communications, matkapuhelinten kommunikointijärjestelmä
HEMS	Home Energy Management System, kodin energianhallintajärjestelmä
HMI	Human-Machine Interface, käyttöliittymäsovellus
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LON	Local Operating Network, eräs kenttäväyläjärjestelmä mFRR Manual Frequency Restoration Reserve, manuaalinen taajuudenhallintareservi
OSI	Open Systems Interconnection
OTC	Over The Counter, kahdenkeskinen sähkökauppa
PLC	Power Line Communication, sähköverkkojen tiedonsiirto
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
RR	Replacement Reserve, korvaava reservi
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, valvomo-ohjelmisto
TCP	Transmission Control Protocol, tietoliikenneprotokolla
WPAN	Wireless Personal Area Network, langaton likiverkko

1. JOHDANTO

Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä vuodesta 2020 alkaen. Lisäksi Suomen hallitus on asettanut tavoitteeksi uusiutuvan energian osuuden kasvattaminen yli 50 prosenttiin loppukulutuksesta ja energiaomavaraisuuden lisääminen yli 55 prosenttiin. Tavoitteena on myös luopua hiilen käytöstä energiatuotannossa. [23 s.10] Sähkön tuotantorakenne muuttuu siis merkittävästi lähivuosina. Aikaisemmin perinteisessä energiajärjestelmässä tuotanto on mukautunut ajallisesti voimakkaasti vaihtelevan sähkönkulutuksen muutoksiin, eli tehotasapainoa on ylläpidetty tuotantoa säättämällä esimerkiksi vesivoimalla ja lauhdelaitoksilla. Nykyisin kehitys on menossa siihen suuntaan, että yhä suurempi osuus sähköntuotannosta on sellaista, jota ei teknisesti voida tai ei taloudellisesti ole kannattavaa säätää, ja sähköjärjestelmän joustavuus vähenee. Joustamattomia tuotantomuotoja ovat sääriippuva tuuli- ja aurinkovoima, sekä ydinvoima, jonka tuotantoa ajetaan tasaisesti. [7 s.3]

Säätövoimalla voidaan turvata sähkönsaantia ja tasata sähkön kysyntää ja tarjontaa. Tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon voimakas lisääminen edellyttää, että säätövoimaa on riittävästi ja sähköjärjestelmän luotettavuus ei kärsi näiden takia. Jatkossa on pyrittävä siihen, että sähkön kulutus mukautuu enemmän sähköntuotannon vaihteluihin. Kysynnän joustolla tarkoitetaan sähkönkäytön rajoittamista ja siirtämistä korkean kulutuksen tunneilta edullisempaan ajankohtaan, jolloin kulutus on pienempää. Kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää muuttamalla sähkön hetkellistä kulutusta tehotasapainon ylläpidon tarpeisiin sekä leikkaamaan kulutushuippuja. Kysynnän jousto on tärkeä toimenpide, jolla yritetään turvata markkinoiden toiminta.

Suomessa suurteollisuuden sähkökuormia on hyödynnetty kysyntäjoustopotentialissa jo pitkään ja nykyään kehitetään toimivia ratkaisuja, jotka mahdollistavat myös kotitalouksien osallistumisen kysyntäjoustopotentialiin. Kotitalouksien suurin kysyntäjoustopotentiali on sähkön käytössä talon lämmityksessä (suora sähkölämmitys, vesikiertoinen varaava sähkölämmitys) tai käyttöveden lämmityksessä. Jotta kotitaloudet voivat osallistua eri sähkömarkkinapaikoille, tarvitaan aggregaattoria, joka yhdistää pienemmät kuormat yhdeksi suureksi kokonaisuudeksi täyttääkseen markkinapaikkakohtaiset kapasiteettivaatimukset. Aggregaattorina voi toimia myös sähkön vähittäismyyjä.

Kysyntäjoustopotentialin hyödyntäminen eri markkinapaikoilla voi tarjota suurta teknistaloudellista potentiaalia sähkömarkkinoilla toimiville osapuolille. Potentialin arvioiminen on vielä haastavaa, koska kysyntäjoustopotentialin toteuttaminen sisältää vielä monia avoimia kysymyksiä. Teknistaloudelliseen potentiaaliin vaikuttaa muun muassa käytettävien

kysyntäjoustoressurssien tyyppi (laiteryhmät), ohjaukseen käytettävä laitteisto (HEMS, AMR) sekä käyttötarkoitus (markkinapaikat). Tarkassa analysoinnissa pitää ottaa huomioon eri laityryhmien ominaisuudet, markkinaosapuolien näkökulmat, markkinat, laite-asetukset yms. tekijät. [7 s.43]

1.1 Diplomityön tavoite ja rajaus

Tämän diplomityön tarkoituksena on selvittää, miten kotitaloudet voivat hyödyntää kysyntäjoustoressurssiaan sähkömarkkinoilla ja mitkä erilaiset esteet ja ongelmat rajoittavat kysyntäjoustopotentiaalin laajamittaista hyödyntämistä. Lisäksi työssä tarkastellaan yleisesti sähkömarkkinoita ja eri sähkömarkkinapaikoille asetettuja vaatimuksia ja rajoitteita, mitkä kysyntäjoustoressurssien pitää täyttää, jotta kotitaloudet voivat tarjota ohjattavaa kapasiteettiaan markkinapaikoille. Työssä käydään myös läpi Fingridin pilottiprojektit kysyntäjoustopotentiaalin lisäämisen mahdollisuuksista tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen. Fingridin tutkimus sisältää neljä erilaista pilottiprojektia kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntämiseksi eri markkinapaikoilla. Pilottiprojekteja olivat kotitalouksien sähkölämmityksen hyödyntäminen kysyntäjoustopotentiaalin lisäämiseksi, varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla, pakkasvaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi sekä S-ryhmän kysyntäjoustoprojekti seitsemässä eri tavaratalossa.

Yhtenä keskeisenä tavoitteena on ollut muodostaa kokonaisvaltainen näkemys kotiautomaatiosta, sen yleisyydestä ja erilaisista kotiautomaatiojärjestelmistä, joita voidaan hyödyntää kuormien ohjauksessa. Työssä tutkittiin myös eri laitevalmistajien tarjoamia järjestelmiä ja niissä tiedonsiirtoon yleisimmin käytettyjä kenttäväyliä. Lisäksi työssä tutkitaan kotiautomaatiojärjestelmien markkinasegmenttejä ja mitä teknologialta vaaditaan, että ne pääsevät massamarkkinasegmentille.

Diplomityön tutkimusosiossa toteutettiin laaja kyselytutkimus sähkön myyntiyhtiöille. Sähkönmyyntiyhtiökyselyssä kartoitettiin sähkönmyyntiyhtiöiden tämän hetkisiä palveluita kysyntäjoustopotentiaalin edistämiseksi sekä kuinka tärkeäksi myyntiyhtiöt näkevät kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntämisen nyt ja tulevaisuudessa. Kyselyssä selvitettiin myös yhtiöiden tarjoamia palveluita kotiautomaatioratkaisuihin liittyen ja ovatko palvelut yhteensopivia eri kotiautomaatiojärjestelmien kanssa. Kyselyn lopussa tutkittiin myös aurinkovoimaan liittyviä kysymyksiä.

Diplomityö on rajattu tarkastelemaan kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntämistä enimmäkseen kotitalouksissa, Fingridin kolmea pilottiprojektia lukuun ottamatta, joissa tarkastellaan myös joustopotentiaalia muissa kohteissa. Eri valmistajien kotiautomaatiojärjestelmien yhteensopivuutta tai tiedonsiirtoprotokollien yhteensovittamista ei olla tässä työssä tutkittu, koska aihepiiri on niin laaja ja yhteensovittamiseen vaikuttavat myös erilaiset lisenssisopimukset.

1.2 Diplomityön rakenne

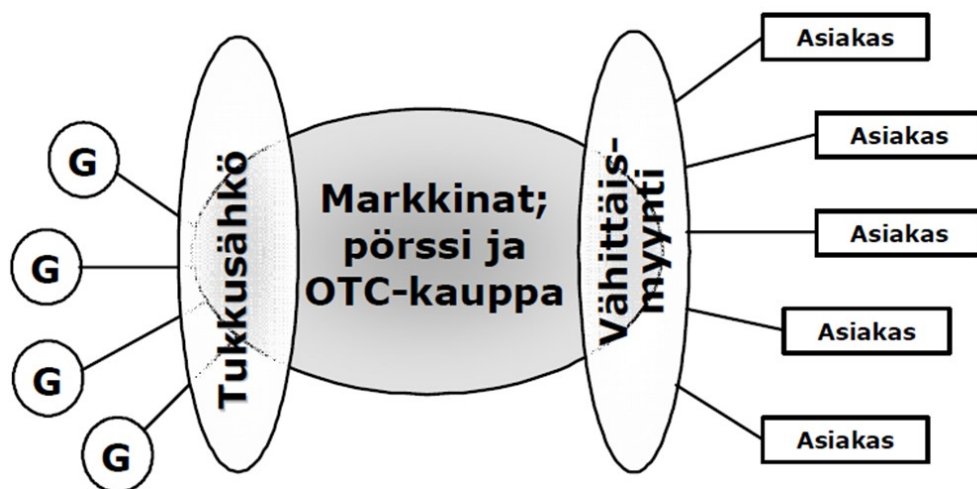
Diplomityön kirjallinen osuus on jaettu kolmeen pääaiheeseen. Luvussa 2 selvitetään Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden toimintaperiaatetta, sähköjärjestelmän tehotasapainoa ja tasehallintaa. Luvussa keskitytään fyysisen sähköpörssiin, tasehallinnassa käytettyihin markkinapaikkoihin sekä reservimarkkinoihin. Luku 3 keskittyy kysyntäjoustop laajamittaiseen hyödyntämiseen kotitalouksissa. Luvussa käydään läpi kysyntäjoustop hyödyntämistä eri markkinapaikoilla, siihen liittyviä haasteita ja ongelmia, aggregaattoreiden toimintaa sekä Fingridin pilottiprojektit kysyntäjoustopon liittyen. Luvussa 4 tarkastellaan kotiautomaatiota yleisesti ja sen erilaisia järjestelmäratkaisuja. Luvussa käydään myös läpi kotiautomaation yleistymiseen vaikuttavia tekijöitä ja miten kotiautomaatio leviää massamarkkinasegmentille. Luvun lopussa annetaan vielä muutama esimerkki eri valmistajien erilaisista kotiautomaatioratkaisuista ja niissä käytettävistä tiedonsiirtoväylistä. Luvussa 5 käsitellään diplomityön tutkimusosio, jossa tarkastellaan tarkemmin sähkönmyyntiyhtiöiden vastauksia liittyen kysyntäjoustopon, kotiautomaatioratkaisuihin ja pientuotantoon. Liitteistä löytyy sähkönmyyntiyhtiöille lähetetyt kysymykset.

2. POHJOISMAISET SÄHKÖMARKKINAT JA TASEHALLINTA

Sähkömarkkinat koostuvat useasta eri markkinapaikasta ja jokaisella markkinapaikalla on oma käyttötarkoituksensa. Käyttötarkoituksen mukaan markkinapaikoille on asetettu markkinapaikkakohtaisia vaatimuksia, sääntöjä ja rajoitteita, joilla markkinapaikasta saadaan toimiva kokonaisuus. Kysyntäjoustoressurssien tehokas hyödyntäminen sähkömarkkinoilla edellyttää sähkömarkkinoiden toiminnan periaatteiden sekä tehotasapainon hallinnan tuntemista. Tässä luvussa pääpaino on eri markkinapaikoilla, joissa voidaan hyödyntää kysyntäjousta.

2.1 Vähittäis- ja tukkusähkömarkkinat

Sähkökauppa jakautuu pienasiakkaiden vähittäismyyntiin sekä isommille toimijoille suunnattuun tukkusähkökauppaan. Sähkön vähittäismyyjät myyvät tukkumarkkinoilta ostettua sekä itse tuotettua sähköä loppukäyttäjille jakeluverkon kautta. Merkittävä osa vähittäismyyjistä on sähköyhtiöitä, mutta markkinoille ilmestyy yhä enemmän jakeluverkonhaltijoista riippumattomia sähkönmyyjiä. Sähkön toimitusvelvollisuus on vähittäismyyjällä, jolla on jakeluverkonhaltijan vastuualueella merkittävin markkinaosuus. Sähkön myyjä on siis velvollinen toimittamaan toimitusvelvollisuusalueeseen kuuluvalla asiakkaalle sähköä kohtuulliseen hintaan asiakkaan niin halutessa ja nämä myyntihinnat ja ehdot ovat julkisia. Pohjoismaiden vähittäismarkkinat ovat vielä toistaiseksi pysyneet kansallisina yhteisistä tukkumarkkinoista huolimatta, mutta pohjoismaiden sähkömarkkinaviranomaisten tavoitteena on luoda yhteiset sähkön vähittäismarkkinat. [2 s.19-20] Kuvassa 1 on havainnollistettu sähkökaupan jakautumisen periaatetta. Kuvassa 1 G tarkoittaa sähköntuottajaa ja asiakas sähkön käyttäjiä.



Kuva 1. Sähkökaupan jakautuminen vähittäismyyntiin ja tukkusähkökauppaan. [2 s.6]

Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla on tyypillistä, että vesivoimalla tuotettu sähkön määrä ja sähkön kulutus vaihtelevat voimakkaasti, mikä ilmenee sähkön hinnan volatilitteettina. Joustavilla tukkusähkömarkkinoilla hallitaan voimakas vaihtelu sekä sähkön tuotannossa että kulutuksessa. Sähkön tukkukaupapaikkoja ovat sähköpörssi sekä OTC-markkinat ja yhdessä nämä mahdollistavat toimivan ja joustavan ympäristön kaupankäynnille sähkömarkkinoilla. Sähkön tuottajat voivat myydä tuottamaansa sähköä sekä pohjoismaisessa sähköpörssissä (Nord Pool) että OTC-markkinoilla kahdenvälisillä sopimuksilla sähkön vähittäismyyjille ja suurasiakkaille. OTC-markkinoilla olevien palveluiden avulla voidaan räätälöidä oma hankinta- ja myyntisalkku vastaamaan omia tarpeita tarkasti. OTC-markkinoilla käytävässä kaupassa on olemassa aina vastapuoliriski. [2 s.20, 29]

Sähköpörssissä markkinahinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Pörssi on avoin, keskitetty ja neutraali markkinapaikka, jossa viestintä on tasapuolista kaikille toimijoille. Kaupan kohteena ovat standardituotteet ja vastapuolena toimii aina pörssi, joten se ei sisällä vastapuoliriskiä ja kaupankäynti pysyy anonyyminä. Pörssin jäsenet ovat itse mukana päätöksenteossa, joten sen tuoterakenne vastaa markkinaosapuolten tarpeita. Nord Pool Spot-markkinoilla käydään kauppaa fyysiseen toimitukseen johtavilla tuotteilla ja Nasdaq Commodities–finanssimarkkinoilla käydään kauppaa johdannaistuotteista. Nord Poolin Suomen aluehintaa käytetään referenssihintana tase- ja säätösähkökaupassa ja systeemihinta toimii referenssihintana Nasdaq Commoditiesin finanssituotteissa. Johdannaisilla pääasiassa muokataan toiminnan riskitasoa valitun strategian mukaisesti. Johdannaisilla voidaan varmistaa tuotetun sähkön myyntihinta tai sähkön hankintahinta ja suojautua epäsuotuisalta hintakehitykseltä. Onnistuneilla johdannaiskaupoilla voidaan myös kasvattaa toiminnan tuottoa. Tulevan hintatason odotuksia sähkömarkkinoilla kuvaa johdannaistuotteiden hinta. [2 s.23]

2.2 Sähköpörssin fyysiset tuotteet

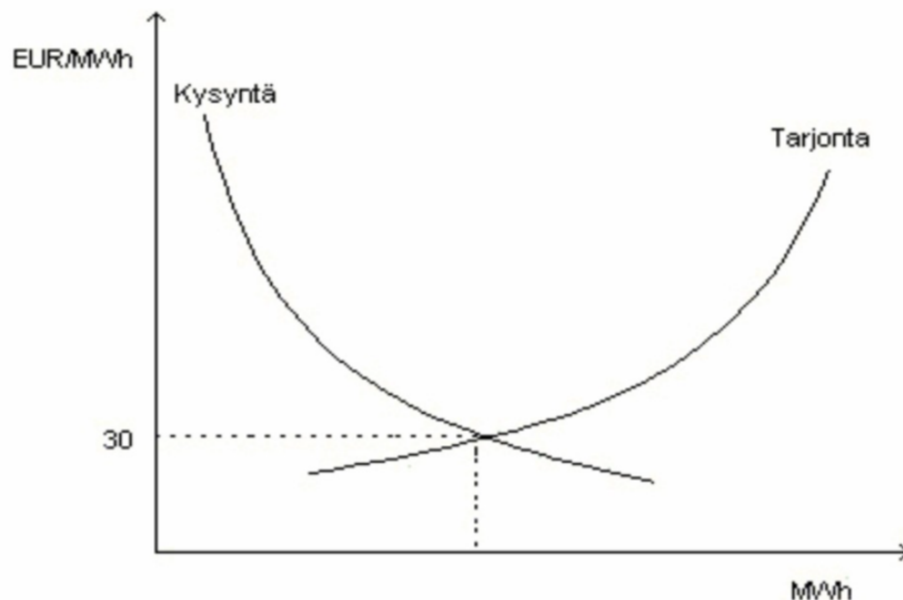
Sähköpörssin fyysisiä markkinoita kutsutaan Spot-markkinoiksi ja ne kehitettiin markkinaosapuolten sähkön tilapäiskaupan tarpeeseen ja referenssihinnan luomiseksi. Kannattava toiminta avoimilla sähkömarkkinoilla edellyttää tuotannon ja hankinnan optimointia. Vaikka sähkön kulutuksen arvioiminen on haastavaa ja se sisältää aina epävarmuutta, on sähköä kyettävä myymään ja ostamaan sen hetkisen tarpeen mukaan. Tähän tarvitaan toimivat fyysiset markkinat, jotka jakautuvat Elspot- ja Elbas markkinoihin. [2 s.23]

2.2.1 Elspot

Elspot-markkinoilla tehdään suurin osa fyysisistä sähkökaupoista ja sen kaupankäyntimuoto on suljettu huutokauppa. Seuraavan päivän sähkön hinta Elspot-markkinoilla määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Kauppaa käydään 0,1 MWh:n ja sen kerrannaisten kiinteistä sähkötoimituksista seuraavan päivän tunneille 00-23. Toimijat käyvät myös kauppaa blokkituotteista, joiden minimipituus on 3 tuntia eli tarjouksista ostaa tai myydä

tietty määrä sähköä peräkkäisinä tunteina. Blokkitarjouksissa sähkön hinnan ja määrän tulee täytyä kokonaisuudessaan, että ne voivat toteutua. Tarjoukset jätetään rajatarjouksina kerran päivässä omalle tarjousalueelle kello 13 mennessä ja tarjous sisältää hankittavan tai myytävän sähkön tehomäärän ja hintavälin. [2, s. 24] Ostajan on arvioitava seuraavan päivän tehomäärä, millä se pystyy vastaamaan kysyntään ja päätettävä kuinka paljon se on valmis maksamaan tästä tehosta tunti tunnilta. Myyjä taas suunnittelee seuraavan päivän jokaiselle tunnille, kuinka paljon sen kannattaa toimittaa sähköä ja mihin hintaan. Kerran päivässä suoritetaan kaupankäyntikierron ja sen tuloksena saadaan jokaiselle tunnille markkinahinta eli systeemi hinta. [3]

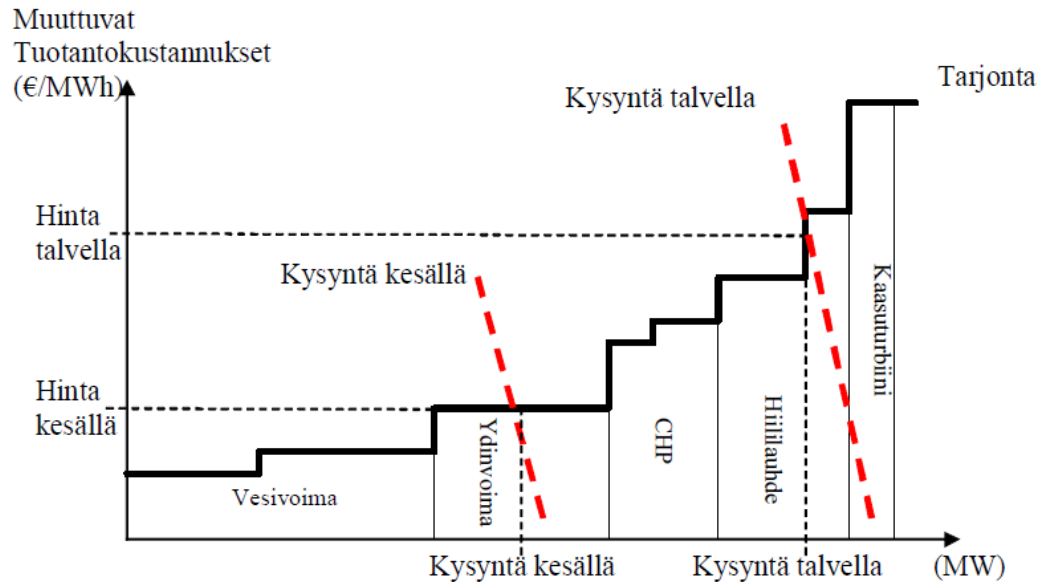
Kuvasta 2 nähdään tuntikohtaisen systeemi hinnan muodostuminen. Käyttötuntikohtaiset osto- ja myyntitarjoukset yhdistetään siten, että niistä saadaan muodostettua yksi kysyntä- ja tarjontakäyrä jokaiselle vuorokauden tunnille. Kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspiste määrittää käyttötunnin systeemi hinnan ja se on jokaiselle markkinaosapuolelle sama.



Kuva 2. Systeemi hinnan muodostuminen. [2, s.25]

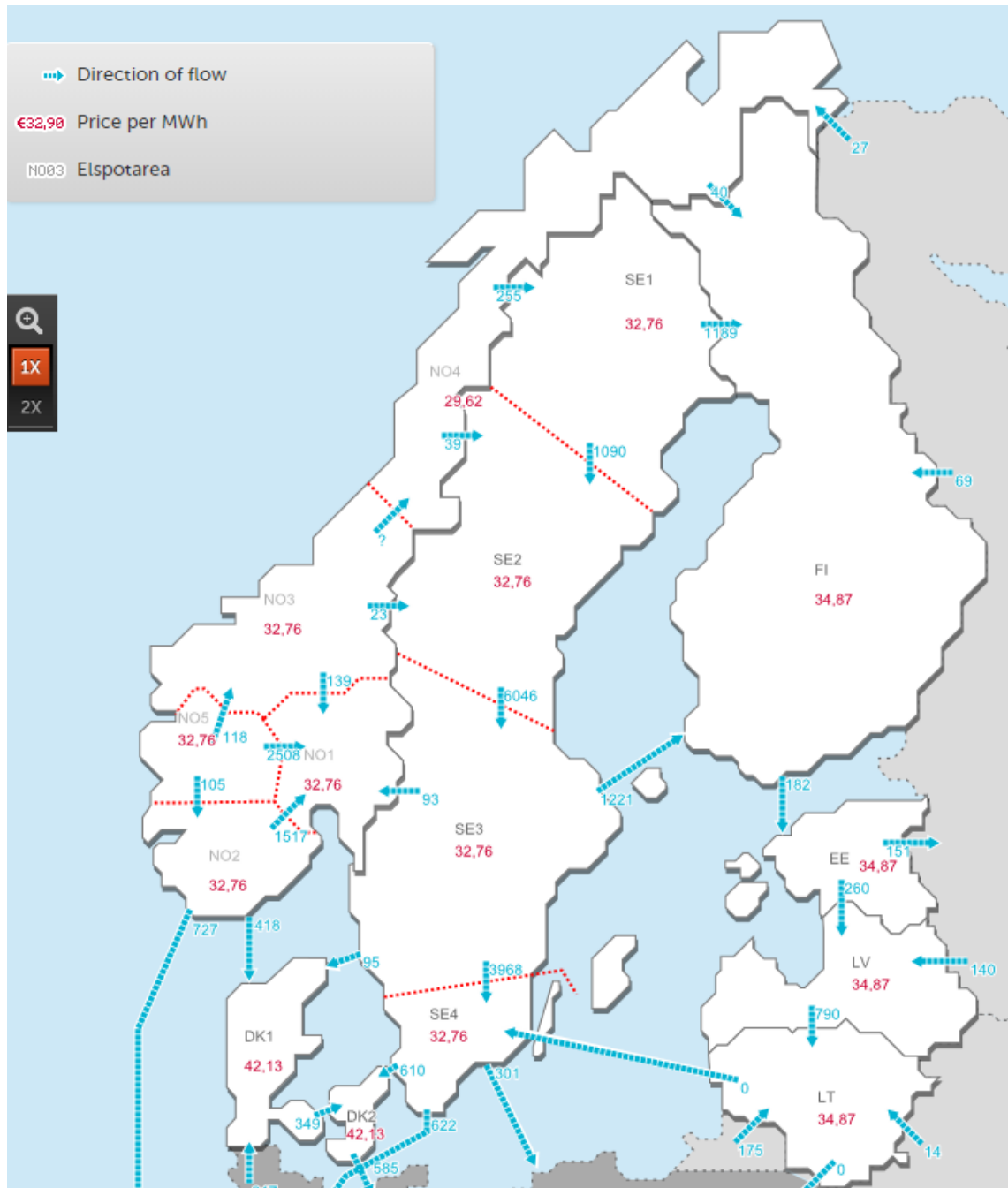
Systeemi hinta muodostuu kalleimman käytössä olevan tuotantomuodon muuttuvista kustannuksista, mikä tarvitaan kattamaan sähkön kysyntä. Kun eri tuotantomuodot kysynnän kattamiseksi järjestetään niiden muuttuvien kustannusten perusteella halvimmasta kalleimpaan, sähkön tuotanto ja kulutus kohtaavat mahdollisimman alhaiseen hintaan. Sähkön hinta siis vaihtelee käytettävissä olevien tuotantomuotojen mukaan. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähkön hintakehitykseen vaikuttaa erityisesti Norjan vesivarannot, koska merkittävä osa sähkön tuotannosta tuotetaan vesivoimalla. [2, s.7] Kuvassa 3 oleva kysyntäkäyrä vaihtelee sähkönkulutuksen mukaan, kun sähkön kulutus pienenee, siirtyy kysyntäkäyrä vasemmalle ja vastaavasti kun sähkönkulutus lisääntyy, kysyntäkäyrä siirtyy oikealle. Kuvasta 3 nähdään sähkön kulutuksen käyttäytymistä kesällä ja talvella.

Kuormitukset ovat pienemmät kesällä ja tällöin perustuotanto kattaa kulutuksen. Talvella sähköntuotantokapasiteettia joudutaan lisäämään kysynnän kasvaessa ja joudutaan ottamaan kalliimpia tuotantomuotoja käyttöön. Kysynnässä ja tarjonnassa tapahtuvat merkittävät muutokset voivat aiheuttaa suuriakin hintapiikkejä [2, s.7].



Kuva 3. Käytettävissä oleva tuotanto muodostaa sähköenergian markkinahinnan. Kuvaan on merkitty punaisella esimerkki kysyntä käyrät kesällä ja talvella. [2 s.7]

Spot-markkinoilla kaupankäynti johtaa aina sähkön toimitukseen, siksi markkinaosapuolilla on oltava käytössä yhteys sähköverkkoon. Pohjoismaiset sähkömarkkinat on jaettu eri tarjousalueiksi. Rajasiirtoyhteyksillä siirretään halpaa sähköntuotantoa alueille, joissa joudutaan muuten käyttämään kalliimpaa sähköntuotantoa. Jos siirtokapasiteettia on riittävästi eri alueiden välillä, hinta on sama kaikilla tarjousalueilla. Käytössä oleva siirtokapasiteetti ei aina pysty kattamaan kaupankäynnin tarvetta ja se rajoittaa tehonsiirtoa tarjousalueiden välillä, jonka seurauksena muodostuu systeemihinnasta poikkeavia aluehintoja. Kun markkinat jaetaan pullonkaulatilanteissa hinta-alueisiin, varmistetaan se, että aluehinta kertoo sen hetkisen tuotanto- ja siirtokapasiteetin parhaiten. Hinta laskee ylitarjonta-alueella ja vastaavasti nousee alitarjonta-alueella systeemihintaan verrattuna. Hinta-alueella muodostetaan kysyntä- ja tarjouskäyrät kyseessä olevan alueen osto- ja myyntitarjousten perusteella. [2, s.21] [4]



Kuva 4. Elspot-markkinoiden aluehinnat. Kuvaan on merkitty spot-hinnat, hinta-alueet sekä alueiden väliset siirrot. Systemi hinta on 32,90 €/MWh 16.1.2018 klo 09.45. [1]

Kuvaan 4 on merkitty Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden hinta-alueet ja niiden kyseessä olevan ajanhetken elspot-hinnat sekä siirtoyhteydet sinisillä nuolilla alueiden välillä. Nord Poolin markkina-alue on jaettu yhteensä 15 hinta-alueeseen, joista neljä on Ruotsissa, viisi Norjassa, kaksi Tanskassa sekä Suomi, Viro, Liettua ja Latvia muodostavat jokainen oman hinta-alueensa. Pohjoismaista on siirtoyhteyksiä Venäjälle, Puolaan, Saksaan ja Alankomaihin. Kuvasta 4 nähdään, että Suomen Elspot-hinta on kuvan tilanteessa systeemihintaa korkeampi. Korkeampaan hintaan vaikuttaa se, ettei Ruotsista ja Norjasta

pystytä siirtämään vesivoimalla tuotettua edullisempaa sähköä riittävästi Suomeen rajasiirtokapasiteettirajoitusten takia. Suomessa joudutaan tällöin käyttämään kalliimpia tuotantomuotoja sähkön kysynnän kattamiseksi.

2.2.2 Elbas

Päivän sisäinen Elbas-markkina toimii Elspot-kaupankäynnin jälkimarkkinana ja se auttaa turvaamaan tarvittavaa tasapainoa kysynnän ja tarjonnan välillä. Kaupankäynti on jatkuva-aikaista ja on avoinna jokaisena tuntina ympäri vuoden. Elbas-markkinoiden tuntisarjat avataan päivittäin noin kello 15 Elspot-tuloksen julkistamisen ja reklamaatioajan jälkeen. [2, s.26] Tarjouksia voidaan tehdä vähintään 0,1 MW kapasiteetista viimeistään tuntia ennen käyttötunnin alkua. Osto/myynti tarjouksia jätetään Elbas-markkinalle kiinteinä hinta (€) - määrä (MW) pareina ja kaupat toteutetaan tarjoushintaan vastatarjouksen löytyttyä. Toteutuneiden kauppojen perusteella määräytyy ylin, keskimääräinen ja alin kaupankäyntihinta. Näin ollen markkinalle ei muodostu yhtenäistä aluehintaa. Elbas kaupankäynnin volyymit ovat pieniä verrattuna Elspot kaupankäyntiin ja ne voivat vaihdella merkittävästi. Kaupankäynnissä on riski, ettei osto- tai myyntitarjouksille löydy vastatarjousta pienen volyymin johdosta ja tällöin kauppa ei toteudu. [7, s.45-46]

Elbas-markkinoiden merkitys kasvaa, mitä enemmän tuuli ja aurinkovoimaa lisätään verkkoon. Tuuli- ja aurinkovoiman sähköntuotanto ovat riippuvaisia luonnon olosuhteista ja ne luovat epätasapainoa elspot-markkinasopimusten ja toteutuneen tuotannon volyymin välille, joka on usein korjattava jälkimarkkinoilla. [6]

2.3 Sähkötaseiden hallinta

Suomessa hetkellisen tehotasapainon ylläpidosta ja valtakunnallisesta taseselvityksestä vastaa Fingrid. Sähkömarkkinoilla toimivien osapuolten on huolehdittava sähkötaseestaan eli osapuolten on kyettävä varmistamaan sähkön tuotannon/hankinnan ja kulutuksen/myynnin välinen tehotasapaino joka hetki. Sähkötaseiden hallinnan avulla, sähkömarkkinaosapuolten on kyettävä selvittämään sähkön käyttö kunakin tuntina. Tasehallinnan tärkein tavoite Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä on ylläpitää sähköjärjestelmän taajuutta ja normaalitilanteessa taajuuden on oltava 49.9 ja 50,1 hertsin (Hz) välillä. Taajuus kuvaa tuotannon ja kulutuksen välillä olevaa tasapainoa. Kun verkon taajuus laskee alle 50 Hz, on kulutus tuotantoa suurempi ja vastaavasti taajuuden kasvaessa yli 50 Hz, on tuotanto kulutusta suurempi. [11]

Sähkömarkkinoilla toimivien osapuolten on ennustettava sähkön käyttönsä mahdollisimman tarkasti. Sähköntuotanto suunnitellaan kulutusennusteiden perusteella. Ennusteet ovat kuitenkin suuntaa antavia ja kulutuksen ja tuotannon välille syntyvää yli- tai alijäämää hoidetaan tasehallinnan keinoin tasesähköinä. [2, s.36] Tehotasapainon ylläpitämisessä käytetään taajuusohjattuja reservejä, jotka aktivoituvat automaattisesti taajuuden

muutoksista. Mikäli taajuusohjatut reservit eivät riitä pitämään taajuutta sallituissa rajoissa, on tehtävä ylös- tai alassäätöjä manuaalisesti säätösähkömarkkinoilla. [11]

Sähkömarkkinalaki edellyttää, että sähköntuotanto- ja hankintasopimukset kattavat sähkömarkkinoilla toimivan osapuolen sähkönkäytön ja toimitukset jokaisena tuntina. Jokaisella osapuolella on oltava avoin toimittaja, joka vastaa osapuolen ennustetun ja toteutuneen kulutuksen tai tuotannon erotuksesta. Avoin toimittaja on siis velvollinen toimittamaan tasesähköä todellisen kulutuksen mukaan ja saa siitä korvauksen suoraan asiakkaalta. Järjestelmävastaava eli Suomessa Fingrid Oyj on ylimmän tason avoin toimittaja. Tasevastaavaksi kutsutaan markkinaosapuolta, jonka avoin toimittaja on järjestelmävastaava. [2, s.36]

2.3.1 Tasesähkökauppa

Tasesähkökaupalla korjataan osapuolten toteutuneiden toimitusten ja hankintojen välistä tasevirhettä. Tasesähkökaupan osapuolina toimivat Fingridin tasesähköyksikkö sekä tasevastaava. Tasesähkökaupassa muodostetaan hinnat erikseen kulutustasesähkölle ja tuotantotasesähkölle. [2, s.43]

Tasevastaavan kulutustase muodostuu kokonaistuotantosuunnitelmasta, toteutuneesta kulutuksesta sekä kiinteistä kaupoista. Tasepoikkeama kulutustaseessa johtuu sähkönhankinnan ja toteutuneen kulutuksen erotuksesta. Sähkönhankintaan sisältyy tuotantosuunnitelma ja kiinteät kaupat. Kulutustaseen tasesähköön käytetään yksihintajärjestelmää eli osto- ja myyntihinnat ovat yhtä suuret. Jos tasevastaavan todellinen kulutus on suurempi kuin suunniteltu kulutus, muodostuu kulutustaseeseen alijäämää. Kulutustaseen alijäämän kattamiseksi tasevastaava ostaa tasesähköä Fingridiltä. Vastaavasti jos tasevastaavan todellinen kulutus on pienempi kuin suunniteltu kulutus, myy tasevastaava tasesähköä Fingridille. [12] Yksihintajärjestelmässä tasesähkön hinnaksi muodostuu ylös-säätötunnilla ylös-säätöhinta ja alassäätötunnilla alassäätöhinta. Jos säätöjä ei ole tehty kyseisellä tunnilla, käytetään hintana Suomen aluehintaa Elspot-markkinoilla. Tasevastaava on velvollinen maksamaan Fingridille kulutusmaksua toteutuneesta kulutuksesta sekä tasepalvelusopimuksen mukaista volyymimaksua tasesähkön ostosta ja myynnistä. [2, s.43]

Tasevastaavan tuotantotase muodostuu kokonaistuotantosuunnitelmasta ja toteutuneesta tuotannosta ja tuotantotaseeseen lasketaan nimellisteholtaan 1 MVA tai sitä suuremmat voimalaitoksen generaattorit. Alle 1 MVA suuruinen tuotanto voidaan liittää tuotantotaseeseen, jos tasevastaava niin haluaa. Tasepoikkeama tuotantotaseessa muodostuu todellisen tuotannon ja tuotantosuunnitelman erotuksesta. Tasepoikkeamalle käytetään kaksihintajärjestelmää. [13] Kaksihintajärjestelmässä tasesähkön ostolle ja myynnille lasketaan omat hinnat jokaiselle käyttötunnille. Tasevastaava maksaa myös Fingridille tuotantomaksun käyttötunnilla toteutuneesta tuotannostaan. [2, s.43] Jos tasevastaavan todellinen tuotanto on pienempi kuin suunniteltu tuotanto, syntyy tuotantotaseeseen alijäämää.

Tasevastaava ostaa alijäämän kattamiseksi tasesähköä Fingridiltä. [13] Fingridin myyntihintana käytetään kyseisen tunnin ylössäätöhintaa. Jos kyseinen tunti on määritetty alassäätötunniksi tai ylössäätöä ei ole tehty, käytetään tuotantotasesähkön myyntihintana Suomen aluehintaa Elspot-markkinoilla. [2, s.43] Vastaavasti jos todellinen tuotanto on suurempi kuin suunniteltu tuotanto syntyy tuotantotaseeseen ylijäämää, jonka tasevastaava myy Fingridille. [13] Fingrid käyttää tuotantotaseen ostohintana kyseisen tunnin alassäätöhintaa. Jos kyseinen tunti on määritetty ylössäätötunniksi tai alassäätöä ei ole tehty, käytetään tuotantotasesähkön myyntihintana Suomen aluehintaa Elspot-markkinoilla. [2, s.43] Tuotantotaseen tasesähköstä ei peritä volyymimaksua [13]. Kuva 5 havainnollistaa kaksi- ja yksihinta-järjestelmän toimintaa.

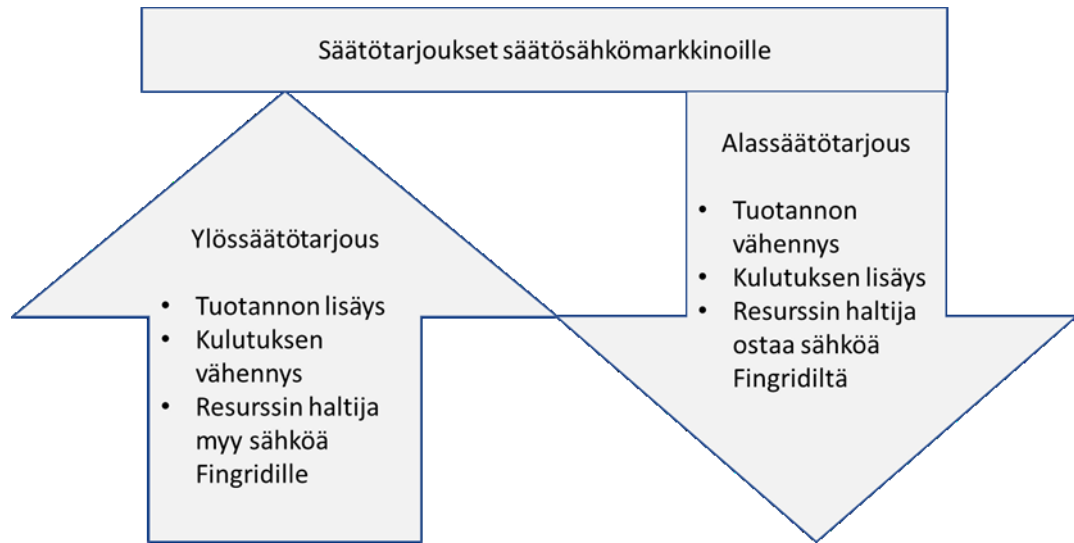
		2-hinta			1-hinta			
		Ylössäätötunti	Ei säätöjä	Alassäätötunti	Ylössäätötunti	Ei säätöjä	Alassäätötunti	
Tasevastaavan	Ylössäätöhinta	100	50	50	100	50	50	€/MWh
	Spothinta	50	50	50	50	50	50	-
	Alassäätöhinta	50	50	20	50	50	20	-
	tasesähkön ostohinta	100	50	50	100	50	20	-
	tasesähkön myyntihinta	50	50	20	100	50	20	-

Kuva 5. Kaksi- ja yksihinta-järjestelmän toimintaperiaate. [14]

2.3.2 Säätosähkökauppa

Säätosähkökauppaa käydään Suomessa Fingridin ylläpitämillä säätosähkömarkkinoilla ja ne ovat osa pohjoismaisia säätosähkömarkkinoita. Kaikki tuotannon ja kuorman haltijat, jotka ovat tehneet säätosähkömarkkinasopimuksen Fingridin kanssa, voivat tehdä säätotarjouksia säätokykyisestä kapasiteetistaan säätosähkömarkkinoille. [2, s.37] Tehtävät kaupat perustuvat fyysiseen säätöön ja säätotarjouksia voidaan jättää resursseista, jotka pystyvät toteuttamaan 10 MW (5 MW elektronisella aktivoinnilla) tehomuutoksen 15 minuutin kuluessa. Sääto on kyettävä toteuttamaan tarjotulla teholla koko käyttötunnin ajan ja vähimmäiskesto säädölle on 1 minuutti. Tarjottavat resurssit säätosähkömarkkinoilla tulee olla sellaisia, että Fingridillä on käytettävissä reaaliaikainen päätötehomittaus tai muu reaaliaikainen tieto aktivoinnin todentamisesta. [9, s.1-2] Tarjoukset jätetään viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia ja säätotarjousten tulee noudattaa säätosähkötarjousohjetta. Säätotarjouksesta tulee ilmetä teho (MW), hinta (€/MWh), tuotanto/kulutus, tarjotun resurssin siirtoalue ja säätoresurssin nimi, esim. voimalaitos. [8] Tarjouksessa tulee

olla myös reservitieto, josta ilmenee, onko tarjous tehoreservitarjous, säätötarjous vai säätökapasiteettitarjous [9, s.1-2]. Kuvassa 6 on havainnollistettu säätötarjouksia.



Kuva 6. Säätösähkökaupassa säätötarjouksina käytetään ylös- ja allassäätötarjouksia.

Fingrid toimittaa jokaiselta käyttötunnilta Suomen säätötarjoukset pohjoismaisille säätösähkömarkkinoille. Tarjouksia käytetään pohjoismaisen järjestelmän ja myös viereisten synkronialueiden tarpeisiin. Kaikista jätetyistä säätötarjouksista muodostetaan pohjoismainen säätötarjouslista, jossa tarjoukset ovat hintajärjestyksessä. Ylössäätötarjoukset asetetaan järjestykseen halvin tarjous ensin ja vastaavasti allassäätötarjoukset järjestykseen kallein ensin. Ylös- ja allassäätöhinta määritetään erikseen jokaiselle käyttötunnille. Ylössäätöhinta muodostuu kalleimman tilatun tuotannon lisäyksen tai kulutuksen vähennyksen mukaan, joka on kuitenkin vähintään Nord Poolin Suomen aluehinta (Elsport FIN). Fingrid maksaa sovitusta ylössäätöenergiasta aina ylössäätöhinnan mukaan. Allassäätöhinta muodostuu halvimman tilatun tuotannon vähennyksen tai kulutuksen lisäyksen mukaan, joka on kuitenkin enintään Nord Poolin Suomen aluehinta (Elsport FIN). Fingrid maksaa sovitusta allassäätöenergiasta aina allassäätöhinnan mukaan. [9, s.2-3]

Joskus sähköjärjestelmän tilanteen vuoksi kaikkia tarjouksia ei ole mahdollista käyttää. Silloin valitaan tarjouslistalta edullisin käytettävissä oleva tarjous. Jos tarjoukset ovat samanhintaiset, Fingrid ottaa tilauksessa huomioon tarjotun resurssin sijainnin ja tarjouksen koon. Fingrid voi tilata säädön puhelimitse tai tilaussanomalla, ja tilauksesta käy ilmi säädön tehon määrä, hinta ja alkamisajankohta. Tasevastaava saa ilmoituksen tilattujen säätöjen määrästä säätösähkömarkkinaosapuolelta ennen kyseisen säädön alkamista. Aggregoitu tarjous voidaan tilata osittain, mutta tarjouksen tulee olla vähintään minimitarjouskoon suuruinen. Tällöin säätökauppa tehdään eri resursseista tarjottujen tehomäärien suhteessa. [9, s.2-3]

Säätösähkön hinta on sama eri tarjousalueilla, kun siirtokapasiteettia on riittävästi ja säätötarjoukset on mahdollista toteuttaa hintajärjestyksessä. Siirtokapasiteetista johtuvat pullonkaulatilanteet tai Suomen tasepoikkeamat voivat eriyttää säätösähkön hinnat eri Elspot-alueilla. Kun Suomeen syntyy pullonkaulatilanne ja säätötarjouksia joudutaan jättämään käyttämättä, muodostuu Suomen säätöhinnaksi viimeksi tilatun säädön hinta ennen tarjouksen väliin jättämistä. Suomen tasepoikkeamissa Fingrid huolehtii säätötoimenpiteillä tehotasapainon ylläpidosta ja säätösähkön hinta määräytyy Suomessa toteutettujen säätöjen mukaan. Jos suuri voimalaitos joudutaan ajamaan alas vian sattuessa ja sähkönkulutus on ennakoitua suurempaa, voi ylössäädön hinnat nousta erittäin suuriksi. Ylössäätötarjouksen maksimihinnaksi on asetettu 5000 €/MWh. Käyttötunnille muodostuneet säätösähkön hinnat julkaistaan kaksi tuntia käyttötunnin jälkeen. [9, s.3]

Fingrid voi tilata säätötarjouksia myös muihin, kuin tasehallinnan tarpeisiin eli erikoissäätöihin. Erikoissäädöissä käytetään sopivia tarjouksia siirtotilanteen mukaan ja tarjouksia ei välttämättä käytetä hintajärjestyksessä. Erikoissäädöissä hinta muodostuu tarjouksen mukaisesti. Erikoissäädön hinta ylössäädölle on kuitenkin vähintään sama kuin kyseisen tunnin ylössäätöhinta ja vastaavasti alassäädön hinta on enintään sama kuin kyseisen tunnin alassäätöhinta. Erikoissäätö ei vaikuta säätösähkön hinnan muodostumiseen. [9, s.4]

2.3.3 Säätökapasiteettimarkkinat

Säätökapasiteettimarkkinat otettiin käyttöön 2016 varmistamaan, että Fingridillä on omien ja vuokravoimalaitosten huolto- ja korjauskeskeytyksissä mitoitettu määrä nopeaa häiriöreservää. [8] Kapasiteettitarjouksesta saatu korvaus määräytyy säätökapasiteettimarkkinoiden tarjouskilpailun perusteella kullekin hankintajaksolle. Hankintajakson pituus on CET-aikavyöhykkeen mukainen kalenteriviikko. Tarjouskilpailussa hankittava tuote (ylös- tai alassäätökapasiteetti) ja sitomaton arvio hankittavasta määrästä julkaistaan Fingridin toimesta pääsääntöisesti 10 päivää ennen hankintajakson alkua. Reservimyyjä jättää kapasiteettitarjouksensa määräaikaan mennessä, joka on pääsääntöisesti viimeistään kuusi päivää ennen hankintajakson alkua. Kun kapasiteettitarjous on hyväksytty tarjouskilpailussa, sitoutuu reservimyyjä jättämään ylössäätötarjouksen säätösähkömarkkinalle kapasiteettikorvausta vastaan. Tarjous voidaan poistaa vain siinä tapauksessa, jos vikaantumisen estää tilauksen. Hyväksytyt säätökapasiteettitarjoukset jätetään edellisenä päivänä kello 13:00 mennessä seuraavan päivän tunneille. Säätösähkömarkkinalla Fingrid käyttää pääsääntöisesti säätökapasiteettitarjoukset säätötarjousten jälkeen. [10, s.1-2]

Kapasiteettitarjoukset jätetään säätösähkömarkkinaosapuolikohtaisesti. Yhden kapasiteettitarjouksen enimmäiskapasiteetti on 50 MW ja vähimmäiskapasiteetti on 10 MW (5 MW, jos resurssi voidaan tilata elektronisesti) ja tarjoukset jätetään 1 MW:n tarkkuudella. Säätösähkömarkkinaosapuoli voi jättää useita erihintaisia säätökapasiteettitarjouksia samalle käyttötunnille. Tarjoukset käsitellään erillisinä, joten ne eivät saa olla linkitettyinä toisiinsa ja tarjousten yhteenlaskettu määrä (MW) ei saa olla suurempi, kuin Fingridin

tarjouskilpailussa hyväksymä määrä. Tarjouksen pitää sisältää tiedot kapasiteetista (MW/viikko) ja kapasiteettikorvauksesta (€/MW/viikko). Kapasiteettitarjoukseen voidaan kohdentaa tietyt markkinaosapuolen resurssit, jolloin ne eritellään omiksi tarjouksiksi kohdennusten mukaan. Kohdennettuja kapasiteettitarjouksia voi olla enintään viisi. [10, s.2-3]

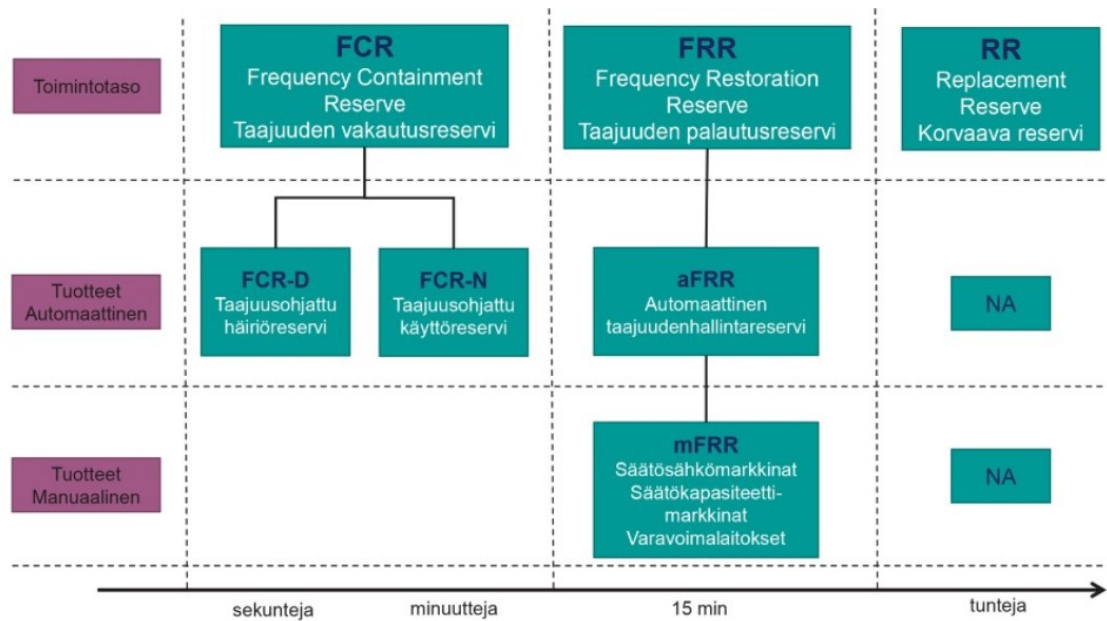
Säätökapasiteettimarkkinalla hyväksytyille kapasiteettitarjoukselle määräytyy erikseen kapasiteettikorvaus kyseisen tarjouksen mukaisesti eli pay as bid -periaatteella. Fingridin maksama korvauksen suuruus tarkistetaan hankintajakson jälkeen. Siihen vaikuttavat säätökapasiteetin toteutunut pysyvyys sekä maksettava energiakorvaus käytetyistä tarjouksista. [8]

2.4 Reservimarkkinat

Sähkön tuotannon ja kulutuksen pitää olla tasapainossa joka hetki ja sähköverkon taajuus tasapainotilanteessa on 50,0 Hz. Sähkömarkkinaosapuolten kulutus- ja tuotantosuunnitelmissa on aina eroavaisuuksia verrattuna toteutuneeseen kulutukseen ja tuotantoon. Tästä johtuen Fingrid tarvitsee tehotasapainon ylläpitämiseen reservejä, joita se hankkii ylläpitämiltään markkinoilta. Reservit ovat voimalaitoksia ja kulutuskohteita, jotka tarpeen mukaan lisäävät tai laskevat tehoaan.

Pohjoismaiset järjestelmävastaavat ovat tehneet reservien ylläpitovelvoitteista käyttösovimuksen, joka koskee pohjoismaista yhteiskäyttöjärjestelmää. Käyttösovimuksen tavoitteena on varmistaa reservien riittävyys ja tasapuolinen kilpailu kaikille osapuolille. Reservivelvoitteen täyttämiseksi jokainen kantaverkkoyhtiö hankkii reservinsä parhaaksi katsomallaan tavalla ja reservikauppaa voidaan käydä myös maiden välillä. Näiden lisäksi kantaverkkoyhtiö on velvollinen ylläpitämään nopeaa häiriöreserviä oman alueensa mitoittavan vian verran. [15]

Kuvasta 7 nähdään eri reservituotteet, ja ne on jaoteltu kolmeen ryhmään. Jatkuvaan taajuuden hallintaan käytetään taajuuden vakautusreservejä (FCR). Taajuuden palautusreservien (FRR) tehtävänä on palauttaa taajuus takaisin normaalialueelle ja vapauttaa taajuuden vakautusreservit takaisin käyttöön. Korvaavilla reserveillä (RR) valmistaudutaan mahdollisiin häiriötilan jälkeisiin vikatilanteisiin palauttamalla taajuuden palautusreservit takaisin valmiustilaan. Korvaavat reservit eivät ole käytössä pohjoismaisessa sähköjärjestelmässä. [15]



Kuva 7. Käytössä olevat reservit ja niiden aktivoitumisnopeudet. [15]

Kuvasta 7 nähdään, että taajuuden vakautusreservi (FCR) on jaettu käyttötarkoituksen mukaan taajuusohjatuksi häiriöreserviksi (FCR-D) sekä taajuusohjatuksi käyttöreserviksi (FCR-N). Taajuuden palautusreservi (FRR) on myös jaettu kahteen osaan automaattiseksi taajuudenhallintareserviksi (aFRR) sekä manuaaliseksi taajuudenhallintareserviksi (mFRR).

2.4.1 Taajuuden vakautusreservi (FCR)

Fingrid hankkii tarvitsemansa taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosimarkkinoilta, tuntimarkkinoilta sekä Venäjän- ja Viron tasasähköyhteyksiltä. Kohteiden, jotka osallistuvat taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin, ylläpitoon tulee täyttää tekniset vaatimukset ja ne todennetaan säätökokeilla ennen markkinoille osallistumista. Taajuusohjatulle käyttö- ja häiriöreserville on erilliset markkinat sekä markkinavaatimukset. [16 s.3]

Vuosimarkkinoilta hankitaan reserviä tarjouskilpailun perusteella Suomessa sijaitsevista kuormista ja voimalaitoksista. Tarjouskilpailu järjestetään syys-lokakuussa seuraavalle kalenterivuodelle ja vuosimarkkinoille ei ole mahdollista osallistua kesken vuosisopimuskauden. Tuntimarkkinoille sen sijaan on mahdollista osallistua kesken kalenterivuoden, eikä se edellytä vuosimarkkinoille osallistumista. Tuntimarkkinoilta Fingrid ostaa tarvitsemansa määrän reserviä tunnikohtaisesti ja jokaiselle tunnille ei välttämättä ole ostoja. Tunnin hinta määräytyy kalleimman käytetyn tarjouksen mukaan. [16 s.3]

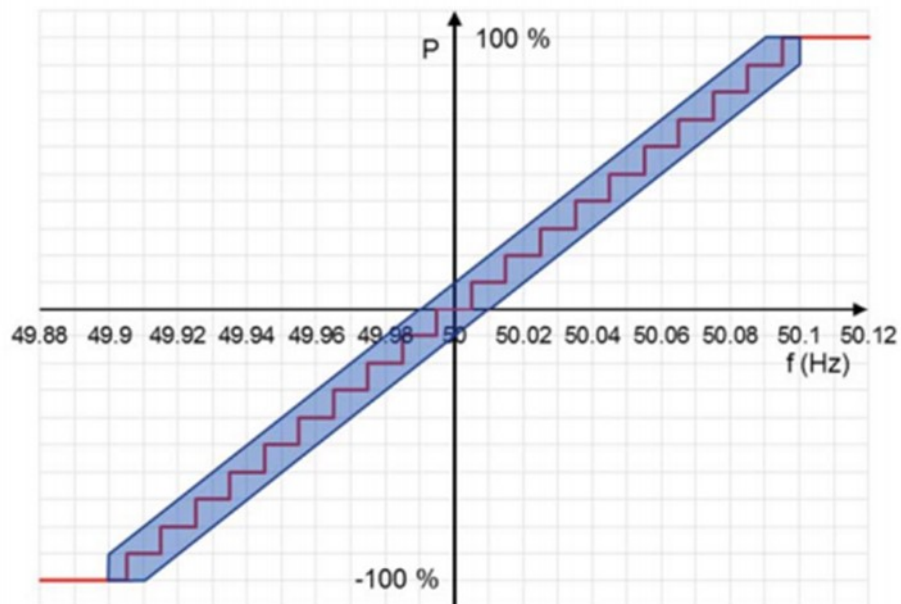
Vuosi- ja tuntimarkkinoille reservinhaltija voi yhdistää useita eri reservikohteita eri alueilta. Reservinhaltijan ei tarvitse olla tasevastaava tai omistaja, mutta se tarvitsee omistajan suostumuksen vuosi- sekä tuntimarkkinasopimusten mukaisesta reservikäytöstä. Yksit-

täisen reservin tuottama reservimäärä saa olla enintään 70 MW kullakin tunnilla. Reservikohteen tulee kyetä aktivoitumaan täysimääräisesti koko toimitusjakson ajaksi. Fingridin pyynnöstä reservinhaltijan tulee pitää kaikkien ajossa olevien reservikohteiden taajuussäätö käytössä, silloin kun sähköjärjestelmä on saareketilanteessa sekä tilanteissa, joissa Fingridillä ei ole tarpeeksi resursseja kattamaan reservivelvoitteita. [16 s.3-4]

Taajuusohjattu käyttöreservi FCR-N

Normaalitilan taajuudensäätöön käytettävää taajuusohjattua käyttöreserviä on pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä käytössä joka hetki yhteensä 600 MW. Taajuusohjattua käyttöreserviä ylläpitävät pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt ja se on jaettu suhteessa maiden käyttämien vuosienergioiden mukaan. Suomen velvoite taajuusohjatusta käyttöreservistä on noin 140 MW. [15]

Taajuusohjatun käyttöreservin tarkoitus on pitää taajuus normaalitaajuusalueella 49,9 - 50,1 Hz. Säätö on symmetrinen eli tehoa voidaan lisätä tai laskea taajuuden mukaan. Säädön pitää aktivoitua automaattisesti 0,1 Hz:n taajuusmuutoksesta täysimääräisesti kolmessa minuutissa ja säätö tapahtuu lähes lineaarisesti. Taajuusohjatun käyttöreservin minimi säätö on 0,1 MW. Kuollut alue saa olla enimmillään $50 \pm 0,05$ Hz. Relekytketyistä resursseista koostuvan reservin on kyettävä säätämään paloittain taajuusalueella 49,90 - 50,10 Hz. Kuvan 8 punainen viiva esittää säätökäyrää ja aktivoitumisen tulee tapahtua kuvan osoittaman sinisen alueen sisällä, että se täyttää vaatimukset. [16 s.4]



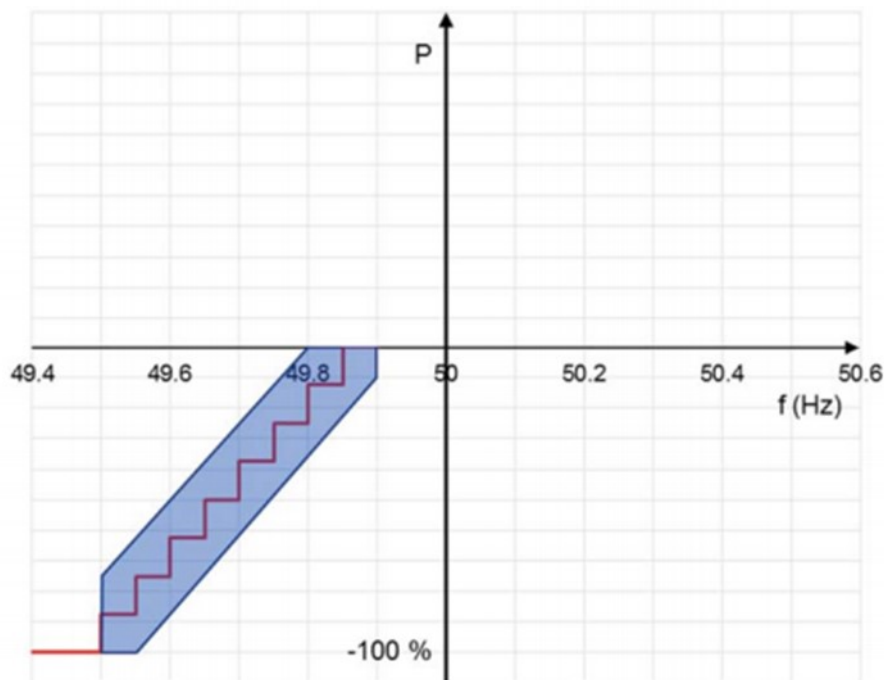
Kuva 8. Relekytketyistä resursseista koostuvan kohteen aktivoituminen taajuusohjatuna käyttöreservinä. [16 s.4]

Taajuusohjattu häiriöreservi FCR-D

Taajuusohjattua häiriöreserviä on ylläpidettävä sen verran, ettei suuren tuotantoyksikön irtoaminen sähköverkosta aiheuta yli 0,5 Hz pysyvää taajuuspoikkeamaa. Normaalisissa käyttötilanteissa taajuusohjattua häiriöreserviä on käytössä yhteensä noin 1200 MW. Se jaetaan viikoittain osajärjestelmien kesken mitoittavien vikojen suhteessa ja Suomelle asetettu velvoite on noin 260 MW. [15]

Taajuusohjattu häiriöreservi aktivoituu automaattisesti, kun taajuus laskee alle 49,90 Hz ja reservi on kokonaan aktivoitunut taajuudella 49,50 Hz. Häiriöreservejä käytetään vain ylössäätöön (tehonlisäys voimalaitoksilta tai kuormien irtikytkentä verkosta). Häiriöreservin aktivoitumiselle on asetettu vaatimus, että puolet häiriöreservistä pitää aktivoitua viidessä sekunnissa ja sen pitää aktivoitua kokonaisuudessaan 30 sekunnissa -0,50 askelmaisella taajuusmuutoksella. Taajuusohjatun häiriöreservin vähimmäissäätö on 1 MW. [16 s.5]

Relekytketyistä resursseista muodostuvan reservikohteen on kyettävä säätämään paloittain lineaarisesti taajuusalueella 49,50 – 49,90 Hz. Säätekäyrää esittää kuvassa 9 punainen viiva ja aktivoinnin tulee tapahtua sinisen alueen sisällä, jotta se täyttää vaatimukset.



Kuva 9. Relekytketyistä resursseista koostuvan kohteen aktivoituminen taajuusohjatuna häiriöreservinä. [16 s.5]

Vaihtoehtoisesti koko relekytketty kuorma voidaan irtikytkä ja sen kokonaismäärä voi olla enintään 100 MW kyseisellä tunnilla. Kuorman irtikytkennän tulee täyttää taulukossa

1 olevat asetellut. Irtikytketyn kuorman saa kytkeä takaisin verkkoon taajuuden oltua vähintään 49,90 Hz kolmen minuutin ajan. [16 s.5]

Taulukko 1. *Relekytketyn kuorman irtikytkennän vaatimukset. [16 s.6]*

Taajuus (Hz)	Irtikytkentäaika (s)
$\leq 49,70$	≤ 5
$\leq 49,60$	≤ 3
$\leq 49,50$	≤ 1

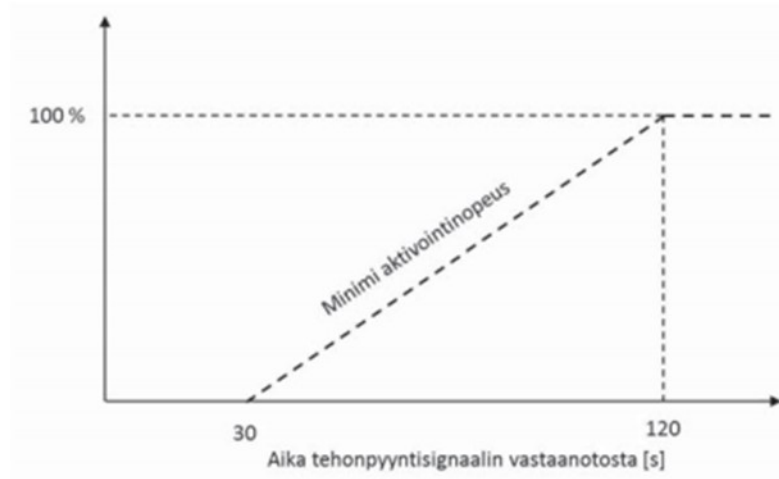
Esimerkiksi taulukossa 1 ensimmäisissä sarakkeissa oleva taajuus $\leq 49,70$ Hz ja aika ≤ 5 s tarkoittavat, että reservin tulee olla aktivoitunut kokonaan maksimissaan viidessä sekunnissa, kun sähköjärjestelmän taajuus on 49,70 Hz tai sen alle.

2.4.2 Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)

Automaattista taajuudenhallintareserviä ylläpidetään 300 MW aamu-, ilt- ja vuorokauden vaihdetunneilla ja se on jaettu pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden käyttämien vuosienergioiden mukaan. Automaattinen taajuudenhallintareservi otettiin käyttöön pohjoismaisessa voimajärjestelmässä 2013. Se on keskitetty taajuusohjattu reservi, joka aktivoituu automaattisesti pohjoismaisen synkronialueen taajuuspoikkeamasta. Sitä käytetään palauttamaan taajuus 50 Hz:n nimellisarvoon sekä vapauttamaan jo aktivoituneet taajuusohjatut reservit takaisin käyttövalmiuteen. [18] Voimajärjestelmän taajuuspoikkeamasta lasketaan tarvittava tehonmuutos integroivalla laskennalla, joten reservihaltijan Fingridiltä saama aktiivipyynnö vaihtaa suuntaa vain, jos tavoitetaajuus on saavutettu. Jos taajuudenhallintareservillä palautetaan sähköjärjestelmän aikapoikkeamaa, voi taajuus poiketa nimellistaajuudesta. Fingrid hankkii automaattista taajuudenhallintareserviä tuntimarkkinoilta, jota käydään tietyillä aamu- ja iltatunneilla. Osapuolet voivat jättää tarjouksia ylös- ja alassäätökapasiteetistaan ja vähimmäiskoko säädölle on 5 MW ja aktivoimis-aika on 2 minuuttia. Lisäksi toimijalle maksetaan energiakorvausta toteutuneiden säätöjen perusteella. [17 s.1]

Norjan kantaverkkoyhtiö Statnettin käytönvalvontajärjestelmä laskee tarvittavan tehon taajuuden palauttamiseksi ja lähettää aktivointipyynnön kullekin kantaverkkoyhtiölle, jotka välittävät pyynnön edelleen kansallisesti reservihaltijoille. Tehon aktivointisignaalia lähetetään reservihaltijoille 10 sekunnin välein ja aktivointisignaalin etumerkki on negatiivinen, jos kyseessä on alassäätöä ja positiivinen, jos aktivointipyynnö on ylössäätöä. Reservi voi koostua yhdestä tai useammasta voimalaitoskoneistosta. Reservihaltijat voivat saada kahta erityyppistä aktivointisignaalia riippuen reservin säätönopeudesta. Aktivointisignaalin tyyppi katsotaan tapauskohtaisesti reserviä ylläpitävissä kulutuskohteissa. [17 s.1]

Suodatettua aktivointisignaalia lähetetään nopeaan säätöön kykenevälle tuotannolle, kuten tyypillisesti vesivoimalle. Suodatetulla signaalilla varmistetaan, ettei taajuudenhallintareservi toimi päällekkäin muiden taajuusohjattujen reservien kanssa. Kuvasta 10 nähdään, että signaalin tulee aktivoitua kokonaisuudessaan 120 sekunnissa ja säädön on alettava viimeistään 30 sekunnin aikana aktivointisignaalin vastaanotosta. [17 s.1-2]

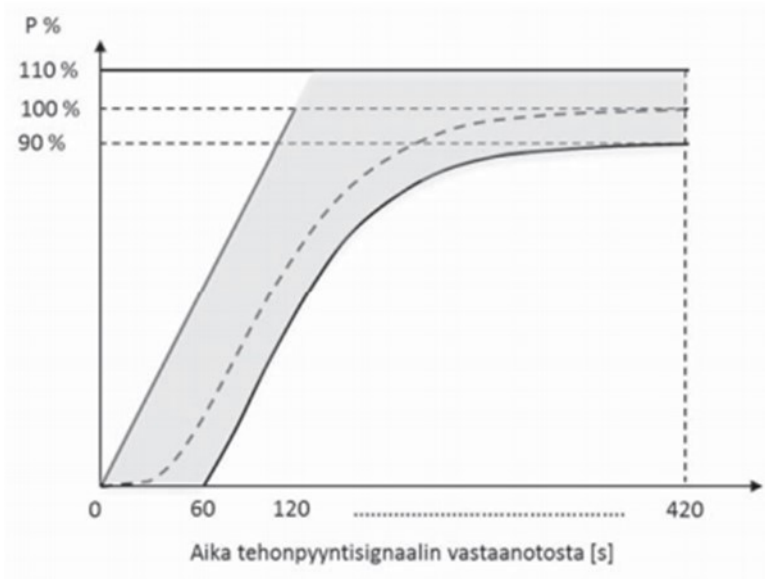


Kuva 10. Nopean reservin maksimi aktivoitumisaika, kun vastaanotettavan tehon aktivointisignaali on suodatettu. [17 s.2]

Hitaammin säätävälle tuotannolle suodatus on vähäistä. Suodattamattomalla signaalilla (esimerkiksi lämpövoimatuotanto) yksikön pitää aktivoitua askelmaisessa tehomuutoksessa kuvassa 11 olevan harmaan alueen sisällä. Aktivoitumisen tulee tapahtua 60 sekunnin päästä signaalin vastaanottamisesta. Minimi aktivoituminen lasketaan kaavalla 1.

$$\frac{1}{(1+sT)^4} \quad (1)$$

jossa T on 35 sekuntia. [17 s.2]



Kuva 11. Hitaamman reservin maksimi aktivoitumisaika, kun vastaanotettavan tehon aktivointisignaali on suodattamaton. [17 s.2]

Reservihaltijan vastuulla on, että taajuudenhallintareservin ylläpitoon käytettävä yksikkö täyttää vaatimukset säätökykyyn liittyen ja ne todennetaan säätökokeilla. Reservinhaltija vastaa mittausten suorittamisesta. [17 s.3]

2.4.3 Nopea häiriöreservi (mFRR)

Pohjoismaisilla kantaverkkoyhtiöillä on sopimus siitä, että jokaisella maalla pitää olla nopeaa häiriöreserviä käytössään aina oman alueensa mitoittavan vian verran. Mitoitavalla vialla tarkoitetaan suurinta mahdollista tehovajetta, jonka yksittäinen vika voi aiheuttaa. Suomessa Fingridin nopean häiriöreservin tarve vaihtelee käyttötilanteen mukaan 880 – 1100 MW välillä. Nopea häiriöreservi aktivoidaan manuaalisesti ja sitä käytetään vain tilanteissa, joissa tehon tarve on suuri. Fingridillä on käytössään omia varavoimalaitoksia sekä se on tehnyt pitkäaikaisia käyttöoikeussopimuksia varavoimalaitosten kanssa kattamaan veloitteensa nopeasta häiriöreservistä. Käyttöoikeussopimukset kestävät yleensä vähintään kymmenen vuotta. Nopean häiriöreservin ylläpitoon osallistuvat voimalaitokset eivät voi osallistua kaupalliseen sähköntuotantoon. Vähimmäissäätönopealla häiriöreservillä on 10 MW ja sen aktivoitumisaika on 15 minuuttia. [19 s.11]

3. KYSYNNÄN JOUSTO

Pariisin ilmastositomuksen tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä vuodesta 2020 alkaen. Sen tavoitteena on rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu alle kahteen asteeseen ja pyrkiä toimenpiteisiin, joilla lämpeneminen saataisiin rajattua jopa alle 1,5 asteen. Sähköntuotannon päästöjen vähentäminen on merkittävää ilmastomuutoksen torjumisessa. Pääministeri Juha Sipilän hallitus on asettanut tavoitteeksi uusiutuvien energia lähteiden osuuden kasvattamista yli 50 prosenttiin loppukulutuksesta ja energiaomavaraisuuden lisäämisen yli 55 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteena on myös luopua hiilen käytöstä energiatuotannossa. [23 s.10]

Sähkön tuotantorakenne muuttuu merkittävästi Pariisin ilmastositomuksen toimenpiteiden käynnistyessä laajamittaisesti. Aikaisemmin sähkömarkkinoilla sähköntuotanto on mukautunut ajallisesti voimakkaasti vaihtelevan sähkönkulutuksen muutoksiin. Nykyisin kehitys on menossa siihen suuntaan, että yhä suurempi osuus sähköntuotannosta on sel-laista, jota ei teknisesti voida tai ei taloudellisesti ole kannattavaa säätää, ja sähköjärjestelmän joustavuus vähenee. Joustamattomia tuotantomuotoja ovat sääriippuva tuuli- ja aurinkovoima, sekä ydinvoima, jonka tuotantoa ajetaan tasaisesti. Sähköjärjestelmässä myös pyörivä massa (inertia) vähenee muutosten johdosta. [7 s.3] Osana ilmastomuutoksen torjuntaa uudet investoinnit koskevat lähinnä vaihtelevaa uusiutuvaa energian tuotantoa. Sähkön saatavuuden vaihtelu vaikuttaa suoraan sähkön hintoihin ja hintaheilahtelut kasvavat. Ajoittain sähköä voidaan tuottaa paljon ja pienillä muuttuvilla kustannuksilla, toisina hetkinä taas niukasti ja kalliimmmin. Hintojen laskun seurauksena kannattavuus perinteisillä voimalaitoksilla on vähentynyt. Varastointimahdollisuudet ovat vielä puutteellisia ja sähköverkkojen siirtokapasiteettirajoitusten vuoksi vaihteleva tuotanto tarvitsee tuekseen perus- ja säätövoimaa. Talven huippukulutuksen aikana Suomen tuontitarve on merkittävä, yli 3000 megawattia. Olkiluoto 3 -ydinvoimayksikön valmistuminen pienentää tuontitarvetta, mutta ei poista sitä kokonaan. [20]

Säätövoimalla voidaan turvata sähkönsaantia ja tasata sähkön kysyntää ja tarjontaa. Tähän kuuluvat myös suurten voimalaitosten häiriötilanteet, jolloin osa tuotannosta irtoaa hetkellisesti pois verkosta. Sähköverkon säätökyky vähentää myös hintapiikkejä ja tukee näin ollen elinkeinoelämän kilpailukykyä ja kansalaisten hyvinvointia. Säätötarve lisääntyy Euroopassa voimakkaasti, kun lämpövoimaan perustuvaa sähköntuotantoa vähennetään. Tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon voimakas lisääminen edellyttää, että säätövoimaa on riittävästi ja sähköjärjestelmän luotettavuus ei kärsi näiden takia. Myös yleinen sähköistyminen yhteiskunnassa lisää entisestään säätötarvetta. [21] Jatkossa on pyrittävä siihen, että sähkön kulutus mukautuu enemmän sähköntuotannon vaihteluihin. Tätä kutsutaan sähkön kysynnän joustoksi. Mikäli kysyntäjoustoa on käytettävissä riittävästi, ei

tehoa tarvitse tasapainottaa lisäämällä voimalaitosten tuotantoa ja siten aiheuttaa ympäristöpäästöjä.

Kysynnän joustolla tarkoitetaan sähkönkäytön rajoittamista ja siirtämistä korkean kulutuksen tunneilta edullisempaan ajankohtaan, jolloin kulutus on pienempää. Kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää muuttamalla sähkön hetkellistä kulutusta tehotasapainon ylläpidon tarpeisiin. Joustamaton tuotanto lisääntyy sähköverkossa ja se asettaa haasteita nykyiselle sähkön markkinamallille. Kysynnän jousto on tärkeä toimenpide, jolla yritetään turvata markkinoiden toiminta. [22]

Suomessa teollisuuden kuormia on käytetty reserveinä tehotasapainon ylläpidossa jo kauan, erityisesti suurteollisuudessa, kuten metsä-, metalli- ja kemianteollisuudessa. Myös muilla teollisuuden aloilla on potentiaalia kysynnän joustoon osallistumiseen. Nykyään sähkömarkkinoilla toimivat myös niin sanotut aggregaattorit eli yritykset, jotka yhdistävät eri pienkulutus ja -tuotanto kohteita suuremmaksi kokonaisuudeksi, joka täyttää sähkömarkkinoille asetetut vaatimukset. Kuluttajan pientuotantoa voidaan hyödyntää kysynnän joustossa, jos se reagoi riittävästi markkinatilanteeseen ja sillä saadaan vähennettyä kohteen sähkön tarvetta, esimerkkinä varavoimakoneet. [22]

Älymittaus ja kotiautomaatiolaitteet mahdollistavat sähkönkäytön seuraamisen ja hinnoittelun tuntitasolla ja pienasiakkaat voivat hyötyä sähkönkäytön oikeasta ajoittamisesta. Automaation avulla sähkökäyttöä voidaan ohjata halvan energian tunteihin ja vastaavasti hinnan noustessa lämmitys ja ilmanvaihto voidaan säätää automaattisesti pienemmälle. Kysynnän joustolla asiakkaat pystyvät vaikuttamaan sähkölaskuunsa ja edistämään energiatuotannon ympäristötavoitteita.

3.1 Kysyntäjoustop hyödyntäminen sähkömarkkinoilla

Kysyntäjoustoa on mahdollista hyödyntää eri markkinapaikoilla ja se tarjoaa suurta teknistaloudellista potentiaalia sähkömarkkinoilla toimiville osapuolille. Potentiaalinen arvioiminen on vielä haastavaa, koska kysyntäjoustop käytännön toteuttaminen sisältää vielä monia avoimia kysymyksiä. Teknistaloudelliseen potentiaaliin vaikuttavat muun muassa käytettävien kysyntäjoustop resurssien tyyppi (laiteryhmät), ohjaukseen käytettävä laitteisto (HEMS, AMR) sekä käyttötarkoitus (markkinapaikat). Tarkassa analysoinnissa pitää ottaa huomioon eri laiteryhmiin ominaisuudet, markkinaosapuolien näkökulmat, markkinat, lait, asetukset yms. tekijät. [7 s.43]

Sähkönmyyjä voi hyödyntää kysyntäjoustoa lyhyellä aikavälillä fyysisen sähkökaupan tuloksen maksimoimisessa spot-, säätösähkö- ja reservimarkkinoilla sekä omassa tasehallinnassaan. Lisäksi kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää sähkönhankintojen pitkän aikavälin suojauksen varmentamiseen ja suunnitteluun. Mikäli ohjattavia kysyntäjoustop resursseja on riittävästi, voidaan suojauksien tasoa pienentää. Sähkönhinnan noustessa korkealle, myyjä voi kattaa osan kuormituksestaan kysyntäjoustop resursseilla, eikä sen silloin

tarvitse ostaa sähköä kalliilla hinnalla markkinoilta. Lisäksi kysyntäjoustolla myyjä voi saavuttaa kilpailuetua esimerkiksi sitouttamalla asiakkaita ja edistämällä vihreitä arvoja. [7 s.43]

Hajautettujen kysyntäjoustoressien tehokas hyödyntäminen vaatii, että ne on koottu tarpeeksi suuriksi kokonaisuuksiksi, jolloin resursseja on mahdollista hyödyntää monipuolisemmin eri markkinapaikoilla. Vaikka eri markkinapaikoille on asetettu erilaisia vaatimuksia resurssien käytölle, liittyen yleensä ohjattavaan kapasiteetin määrään ja sen säädettävyyteen, markkinapaikat myös tarjoavat erilaista taloudellista potentiaalia niiden hyödyntämiselle. Yleisesti ottaen niiltä markkinapaikoilta saadaan suuremmat tuotto-odotukset, joissa on asetettu tiukemmat ohjausvaatimukset resursseille. Käytännössä kysyntäjoustopotentiaalin optimaalinen hyödyntäminen edellyttää resurssien kokonaisvaltaista käyttöä osana sähkömyyntiliiketoimintaa. Resurssien käytössä huomioidaan eri markkinoiden, resurssien ohjattavuuden ja muiden tekijöiden asettamat reunaehdot ja pyritään saamaan maksimaalinen hyöty eri markkinoista ohjattavan kuorman ominaisuuksien mukaan. [7 s.44]

3.1.1 Kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntäminen eri markkinapaikoilla

Kysyntäjoustopotentiaalin hyödyntämisessä on huomioitava, että eri markkinapaikkojen kaupankäyntisyklit, hinnoitteluperusteet, sekä muut vastaavat kaupankäyntiin liittyvät rajoitteet vaihtelevat huomattavasti. Erityyppisten resurssien soveltuvuutta kullekin markkinapaikalle tulee analysoida erikseen ja kapasiteetin käytettävyydestä on aina oltava riittävä määrä tarkkaa ja reaaliaikaista tietoa. [7 s.44] Kysyntäjoustoressien tarkastelussa reservimarkkinoilla on tärkeää ottaa huomioon, että kapasiteettia on oltava käytössä riittävä määrä ja koko markkinoille tarjottu kapasiteetti tulee olla käytössä tarvittaessa. Vuorokausimarkkinoilla ja vuorokauden sisäisillä markkinoilla toimimiseen vaaditaan sopimukset sähköpörssin sekä avoimen sähköntoimittajan kanssa, jossa sovitaan tasevastuusta. Taulukkoon 2 on koottu keskeisimmät tiedot eri markkinapaikoista.

Elspot-markkinat eivät aseta merkittäviä vaatimuksia ohjattavan kapasiteetin säädettävyydelle tai määrälle (0,1 MW). Tarjoukset jätetään edeltävänä päivänä viimeistään kello 13:00 ja hyväksytyt kaupat sekä Elspot-hinnat julkaistaan noin kello 14:00 joten kysyntäjoustoressin kapasiteetin aktivoimiseen on aikaa useita tunteja. Elspot-markkinoille tarjoukset tehdään ehdollisina rajatarjouksina ja hinta määräytyy pörssin määrittämään aluehintaan. Myös blokki-tarjouksia voidaan jättää peräkkäisistä tunneista. Tämä mahdollistaa kysyntäjoustoressien käytön tehokkaan suunnittelun jo tarjousten teko vaiheessa. [7 s.46]

Elbas-markkinalle voidaan jättää tarjouksia viimeistään tuntia ennen toimitustunnin alkua vähintään 0,1 MW kapasiteetista ja tiedot julkaistaan hyväksytyistä kaupoista heti kun kauppoja toteutuu. Kysyntäjoustoressin kapasiteetin aktivointiin jää aikaa noin tunnin

verran. Toteutuneiden kauppojen perusteella määritetään ylin (high), alin (low) ja keskimääräinen (average) kaupankäyntihinta. Osto- tai myyntitarjoukselle ei aina löydy vastatarjousta ja kaupat eivät tällöin toteudu. Käytännössä tämä voi hankaloittaa kysyntäjoustoressurssien hyödyntämistä Elbas-markkinoilla. Kysyntäjoustoressurssia voidaan myös käyttää vaihtoehtona Elbas-kaupoille, jos sillä voidaan korjata kulutustasetta, kun Elbas-kauppa ei toteudu pienen volyymin tai korkean hinnan vuoksi. [7 s.46]

Sähkön myyjä voi hyödyntää kysyntäjoustoressurssiaan tasehallinnassa, esimerkiksi minimoimalla oman kulutustaseensa tasevirheen tai ohjaamalla kulutustasetta niin, että myyjä saa hyötyä avoimien toimitusten kautta tehdyistä tasesähkökaupoista. Tasesähkön hinta määräytyy säätösähkön hinnan mukaan jokaiselle tunnille erikseen. Tasehallinta ei aseta tarkkoja rajoitteita kysyntäjoustoressurssien määrälle, vaan mahdollistaa vähäisenkin kapasiteetin hyödyntämisen. Ohjattavaa kapasiteettia tulee pystyä säätämään lähellä käyttötuntia mahdollisimman tarkasti ja nopeasti ennustetun kulutuksen ja ennustetun tasesähköhinnan perusteella, jotta kysyntäjoustoressurssia voidaan käyttää tehokkaasti. [7 s.46]

Taulukosta 2 nähdään, että reservimarkkinapaikoille on asetettu huomattavasti tiukemmat säädettävyys- ja kapasiteettivaatimukset kuin esimerkiksi spot-markkinoille. Taajuusohjatun käyttöreservin (FCR-N) markkinoille minimikapasiteettivaatimus on 0,1 MW ja aktivoitumisen pitää tapahtua täysimääräisesti kolmessa minuutissa. Taajuusohjatun häiriöreservin (FCR-D) aktivoitumiselle on asetettu vaatimus, että puolet siitä pitää aktivoitua viidessä sekunnissa ja sen pitää aktivoitua kokonaan 30 sekunnissa -0,50 askelmaisella taajuusmuutoksella. Relekytketyn häiriöreservin eri aktivoitumisajat on asetettu taajuuden mukaan ja ne näkyvät taulukosta 2.

Taulukko 2. Kaupankäynnin vaatimukset eri markkinapaikoilla.

Markkinapaikka	Lyhenne	Sopimustyyppi	Minimitarjous koko	Aktivoituminen	Aktivoituu	Korvaus taso 2016*	Markkinaoperaattori
Taajuusohjattu käyttöreservi	FCR-N	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	Lineaarisesti välillä 50,1 - 49,9 Hz, 0,1 Hz muutos 100 % 3 min	Jatkuvasti	17,42 €/MW,h (vuosimarkkinat) + energiahinta nettoenergiasta	Fingrid
Taajuusohjattu häiriöreservi	FCR-D	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	Voimalaitokset: lineaarisesti välillä 49,9 - 49,5 Hz kun f alle 49,5 Hz 50% 5s ja 100% 30s	Useita kertoja vuorokaudeksi	4,5 €/MW,h (vuosimarkkinat)	Fingrid
				Relekytketyt kuomat: vaihtoehtoisesti 49,7 Hz 5s TAI 49,6 Hz 3s TAI 49,5 Hz 1s	Muutaman kerran vuodessa		Fingrid
Taajuusohjattu häiriöreservi (on-offmalli)		Pitkäaikainen	10 MW	Välittömästi, kun f < 49,5 Hz	Harvoin	~0,5 €/MW,h + 580 €/MWh + aktivointikorvaus 580 €/MW	Fingrid
Automaattinen taajuudenhallintareservi	FRR-A	Tuntimarkkinat	5 MW	FG:n lähettämän tehopyyntisignaalin mukaisesti, 100% 2 min	Useita kertoja vuorokaudeksi	Kapasiteettikorvaus pay as as bid periaatteella + energiahinta	Fingrid
Säätösähkömarkkinat	FRR-M	Tuntimarkkinat	10 MW tai 5 MW jos käytössä elektroninen tilaus	FG aktivoi tarjouksia hintajärjestyksessä, 100% 15min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Markkinahinta	Fingrid
Nopea häiriöreservi	mFRR	Pitkäaikainen	10 MW	15 min	Harvoin	~0,5 €/MW,h + 580 €/MWh	Fingrid
vuorokausimarkkina (day ahead)		Tuntimarkkinat	0,1 MW	12 h	-	Markkinahinta	Nord Pool
päivän sisäinen markkina (intraday)		Tuntimarkkinat	0,1 MW	1 h	-	Markkinahinta	Nord Pool
Tehoreservi		Pitkäaikainen	10 MW	15 min	Harvoin	EV:n hankintakilpailun mukaisesti	Energiavirasto

Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin säätökapasiteetti seuraavan vuorokauden tunneille tulee ilmoittaa Fingridille vuosimarkkinoilla kello 18:00 ja tuntimarkkinoilla kello 18:30 mennessä. Hyväksytyt tarjoukset ilmoitetaan kello 22:00 mennessä. Kysyntäjoustoressien käyttö on siis suunniteltava seuraavan vuorokauden tuntien osalta useita tunteja etukäteen. Tämä voi asettaa rajoituksia joidenkin kysyntäjoustoressien tehokkaalle käytölle. [7 s.50]

Säätösähkömarkkinoille (FRR-M), nopealle häiriöreserville (mFRR) ja taajuusohjatulle häiriöreservimarkkinoille (on-off-malli) kysyntäjoustoressien kapasiteetin pitää olla vähintään 10 MW ja sen tulee säätää täyteen tehoon 15 minuutissa. Säätösähkömarkkinoille voidaan tarjota 5 MW kapasiteettia, jos käytössä on elektroninen tilaus. Lisäksi säätösähkömarkkinoilla tehon muutokset tulee pystyä todentamaan reaaliaikaisesti. Tunneista, jolloin automaattista taajuudenhallintareserviä (FRR-A) ylläpidetään, ilmoitetaan siitä etukäteen Fingridin toimesta. Yksittäisen tarjouksen minimi koko tälle markkinalle on 5 MW.

Suuret kapasiteettivaatimukset reservimarkkinoilla voivat rajoittaa kysyntäjoustoressien hyödyntämistä. Markkinat kuitenkin kehittyvät jatkuvasti tarpeiden mukaan ja esimerkiksi reservimarkkinoille asetettuja vaatimuksia on mahdollista kehittää niin, että pienempiä kysyntäjoustoressseja on helpompaa tai edes mahdollista hyödyntää markkinoilla. On hyvä ottaa huomioon, että reservimarkkinat asettavat myös erilaisia vaatimuksia säätöjen toteutuksille. Esimerkiksi taajuusohjatun käyttöreservin kapasiteettia on voitava säätää ylös- ja alaspäin, kun taas taajuusohjatulle häiriöreserville riittää säädettävyyttä ylöspäin (kulutuksen vähennys / tuotannon lisäys) [7 s. 50].

Markkinapaikkojen hinnoittelumalli vaikuttaa oleellisesti kysyntäjoustoressien taloudelliseen potentiaaliin. Energian markkinahintaan perustuvia markkinapaikkoja ovat spot-, tase-, ja säätösähkömarkkinat. Näillä markkinapaikoilla hinnoittelu muodostuu jätettyjen tarjousten perusteella ja taloudellinen potentiaali vaihtelee tuntihinnan muutoksiin perustuen. Yleensä säätösähkön ja tasesähkön hinnan volatilisiteetti ja hintapiikit ovat suurempia kuin spot-markkinoiden vaihtelut. Tase- ja säätösähkömarkkinoilta saadaan näin ollen yleensä parempi hyöty kysyntäjoustoressista kuin spot-markkinoilta. Elbas-markkinoilla kaupat tehdään toteutuessaan jätettyyn tarjoushintaan, joten taloudelliseen hyötyyn vaikuttaa merkittävästi toimijan käyttämä tarjousstrategia ja miten se toteutuu käytännössä. [7 s.50-52]

Reservimarkkinoilla hinnat perustuvat pääosin kapasiteetin käytettävyyteen. Tämän lisäksi kapasiteetin käytöstä maksetaan energiamaksua osassa markkinapaikoista, joka kompensoi reservin käytöstä muodostunutta tasevirhettä. Reservimarkkinoiden hinnoittelu määritetään vuosimarkkinoilla markkinapaikkaan liittyvissä sopimuksissa [7 s.52]. Taajuusohjatun käyttöreservin vuosisopimuksen kapasiteettikorvaus on 17,42 €/MW,h ja taajuusohjatun häiriöreservin kapasiteettikorvaus on 4,5 €/MW,h. Näiden reservien tuntimarkkinoilla kapasiteettikorvauksen määrä muodostuu jokaiselle tunnille erikseen jätettyjen tarjousten perusteella, joten hinnat voivat vaihdella eri tuntien välillä huomattavasti

[7 s.52]. Automaattisen taajuudenhallintareservin hinta perustuu pay as bid periaatteeseen ja lisäksi kapasiteetista maksetaan energiamaksua. Nopean häiriöreservin ylläpidosta sekä taajuusohjatusta reservistä (on-off-malli) maksetaan teho-korvausta 0,5 €/MW,h ja aktivoituneelle energialle maksetaan 580 €/MWh.

3.2 Aggregaattorit

Älykkäiden ratkaisujen lisääntyminen sähköverkossa mahdollistaa uusien toimijoiden palvelut asiakkaille perinteisten sähkönmyyjien lisäksi, mikä lisää asiakkaan valinnanmahdollisuuksia. Asiakkaalla on mahdollisuus osallistua sähkömarkkinoille reagoimalla vaihtelevaan sähkönhintaan ja muuttamalla kulutustaan sen perusteella sekä myymällä sähkönkulutuksen joustoa tai pientuotantoaan. Yksittäisen asiakkaan kysyntäjoustoressit ovat usein liian pieniä osallistumaan reservi- ja säätösähkömarkkinoille. Aggregaattori on markkinaosapuoli, joka yhdistää monien eri asiakkaiden tuotantoa, kulutusta tai varastoja riittäväksi kokonaisuudeksi. Tämä mahdollistaa asiakkaan osallistumisen eri sähkömarkkinoille ja asiakas saa suuremman hyödyn käytössä olevista resursseistaan. Aggregaattori voi olla sähkönmyyjä, tasevastaava tai muu toimija. [23 s.23]

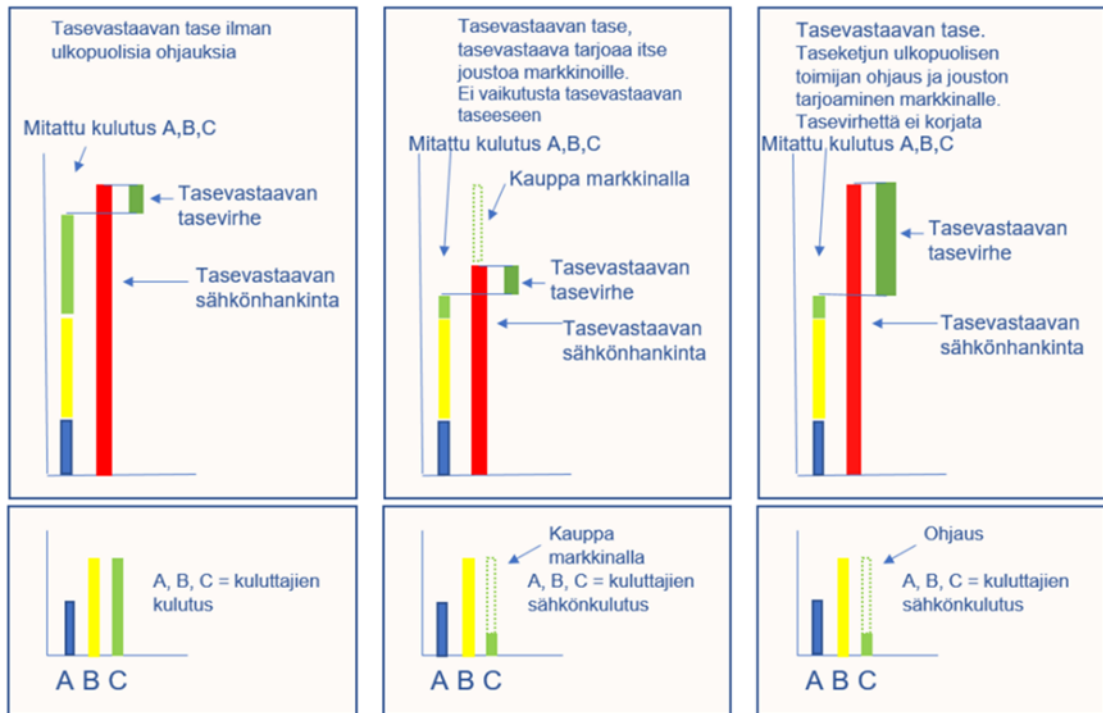
Markkinoilla voi toimia myös itsenäinen aggregaattori, joka ei ole asiakkaan sähkönmyyjä tai tasevastaava, eikä se tarvitse asiakkaan sähkönmyyjän tai tasevastaavan kanssa sopimusta toimiakseen sähkömarkkinoilla. Sähkömarkkinoilla ei ole perinteistä roolia itsenäiselle aggregaattorille, vaan se tarjoaa joustoa markkinoille ohjaamalla asiakkaan sähkönkulutusta, tuotantoa ja sähkövarastoja. Itsenäisen aggregaattorin toiminta lisää kuluttajien valinnanmahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustoan eri sähkömarkkinapaikoilla. Toiminta on asiakkaalle kannattavaa, jos itsenäisen aggregaattorin oikeudet, velvollisuudet ja vastuut määritellään tarkasti. Itsenäisen aggregaattorin toimintaan markkinoilla ei ole vielä selkeitä sääntöjä. Tehokkaasti toteutetulla kysyntäjoustolla voidaan lisätä sähköjärjestelmän tehokkuutta, vähentää päästöjä, alentaa sähkökäyttäjien kustannuksia sekä se voi laskea sähkön markkinahintaa, mutta jos kysyntäjousto toteutetaan väärin, sillä voi olla päinvastainen vaikutus. [23 s.24]

Hinnan ohjaamana tapahtuvaa kysyntäjousto kutsutaan implisiittiseksi kysyntäjoustoksi. Implisiittisessä kysyntäjoustossa sähkön kulutusta siirretään korkean hinnan tunneilta edullisimmille tunneille. Spot-markkinoilla hyödynnetään implisiittistä kysyntäjousto. Asiakkaan sähkönmyyjällä on jo nyt oikeus toimia aggregaattorina, sillä se hankkii asiakkaan sähkön ja huolehtii sähkötaseen tasapainottamisesta. Suomessa voi myös toimia tällä hetkellä teknisen joustopalvelun tarjoajana, eli toimija ohjaa asiakkaan sähkönkulutusta esimerkiksi markkinahintaan perustuen. Toimija ei kuitenkaan itse anna sähkömarkkinoille erillistä tarjousta joustavasta energiasta tai kapasiteetista eikä siis ole markkinaosapuoli. Markkinaosapuolet kuten sähkönmyyjä tai tasevastaava voivat myös käyttää teknisen joustopalvelun tarjoajan palveluita. [23 s. 24-25]

Eksplisiittisellä kysyntäjoustolla tarkoitetaan ulkoiseen pyyntöön ja erilliseen korvaukseen perustuvaa kysyntäjoustoa. Siinä sähkönkäyttöä ohjataan ulkoisella ohjauksella ja jousto tarjotaan sähkömarkkinoille esimerkiksi aggregaattorin toimesta. [23 s.28] Eksplisiittisessä kysyntäjoustossa korvausta saadaan joko aktivoituista joustoista tai joustavasta kapasiteetista. Reservimarkkinat perustuvat eksplisiittiseen kysyntäjousto. Tällä hetkellä itsenäinen aggregaattori voi osallistua reservimarkkinoilla taajuusohjattuun häiriöreserviin (FCR-D). Taajuusohjatussa häiriöreservissä maksetaan aktivointivalmiudessa olevasta kapasiteetista ja reservi aktivoituu vain suurissa häiriötilanteissa. Siinä aktivoitujen energiamäärät ovat pieniä ja vaikuttavat vain vähän kohteen sähkötaseeseen. Itsenäisen aggregaattorin osallistumisesta muille reservimarkkinoille on kokeiluja käynnissä. [23 s.26]

Itsenäisen aggregaattorin tekemät ohjaukset voivat vaikuttaa muiden toimijoiden taseisiin. Aggregaattoreiden pitäisi vastata tasevirheestään tasesäätöjen mukaisesti. Kun tasevirhettä syntyy ja se aiheuttaa korjauksia taseessa, on mietittävä maksaako itsenäinen aggregaattori kompensatiota muutosten seurauksena ja tehdäänkö tasevirheen korjaukset sähkömyyjän tai tasevastaavan taseeseen. Usean toimijan osallistuminen yhdelle käyttöpaikalle voi lisätä sähkömyyjän riskejä ja ennustettavuutta. Tästä johtuvat tasevirheet saattavat lisätä myyjän kustannuksia ja tämä voi kasvattaa myös asiakkaan sähköhankinnan kustannuksia. Tasevastaavan toimintaa helpottaisi tiedot asiakkaistaan, joilla on sopimus itsenäisen aggregaattorin kanssa. Itsenäisen aggregaattorin toiminta on ongelmattomampaa markkinapaikoilla, joissa sen vaikutus muiden taseisiin on pieni. [23 s.25-26, 28]

Kuvassa 12 havainnollistetaan itsenäisen aggregaattorin toiminnan haasteita markkinapaikalla, joissa sen ohjaus vaikuttaa sähkömyyjän sähkötaseeseen. Kuvaan on merkitty sähkömyyjän tasevastaavan asiakkaat kirjaimilla A, B ja C ja asiakkaita koskevat kulutukset on merkitty sinisellä, keltaisella ja vihreällä. Myyjän sähköenergian hankintaa kuvataan punaisella. Kuvissa esitetään tasevastaavan sähkötase ja tasepoikkeama eri tilanteissa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa ei ole ohjauksen aktivointia ja keskimmaisessa kuvassa sähkömyyjä tarjoaa kulutuksen joustoa markkinoille. Kuvasta nähdään, että tasevirhe on samansuuruinen kuin ilman ohjauksia. Myyjän myyntimäärä on pienempi, kun se tarjoaa joustoa markkinoille, mutta myyjä saa tuloa joustosta. Oikeanpuoleisessa kuvassa itsenäinen aggregaattori tekee joustavasta kuormasta tarjouksen ja aiheuttaa tasevastaavalle tasevirhettä. Mikäli ohjauksen aiheuttama tasevirhe korjataan tasevastaavan taseeseen oikeanpuoleisessa kuvassa, ei tasekorjaus korjaa sähköhankinnan kustannuksia.



Kuva 12. Taseketjun ulkopuolisesta ohjauksesta syntyvä tasevirhe tasevastaavalle.

Kuorman ohjaukset voivat myös aiheuttaa niin sanottuja jälkihuippuja (rebound). Esimerkiksi tilanteessa, jossa sähkölämmitystä ohjataan edullisempaan ajankohtaan, asiakkaan sähkönkulutus saattaa nousta ennakoitua suuremmaksi seuraavina ajanjaksoina ja vaikuttaa tasevastaavan taseeseen jouston aktivointia aiemmilla ja myöhemmillä tasejaksoilla. Eri kulutuskohteilla jälkihuippujen suuruus ja profiili ovat erilaiset ja kaikilla kohteilla ei niitä esiinny. Haaste pienenee, kun jälkihuipun vaikutuksia opitaan ennakoimaan ja arvioimaan. [23 s.27]

3.3 Kysyntäjouston haasteet ja edellytykset

Kysyntäjouston laajamittaiselle hyödyntämiselle on vielä monia taloudellisia ja poliittisia haasteita ja esteitä. Kysynnän jouston tulee olla taloudellisesti kannattavaa kaikkien osallistuvien osapuolten kannalta, jotta se voi yleistyä. Markkinointia pitää lisätä ja hinnoittelumallien tulee olla riittävän selkeitä ja informaation saatavuus ja yleinen tietämys on saatava riittävälle tasolle loppukäyttäjien keskuudessa. Myös alan toimijoiden tietoisuutta ja osaamista on lisättävä perus- ja täydennyskoulutuksen avulla sekä esimerkiksi yhteisellä verkkoaineistolla. Loppuasiakkaiden tulee kyetä myymään joustoaan tehokkaasti, että he saavat riittävän taloudellisen kannusteen ja tätä kautta kiinnostuvat enemmän kysynnän jouston mahdollisuuksista. Myös tekniikan pitää olla helppokäyttöistä ja luotettavaa ja se ei saa muodostaa liikaa kustannuksia. Tuotteistaminen auttaa poistamaan rajoitteita ja esteitä. Sähkön myyjä on todennäköisesti aktiivisin toimija kysyntäjouston tuotteiden kehityksessä ja myynnissä. Eri toimijoiden aktiivinen yhteistyö on edellytys kysyntäjouston laajamittaiselle hyödyntämiselle ja mikäli kysyntäjoustoa tarjoaa joku muu

osapuoli kuin sähkönmyyjä, tulee ratkaista tasevastuuseen liittyvät kysymykset. [7 s.37-38]

Kysyntäjouaston yleistyminen vaatii erilaisia säädöksiä (rakentamismääräykset, sähköturvallisuuslaki, sähkömarkkinalaki, energiatehokkuuslaki, erilaiset muut määräykset ja ohjeistukset), joita ei ole toistaiseksi koordinoitu kysyntäjouaston näkökulmasta. Rakennusten energiakulutusta tarkastellaan suurimmaksi osaksi vuosienergiana, eikä rakentamismääräykset ota kantaa tehon kulutukseen ja energiankäytön ajalliseen jakautumiseen. AMR- mittariin vaaditaan kuormaa ohjaava rele, mutta ohjausreleen takana ei tarvitse olla kuormaa. Lisäksi kiinteistöistä ja sisäasennuksista puuttuvat usein myös kuormanohjaus-johdotukset. Tämä estää kuorman ohjauksen osassa etäluettavissa mittareissa, vaikka mittareissa olisikin kuormanohjausominaisuus. Pelkillä mittareilla ei ole mahdollista toteuttaa kysyntäjoustoja, vaan mittareiden kuormanohjauksiin on kytkettävä fyysisiä kuormia ja ICT-infrastruktuurin on kyettävä mahdollistamaan mittaus- ja ohjaussignaalin välittäminen kaikille markkinaosapuolille (kantaverkkoyhtiö, jakeluverkkoyhtiö, asiakas, sähkönmyyjä ja aggregaattori). Toimijoiden ja tietojärjestelmien heterogeenisyys aiheuttaa merkittäviä haasteita. Lisäksi mittareiden ohjaustieto on sinetöidyssä osassa keskuksia, mikä estää kolmannelle osapuolelle ohjaustiedon hyödyntämistä. AMR-mittareille tulisi määritellä kytkentöjen yhteiset käytännöt ja minimitoiminnallisuudet (tiedonsiirto, mittaukset ja ohjaukset) siten, että ne tukevat kysyntäjoustoja mahdollisimman hyvin. [7 s.21-22, 37-38]

Verkkoyhtiöillä ei ole nykytilanteessa riittävää kannustetta kysyntäjouaston edistämiseksi ja sitä ei edes lasketa sähköverkkotoiminnaksi Energiaviraston nykyisen kannan mukaan. Valvontamalliin pitää siis saada selkeä kannuste koskien mm. rajapintojen ja toiminnallisuuden kehittämistä. Kannuste voitaisiin sisällyttää esimerkiksi valvontamallin innovaatiokannustimeen. Mallin pitäisi myös edistää kysynnän jouston hyödyntämistä vaihtoehtona verkon vahvistuksille. Nykyisin verkkoyhtiöiden on kannattavampaa panostaa verkkoinvestointeihin verkon pullonkaulatilanteissa kuin kysyntäjoustoja. [7 s.37-38]

Muita keskeisiä haasteita kysyntäjouaston toteutukselle asettaa hajanainen toimialakenttä (paljon erilaisia myyjiä ja verkkoyhtiöitä), tietojärjestelmien rajapinnat ja toimintavasteiden suuri hajonta sekä asiakkaiden kuormista ja ohjattavuudesta puuttuvat usein tiedot. Lisäksi kysyntäjoustossa on paljon standardoimattomia prosesseja, joissa olisi tarpeen olla yhtenäiset käytännöt. [7 s.37-38]

Kysyntäjouaston hyödyntämisessä jakeluverkkoyhtiöllä ja sähkönmyyjällä on periaatteellinen eturistiriita. Verkon kulutushuiput voivat kasvaa merkittävästi, kun kuormien ohjaus perustuu yhtenäiseen ohjaussignaaliin, kuten sähkön markkinahintaan. Se vähentää kuormien risteilyä ja huippukuormitus voi osua ajankohtaan, jolloin energian hinta on halpaa ja verkon kuormitus kasvaa entisestään. Yösähköllä toimivien lämminvesivaraajien päälle kytkeytyminen on jo nyt aiheuttanut kuormien kasvua jakeluverkoissa. Markkinaperusteisessa kuormien ohjauksessa voidaan käyttää erilaisia optimointijaksoja.

Kuorma voidaan kytkeä tunniksi pois päältä ja seuraavalla tunnilla takaisin päälle tai kuormat voidaan siirtää vuorokauden sisällä optimaalisimpaan ajankohtaan. Vaikka käytetään eri optimointijaksoja huipputehot saattavat nousta merkittävästi ja verkostovaikutukset näkyvät kaikilla verkkotasoilla, tehot kasvavat jakelumuuntamoilla, keskijännitelähdöillä sekä myös päämuuntajatasolla. [7 s.204]

Tehopohjaisilla siirtotariffeilla voidaan tasoittaa markkinahintaohjauksen vaikutuksia tehojen kasvuun. Osa verkkoyhtiöistä on jo ottanut tehopohjaisen hinnoittelun käyttöön ja sillä asiakkaalle luodaan kannuste tarkkailla kuormia markkinahintoihin sekä tehon kulu- tukseen perustuen. Tehopohjainen hinnoittelu voi perustua asiakkaan toteutuneeseen huipputehoon tai liittymispisteen maksukomponenttiin, joka on määritelty tehorajan mu- kaan. Tehopohjainen hinnoittelu voi olla jopa edellytyksenä järjestelmän kokonaistehok- kuuden toteutumiseen, jotta markkinahintapohjaisen ohjauksen hyödyt eivät eliminoidu verkon kapasiteettitarpeen kasvusta johtuvien korkeampien siirtomaksujen takia. Suu- resta osasta AMR-mittareita löytyy ”Software fuse”-toiminto, mutta sen käyttöönotto vaatii yleensä ohjelmistopäivityksen. Toimintoa voidaan hyödyntää pienasiakkaan teho- pohjaisen tariffikomponentin toteutukseen. Tehotariffi on mahdollista toteuttaa myös il- man kyseessä olevaa toiminnallisuutta. [7 s.205]

Kysyntäjoustopon hyödyntäminen eri markkinapaikoilla on haastavaa ja sisältää teknisiä haasteita. Näitä ovat esimerkiksi riittävän nopea ja luotettava tiedonsiirto mittareiden ja keskusten asennusten osalta. Nykyinen AMR-teknologia ei ole riittävä toteuttamaan sel- laisenaan nopeita ohjauksia, joten AMR mittarit eivät sovellu kantaverkkoyhtiön reservi- markkinoille. Pienasiakkaiden kuormien ohjauksen hyödyntäminen reservimarkkinoilla tai älykkäämpien ohjausten toteuttaminen asiakkaan pientuotannossa edellyttää kehitty- neempiä järjestelmiä, kuten kodin energiahallintajärjestelmä (HEMS). Kotiautomaat- iojärjestelmien osuus asuinrakennuksissa on vielä pieni, mutta ne lisääntyvät jatkuvasti. Erilaisia kotiautomaatiojärjestelmiä on jo nykyisin paljon tarjolla ja niiden kehitys on erittäin nopeaa, mutta standardoimattomat toiminnot ja rajapinnat asettavat haasteita nii- den hyödyntämiselle. [7 s.37] Kiinteistöohjaus- ja automaatiojärjestelmissä on paljon val- mistajakohtaisia ratkaisuja. Tällöin laitevalikoima on rajattu, ja käyttö- ja ylläpito on työ- lästä varsinkin tilanteissa, joissa ratkaisua ei valmisteta enää. Laitekohtaiset ratkaisut ovat valmistettu usein vain tiettyyn käyttötarkoitukseen eli ne ovat suljettuja. [7 s.107] Erilai- set kiinteistöautomaatiojärjestelmät (BACS) ovat ensisijainen ratkaisu yleensä palvelu-, liike- ja toimistorakennuksissa. Kysynnän joustopon laajamittainen hyödyntäminen voi läh- teä liikkeelle näistä kohteista, joissa löytyy monipuolisia taloteknisiä ratkaisuja sekä sel- keämpi liiketoimintahyöty. [7 s.37]

Tietojärjestelmien tiedonsiirtorajapinnat ja standardointi on yksi keskeisimmistä haas- teista kehittäessä laajamittaista kysynnän joustopon toiminnallisuutta. Viestiliikenteen on tärkeää perustua selkeisiin standardoituihin sanomiin. Standardointiin liittyvät merkittä- vimmat haasteet ovat tiedonsiirtoprotokollien ja järjestelmien tietomallien määrittelyt. Eri osa-alueet, kuten sähkönjakeluautomaatio, sähköpörssi, kiinteistöautomaatio, ja sähkön

pientuotantolaitteistot ovat haastavia saada toimimaan yhteisenä toimivana kokonaisuutena. Kysyntäjoustopuiston edistämiseksi tarvitaan siis selkeät yhteisesti sovitut tekniset vaatimukset ja rajapinnat eri toimijoille ja kohteille. Jotta yhteensopivuus on mahdollista saada toteutettua, on eri sovellusalueilla käytettyjen protokollien ja rajapintojen kyettävä toimimaan osana älykästä sähköverkkoa. Tietoturvaan ja yksityisyyden suojaan on kiinnitettävä huomiota, koska sähkölaitteiston ja taloteknisten järjestelmien liittäminen ulkoiseen tietoverkkoon aiheuttaa riskejä. Älykkäiden sähköverkkojen sekä kiinteistöissä olevien älykkäiden verkkojen integraatio on kehittymässä nopeasti myös standardointitasolla. [7 s.226]

Kysyntäjoustopuiston hyödyntämisen edistämiseksi on tärkeää, miten alalla olevia käytänteitä ja osaamista aletaan kehittämään niin, että uudiskohteissa ja kiinteistöjen muutos- ja lisäasennuksissa otetaan huomioon kuormanohjauksen tarpeet ja tavoitteet. Jo rakennusvaiheessa pitäisi suunnitella ja asentaa kysyntäjoustopuiston tarvittavat ryhmittelyt, ohjaukseen vaatimat kytkennät, laitevalinnat, kontaktorit, johdotukset tai automaatiojärjestelmät, koska asennusmuutokset jälkeinpäin ovat haastavia toteuttaa. Kiinteistön sähköverkon rakenteelle on olennaista, miten laitteet ja laiteryhmit kytetään ohjaamaan turvallisesti ja ilman suurempaa vaikutusta käyttäjille. Tällä hetkellä suunnittelussa otetaan huomioon vain tilaajan asettamat tavoitteet, eikä niissä yleisesti varauduta kysynnän joustopuiston. [7 s.20]

Kysyntäjoustopuistolle on tärkeää luoda toimintatapa, jolla asiakas voi vaivattomasti vertailla eri kysyntäjoustopuistotuotteiden soveltuvuutta omaan kulutusprofiiliinsa ja joustopotentiaaliinsa. Esimerkiksi Energiaviraston kotisivuilla olevaa sähkönhinta.fi-sivustoa olisi mahdollista kehittää kysyntäjoustopuistotuotteiden ilmoittamiseen palvelussa. Tulevaisuudessa Data Hubin kautta voitaisiin välittää eri asiakkaiden kulutusprofiileja kilpailutuspalveluun. Kysyntäjoustopuiston laajamittaista hyödyntämistä edistäisi, jos suunnitteilla olevan Data Hubin tietosisältö tukee kysynnän joustopuiston toimintojen kehittämistä. Data Hubista olisi hyvä löytyä tietoa asiakkaiden joustopotentiaalista ja ohjaukseen liittyvistä reunaehdoista sekä toteutuneista joustopuistotoiminnoista. Tämä helpottaisi myyjien joustopuistotuotteiden markkinoinnista ja antaisi mahdollisuuden arvioida joustopuiston vaikutuksia markkinoille näkyvään kuormitusmalliin. [7 s.41]

Tuntimittauksista saatua mittausdataa voidaan hyödyntää eri kulutusryhmien tehotietojen ja profiilien keräämisessä. Tämän tiedon perusteella on mahdollista parantaa mm. liittymien mitoitus, lisätiedon keräämistä tehohuippujen muodostumisesta ja kysyntäjoustopuistopotentialista sekä kehittää yleistä tietoisuutta sähköverkkojen ja energiajärjestelmien käyttäytymisestä. On myös tärkeää, että erilaisia kysyntäjoustopuiston toteutuksia seurataan Euroopassa ja vaikutetaan EU:n kysyntäjoustopuistotarkistuksiin, jotta vältetään vaatimukset, jotka eivät ole sopivia Suomen toimintaympäristöön. [7 s.41-42]

3.4 Fingridin pilottiprojektit kysyntäjoustopotentialin edistämiseksi

Fingrid käynnisti laajamittaisen tutkimuksen selvittääkseen kysyntäjoustopotentialin lisäämisen mahdollisuuksia tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen. Laajamittainen tutkimus sisälsi neljä erilaista pilottiprojektia kysyntäjoustopotentialin hyödyntämiseksi eri markkinapaikoilla. Pilottiprojekteja olivat kotitalouksien sähkölämmityksen hyödyntäminen kysyntäjoustopotentialina, varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla, pakkasvaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi sekä S-ryhmän kysyntäjoustopotentialiprojekti seitsemässä eri tavaratalossa [25].

3.4.1 Kotitalouksien sähkölämmityksen hyödyntäminen kysyntäjoustopotentialina

Isot teollisuuslaitokset ja kulutukseltaan suuret julkiset toimijat ovat jo osallistuneet tehotasapainon ylläpitämiseen kysyntäjoustopotentialin avulla, mutta energiamarkkinan muutokset erityisesti tuotantopuolella, lisäävät kaikkien energiamarkkinoille osallistuvien osapuolien yhteistyötä kysyntäjoustopotentialin hyödyntämisessä. Esimerkiksi There Corporation, Fortum ja Helen ovat jo hyödyntäneet kysyntäjoustopotentialia kuluttajamarkkinalla ohjaamalla kodin lämmitystä Elspot-markkinahintaan perustuen. Näissä ohjaus edullisiin ajankohtiin toteutetaan hinta-, kulutus- ja säätietoihin perustuvalla mallilla. Pienempien kuluttajien ohjauskuormia aggregoivat operaattorit nähdään uutena mahdollisuutena kysyntäjoustopotentialin toteuttamisessa eri sähkömarkkinapaikoilla. [26 s.2]

Fingrid ja There Corporation sopivat 2014 tutkimus- ja tuotekehityshankkeesta liittyen kysyntäjoustopotentialin toteutukseen. Projektin tavoitteena oli selvittää potentiaalisia uusia kysyntäjoustopotentialikohteita ja niiden teknisiä ominaisuuksia ja soveltuvuutta kysyntäjoustopotentialimarkkinoille. Pilottien avulla selvitettiin mahdollisuuksia hyödyntää kotitalousasiakkaiden kysyntäjoustopotentialiresursseja sähkömarkkinoilla; ensisijaisesti taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla. Projektin tavoitteena oli tutkia, miten kotitalouskuormien aggregointi on toteutettavissa ja millä teknisellä toteutuksella kotitaloudet voivat osallistua kysyntäjoustopotentialimarkkinaan kaupallisesti kannattavasti. Lisäksi tutkittiin lämmityskuormien ohjauksen luotettavuutta kysyntäjoustopotentialimarkkinalle ja millainen kulutuksen muutos kuormanohjauksesta seuraa. Projektissa tutkittiin myös millaiset eri kotitaloudet sopivat häiriöreservi- ja säätösähkömarkkinalle. [26 s.2]

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa on noin miljoona omakotitaloa, joiden ensisijaisena lämmitysmuotona käytetään suoraa sähkölämmitystä, varaavaa sähkölämmitystä ja öljy- tai puulämmitystä. Omakotitaloissa suurin hyödynnettävä kysyntäjoustopotentiali sijaitsee sähkön käytössä talon lämmityksessä (suora sähkölämmitys, vesikiertoinen varaava sähkölämmitys) tai käyttöveden lämmityksessä. Suomessa on noin 480.000 sähkölämmitteistä omakotitaloa, mutta ohjattavaa kuormaa on myös öljylämmitteisissä kodeissa,

kun hyödynnetään niissä varalla olevaa sähkövastusta lämmitykseen. Näiden lisäksi sähkölämmitteisissä loma-asunnoissa (90.000) voidaan kuormaa ohjata ainakin kausittain. Arviot kuormien ohjaus potentiaalista vaihtelevat lähteestä riippuen, mutta pilottiprojektissa tutkittavalla tekniikalla määrä on arvioitu olevan jopa 1800 MW ja jos otetaan myös öljylämmityskohteiden sähkövastuksien ohjauspotentiaali huomioon, niin teoreettinen kuormapotentiaali voi lähestyä jopa 2900 MW. Taulukosta 3 nähdään omakotitaloissa olevien ohjattavien kuormien määrä. [26 s.3]

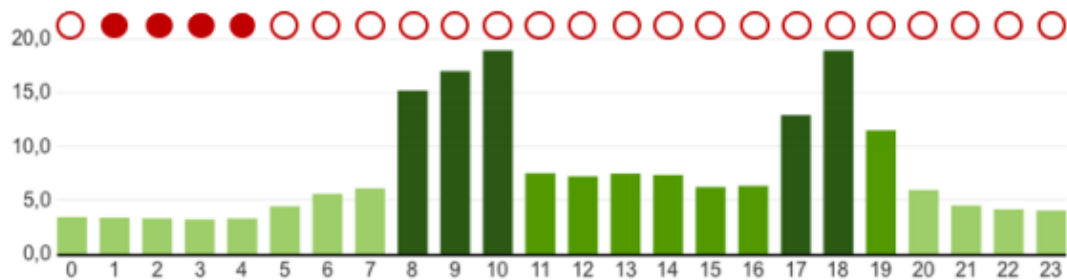
Taulukko 3. *Omakotitalojen kuormanohjaus potentiaali. [26 s.3]*

Ohjattavissa oleva kuorma	Kuorma	Arvio määrästä
Suora sähkölämmitys	3-6 kW	380.000-400.000
Varaava lattialämmitys	3-6 kW	120.000-150.000
Käyttövesivaraaja (sähkölämmityskodit)	3 kW	430.000-480.000
Varaava sähkölämmitys (isot vesivaraajat)	9-30kW	50.000-60.000
Öljylämmitys (sähkövastus öljykattilassa)	6 kW	140.000-180.000

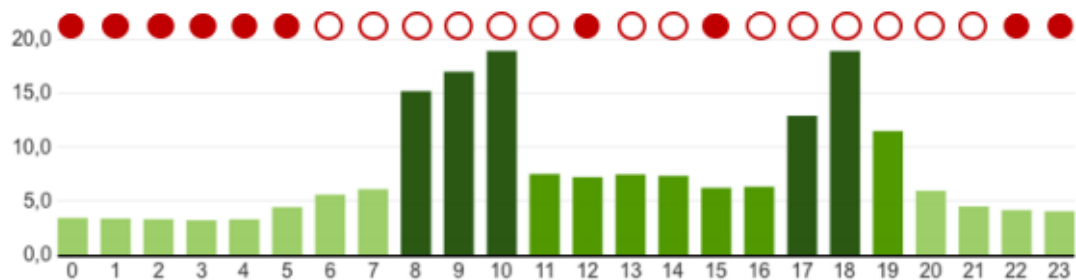
Kotitalouksissa kuormaa on mahdollista ohjata hyödyntämällä AMR-mittarin kuormanohjausrelettä ja siihen mahdollisesti kytkettyä kuormaa, kiinteistöautomaatiojärjestelmällä tai erillisellä kodin energiahallintajärjestelmällä (HEMS). Pilottiprojektissa tutkittiin Theren kehittämää kodin energiahallintajärjestelmää ja sen hyödyntämistä kysyntäjoustopaikkina. Kysyntäjoustopaikkina toteutukseen tarvittiin EHC-kuluttajaratkaisu (Electric Heating Control) suoran sähkölämmityksen ohjaukseen sekä kuormien aggregointisovellus ja operaattorin käyttöliittymä. Käyttöliittymän avulla välitetään ohjauskomennot kohteisiin ja nähdään eri markkinoille tarjottavien kuormien määrät sekä sillä voidaan todentaa toteutuneet ohjauskomennot. Taajuusohjatun häiriöreservin aktivointi tapahtuu automaattisesti. [26 s.3-4]

Theren käyttämä pilvipalvelu on tietokoneohjattu sovellus, joka on internetyhteyden kautta yhteydessä kotiin asennettavaan ohjausyksikköön. Pilvipalvelulla voidaan hallita siihen kytkettyjä kotitalouksia sekä niiden asetuksia ja yhteyksiä. Käyttäjä ohjaa ja seuraa kodin lämmitystä henkilökohtaisella käyttöliittymällä. Ohjausyksiköllä ohjataan langattomasti lämmityksen ohjauslaitteita ja kerätään tilatietoa ohjauslaitteilta ja lämpömittarilta. Suoran sähkölämmityksen, varaavan lattialämmityksen, käyttövesivaraajan ja ilmalämpöpumpun ohjaus tapahtuu langattomilla ohjauslaitteilla. Kodin lämmityksen ohjauksessa hyödynnetään myös pilvipalveluun haettua tietoa säästä, sähkönkulutuksesta ja sähkön hinnasta. Lämmitystä ohjataan ohjausaikataulujen, lämpötilojen ja lämpötilan mukavuusalueen perusteella automaattisesti. Pilvipalvelussa on kuluttajan energiahallintapalveluiden lisäksi kysyntäjoustopaikkina, eli kysynnänjoustopaikkina, joka pitää sisällään operaattorin käyttöliittymän. Sen avulla aggregaattori voi kytkeä kuormanohjauksia päälle ja pois kodin lämmityssuunnitelmien mukaisesti. [26 s.4-5]

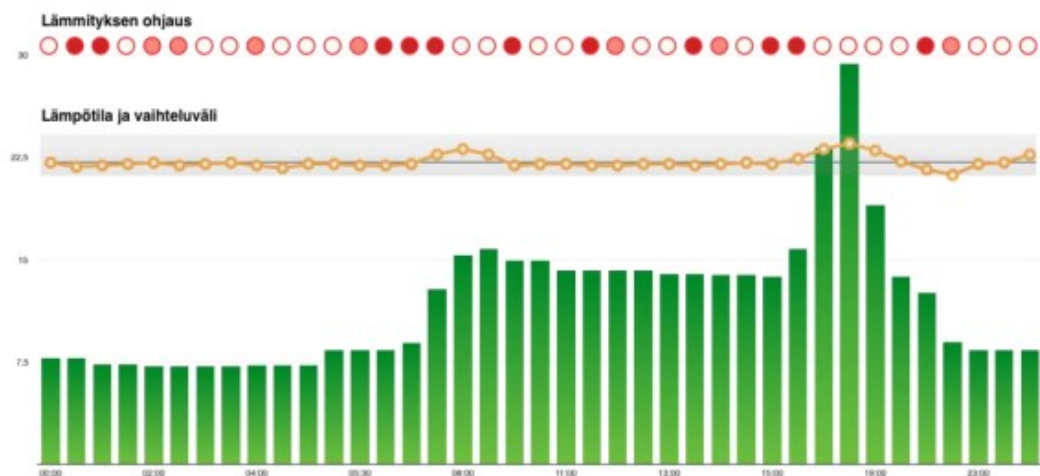
Pilotointiympäristössä voitiin toteuttaa ohjauksia häiriöreservin ylössäätöön, häiriöreservin ylössäädön keskeytykseen, ajastettuun säätösähköön ja säätösähkön aktivoinnin peruutukseen. Kuormanohjauksia voitiin toteuttaa tarjolla olevien tarjousääntöjen ja ohjausikkunan mukaisesti. Kuvissa 13, 14 ja 15 on esimerkkejä ohjausaikataulusta eri sähkölämmityskategorioissa. Käyttövesivaraajan ohjausmallissa käytettiin kuormia tarjousmallilla, jonka toteutumistodennäköisyys oli melkein 100%. Kun ennustemalleja saadaan tarkennettua, voidaan kuormanohjauksia lisätä erityisesti käyttövesivaraajan osalta, mutta myös muissa lämmityskuormissa. Ohjausikkunan vaihteluun vaikuttaa vuorokauden ajankohta ja sitä rajoittaa sähkön tuntihinnan saatavuus, joka on saatavilla seuraavalle vuorokaudelle kello 15. Ohjausikkunan vaihteluväli on siis 9-35h. [26 s.6]



Kuva 13. Käyttövesivaraajan ohjausaikataulu. [26 s.6]



Kuva 14. Varaavan lattialämmityksen ohjausaikataulu. [26 s.6]



Kuva 15. Suoran sähkölämmityksen ohjausaikataulu. [26 s.6]

Pilotin kuormanohjaustesteissä käytettiin pilottikoteja, joissa Theren EHC-energihallintaratkaisulla ohjattiin kodin sähkölämmitystä sekä yksinkertaistettuja pilottikohteita, joissa järjestelmän vasteaikoja mitattiin eri laite- ja asennuskokoonpanoilla. Projektissa kehitettiin ja testattiin suoraan sähkölämmityksen ohjausratkaisuja, ohjausalgoritmien toimivuutta kuluttajaympäristössä sekä kehitettiin toimivia käytäntöjä asennettavuuteen ja kuormien määrän varmistukseen. Pilottikodeissa käytettiin erilaisia kokoonpanoja, jotka vaihtelivat yksinkertaisista suoran sähkölämmityksen kohteista varaavilla lattialämmityksellä ja ilmalämpöpumpuilla varusteltuihin kohteisiin. Pilottikotien sijainti oli pääkaupunkiseudulla, mutta vasteikatesteissä huomioitiin maantieteellinen etäisyys ja laitteita oli sijoitettu eri paikkakunnille. Pilottikohteissa oli mahdollista ajaa samaa testiä useita kertoja eri ajankohtina ja siinä kerättiin tietoa ohjauksien saatavuudesta, vasteajoista sekä aggregoinnissa toteutuneista kuormista. [26 s.7-8]

Pilotista saatujen tulosten perusteella lämmityskuormat soveltuvat teknisesti hyvin kysyntäjoustomarkkinoille. Keskeiset kysyntäjoustopuutteet sähkömarkkinoille täytyivät koskien käytettävää ohjaustekniikkaa, kuormien luotettavuutta ja kuormanohjauksen vasteaikoja. Pilotissa käytetyt Theren energiahallintaratkaisut (esim. Fortum Fiksu, Helen Termo ja Kotitonttu) suoralle sähkölämmitykselle varmennettiin toimivaksi ratkaisuksi ja ne voidaan kytkeä osaksi kuluttajan kysyntäjoustopuutetta. Pilotissa olleiden kuormanohjaustarjousten perusteella suoran sähkölämmityksen käyttövesivaraajien kuormia on mahdollista tarjota melkein 100% tarkkuudella sekä häiriöreservi- että sää- tösähkömarkkinalle. [26 s.9]

Läpimenoaika ohjauskomennoille oli keskimäärin 2,3s, joten käytössä olleet asennuskonfiguraatiot täyttivät taajuusohjatun häiriöreservin reunaehdot. Todennäköisyys kuormanohjauksen onnistumiselle oli 100%, joka johtui todennäköisesti tutkittavien kohteiden pienestä määrästä sekä testeissä olleista tiukoista tarjoussäännöistä. Isoissa volyymeissa esiintyy aina kohteita, joihin ei saada yhteyttä tai joiden internetyhteys on heikko. Nämä kohteet on saatava karsittua valvonnalla ja jätettävä pois tarjouksista automaattisesti. Todennäköisyystason määrittäminen kuormanohjauksille tulee toteuttaa keräämällä mitausdataa useammilla kuormatyypeillä ja suuremmilla ohjattavien kohteiden määrillä. [26 s.9-10]

Toteutunut kuormanohjaus aiheuttaa yleensä lämmitysaikataulun uudelleenlaskemista, joka voi aiheuttaa kuormanpuutoksen jälkeisen kulutusprofiilimuutoksen eli jälkipiikin huipputehoon. Jos kuormanohjaukset pysyvät lyhyinä, sen vaikutus on kuitenkin pieni, kuten esimerkiksi taajuusohjatussa häiriöreservissä, eikä se todennäköisesti vaikuta lämmityksen ohjausaikatauluihin. Riippuen kuormatyyppistä, mutta yleensä pidemmissä kuormanohjauksissa, kuten esimerkiksi säätösähkö, seurauksena on lämmityksen uudelleen- aikataulutus. Tällöin lämmityskuormaa vastaava pudotus jakaantuu eri aikoihin, kodin lämpötilan, tuntihinnan, lämpötila-asetusten, ulkolämpötilan sekä ohjaussääntöjen mu- kaan. [26 s.10]

Pilottiprojektin tulokset olivat lupaavia kuluttajien kysyntäjouoston toteutukselle eri markkinapaikoilla. Pilotissa kysyntäjouostoon osallistuvien omakotitalojen määrä jäi epäselväksi, mutta se oli kuitenkin suhteellisen pieni, koska siinä joustokapasiteettia oli tarjolla vain kymmeniä kilowatteja. Todellisuudessa eri sähkömarkkinapaikat asettavat suuriakin kapasiteettivaatimuksia ja esimerkiksi pilotissa mukana ollut taajuusohjattu häiriöreservi asettaa 1 MW kapasiteettivaatimuksen. Myös pilotin maantieteellinen kattavuus jäi pieneksi ja siinä keskityttiin lähinnä pääkaupunkiseudulla sijaitseviin kohteisiin, mikä saattaa vaikuttaa pieniin vasteaikoihin. Suurin ongelma kotitalouksien kysyntäjouoston hyödyntämisessä eri sähkömarkkinapaikoilla on se, että saataisiin aggregoitua tarvittavan suuri kapasiteetti käyttöön. Tekniset puitteet ovat jo riittävät, mutta vielä toistaiseksi liiketoimintamalli kotitalouden kysyntäjouoston ympärillä on liian pieni. Riittäviä kannustimia kysyntäjouostoon ei kuluttajalle ole ja siihen tarvittavat automaatiojärjestelmät ovat kannustimiin verrattuna kalliita.

3.4.2 Varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla

Pilottiprojekti toteutettiin 08/2014 - 07/2015 ja sen osapuolina toimivat Fingrid Oyj, Energia Consulting Oy ja asiakas 1 ja asiakas 2. Projektin tarkoituksena oli tutkia miten pieniä (< 1 MW) varavoimakoneita voidaan hyödyntää Fingridin taajuusohjatulla häiriöreservimarkkinalla sekä säätösähkömarkkinalla. Taajuusohjatulla häiriöreservimarkkinalla testattiin alle 30 sekunnissa käynnistyvien varavoimakoneiden hyödyntämistä sekä säätösähkömarkkinoilla testattiin hitaampia (ei alle 30 sekunnissa käynnistyviä) varavoimakoneiden hyödyntämistä. Asiakas 1 toimi taajuusohjatulla häiriöreservimarkkinalla (<30 s käynnistyvät varavoimakoneet) ja sen tarjoamaa tehoa hyväksyttiin reservin piiriin 4,4 MW. Asiakas 2 toimi taas säätösähkömarkkinalla ja sen hyväksytyt teho oli 1,5 MW (3x0,5 MW). [27 s.3-4]

Asiakas 1. Taajuusohjatulla häiriöreservimarkkinalla käytetyt varavoimakoneet olivat maantieteellisesti hajautettuja ja niiden ohjaukseen käytettiin hyvin varmennettua SCADA-järjestelmää, joka oli jo käytössä ennen pilottiprojektia. SCADA-järjestelmää hyödynnettiin varavoimakoneiden keskitettyyn automaattiseen käynnistykseen. Helsingissä sijaitsevassa kohteessa on käytössä keskitetty taajuusmittari ja ohjelmoitu logiikka, joka antaa koneille käynnistyskäskyn järjestelmän kautta taajuuden laskiessa alle 49.70 Hz. Kun taajuus on ollut 5 minuuttia jatkuvasti yli 49,90 Hz, logiikka poistaa käynnistyskäskyn. Jos taajuus on välillä alle 49,90 HZ, alkaa 5 min laskenta alusta. Vastaavanlainen järjestelmä on kahdennettuna ja hajautettuna toisessa kohteessa. Järjestelmässä toimiville varavoimakoneille on asennettu virtamuuntajat ja energiamittarit sekä paikallislogiikka, joka siirtää tarvittavat tiedot Energia Consulting Oy:lle. Tarvittavia tietoja tehotietojen lisäksi ovat esimerkiksi varavoimakoneiden tilatiedot (käsikäyttö, vika, varavoimakone käynnissä). [27 s.5-6]

Energia laskee varavoimakohteiden yhteenlaskettua reservitehoa näistä tiedoista ja reserviteho päivitetään Fingridille reaaliaikaisesti (kolmen minuutin välein). Lisäksi lasketaan keskimääräiset tuntitehot laskutusta varten. Energia lähettää myös ennustettuun tehoon perustuvan reservisuunnitelman Fingridille Delfor-sanomana taajuusohjatun häiriöreservimarkkinan sääntöjen mukaisesti. Energia hoitaa reservilaskutuksen lähettämällä toteutuneet reservituntitehot Fingridille ja sen jälkeen hyvittää asiakkaalle suunnitelmaan ja toteutumaan perustuvat maksut kuukausittain. [27 s.6,10]

Asiakas ilmoittaa koneiden huollosta Energian valvomoon, jotta ne voidaan huomioida reservisuunnitelmassa. Pilottijaksolla toteutui kaksi käynnistystä ja molemmissa taajuushäiriön aiheuttamissa käynnistyksissä järjestelmä toimi reservimarkkinoiden vaatimusten mukaisesti. [27 s.10,12]

Asiakas 2. Säättösähkömarkkinalla käytettyjä varavoimakoneita ohjataan varavoimakonetoimittajan valvontanäytön kautta, joka oli jo valmiina ennen pilottia. Valvontanäytön käyttö toteutetaan vain paikallisesti ja sen kautta tapahtuvat koneiden käynnistys, pysäytys, hälytykset jne. Valvontanäytössä oleva ohjausnäkyvä saadaan Energian valvomoon etäyhteyssovellusta hyödyntämällä. Reaaliaikamittaustieto varavoimakoneilta lähtee ensin Energialle ja sen jälkeen Fingridille. Varavoimakoneilta saatiin mittaustiedot energiamittarin kautta, joka jouduttiin asentamaan varavoimakoneille. Sähkömittari luetaan kolmen minuutin välein etälentalaitteella, joka siirtää lukematiedon Energialle ja Energia lähettää lukeman perusteella laskettua tehotietoa jatkuvasti Fingridille. Jos koneet eivät käy, niin teho on nolla. Energia jättää säättösähkömarkkinan tarjoukset Vaksi-järjestelmään ja kirjaa toteutuneet säätökaupat sähkötaseeseensa. Asiakkaalle tapahtuvat hyvitykset annetaan joka kuukausi laskutuksessa. [27 s.8,11]

Asiakas 2 ilmoittaa koneiden huollosta Energian valvomoon ja tarjoukset säättösähkömarkkinalle poistetaan kyseisiltä tunneilta. Pilottijaksolla toteutui kahdeksan käynnistystä, kun säättösähkömarkkinoilla hinta nousi yli tarjoushinnan ja tarjous aktivoitui. Varavoimakoneet käynnistyivät etäohjauksella viimeistään 15 minuutin kuluessa Fingridin pyynnöstä ja keskimääräinen yhden aktivoimisen kesto oli 50 minuuttia. [27 s.11,13]

Kokonaisuutena pilottiprojektin tulokset olivat hyvät ja Fingrid on valmis osallistumaan uusien osapuolien aktivoimiseen markkinoille. Myös pilotissa mukana olleet asiakkaat olivat tyytyväisiä markkinoilta saatuihin kokemuksiin ja tuottoihin. Tiedonvaihto ja reaaliaikainen todentaminen onnistuttiin toteuttamaan molemmilla markkinoilla vaatimusten mukaisesti. Pilotin toteutuksen haasteita olivat oikeiden kohteiden löytäminen, byrokraatia, koska varavoimakoneet ovat tärkeitä toimijoille ja siksi toimijat ovat varovaisia uuden hyödyntämisen suhteen, sekä toimintamallit ja tarpeet eivät ole yleensä tuttuja varavoimakonetoimijoille. Lisäksi pilotissa teknisten haasteiden ratkaiseminen oli haastavaa, erityisesti reaaliaikaisen todennuksen järjestäminen Fingridille, koska valmiita ratkaisuja ei

vielä ole kehitetty. Myös verkkoyhtiöiden näkökulma aiheutti ongelmia pilotin toteuttamisessa, koska aina ei ole selvää, että saako tehoa syöttää verkkoon ja millä ehdoilla. [27 s.14]

Pilotissa havaittuja kehityskohteita ovat taajuusohjatun häiriöreservimarkkinan sääntöjen muutokset. On vaikea saada asiakkaita osallistumaan, jos sääntöjä muutetaan usein ja sen takia järjestelmään joudutaan tekemään muutoksia. Käynnistymisen aikarajaa ollaan kirstämässä 30 sekunnista viiteen sekuntiin, jolloin varavoimakoneet ilman USP-varmenusta eivät voi enää osallistua häiriöreservimarkkinalle. Ilmoitusvelvollisuus verkkoyhtiöille koneiden käynnistyksestä aiheuttaa ongelmia, jos varavoimakoneita on useiden eri verkkoyhtiöiden toimialueella ja ilmoitus pitää toteuttaa 15 minuutin kuluessa. [27 s.15]

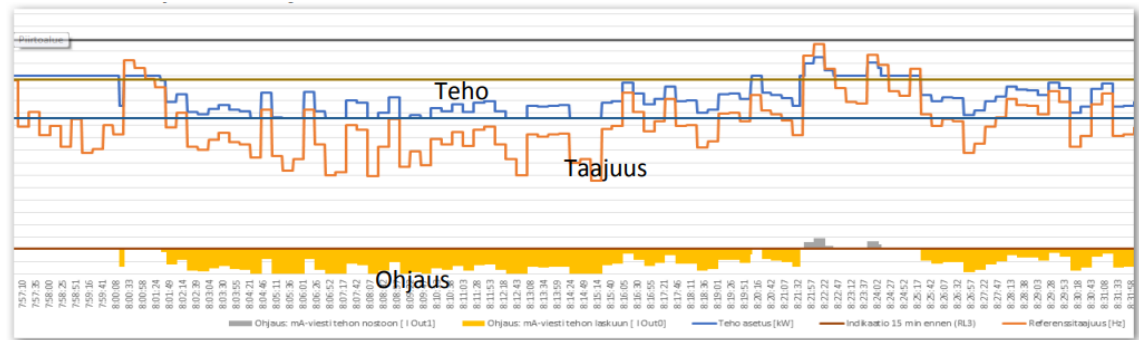
3.4.3 Pakkasvaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi

Fingridin, SEAM Groupin ja pakastevaraston yhteinen pilottiprojekti toteutettiin 01/2014-06/2015 välisenä aikana. Pakastevaraston teknisestä ratkaisusta vastasi SEAM Group, joka on erikoistunut sähkönkulutuksen optimointipalveluihin. Pakastevaraston sähkönkulutus on noin 20 GWh/a ja varaston lämpötila pyritään pitämään tasaisena eli kuorma pysyy tasaisena. [28]

Pilotin tarkoituksena oli kokeilla, pakastevarastojen soveltuvuutta reservimarkkinoille taajuusohjattuna käyttöreservinä. Kohteessa ohjattavan kuorman teho on 0,3 MW ja sitä myydään tuntimarkkinoille. Pilotissa säädettiin laitteiden tehoa ohjaamalla kylmäkoneiden, höyrystimien ja lauhduttimien ohjausautomaatiota taajuuden muutoksilla. Ohjauksella koneet saadaan käymään täydellä teholla tai niiden tehoa voidaan alentaa lineaarisesti taajuuden muutosten mukaisesti. Kohteessa käytetty automaatio voi ohittaa ohjauskäskyt tarvittaessa, jos esimerkiksi varaston lämpötila nousee liikaa. Säättöjen toteutuksessa on tärkeää ottaa huomioon pakastevarastoissa säilytettävien tuotteiden laadun pysyminen ennallaan. Toteutuneiden ohjauksien tiedot luetaan paikalliseen logiikkaan ja ohjaavana signaalina toimiva taajuusmittaus on toteutettu SEAM:in pilvipalvelussa. Ohjauskäskyt lähetetään 10 sekunnin syklillä pilvipalvelusta logiikkaan. [28]

Pakastevaraston ohjattavaa kuormaa tarjotaan seuraavalle päivälle yhteensä kahdeksan tuntia (kaksi neljän tunnin jaksoa) ja kohde on osallistunut taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkinoille 1/2015 alkaen. Tarjouksen toteutuessa Edi-sanomat toteutuneista kaupoista siirtyvät ohjauslogiikalle ja laitos ajaa itsensä valmiustilaan automaattisesti. Kulutusta koskevat säädöt toteutetaan automaattisesti myytyjen säätötuntien ajalta. Ohjausten läpimenoaika ohjauslaitteistolle on keskimäärin 10 sekuntia ja järjestelmä tuottaa vaadittavat todentamistiedot Fingridille ja tasevastaavalle. Fingridille tieto siirtyy http-pohjaisella (FGRTdata) tiedonsiirtoratkaisulla. SEAM:in järjestelmään tallennetaan sekuntita-

son historiatiedot kulutusmittauksista ja ohjaustietojen paluuarvoista 15 sekunnin keskiarvoina. Kuvassa 16 näkyy ohjausten tiloissa tapahtuvat muutokset ja läpimenoaika ohjauslaitteistolle on 10 sekuntia. [28]



Kuva 16. Ohjausten tiloissa tapahtuvien muutosten läpimenoaika käskyinä ohjauslaitteistolle. [28]

Pakastevarasto reagoi säätötarpeeseen nopealla vasteajalla ja ne sopivat hyvin säätöressursiksi, sillä kulutuksen välillinen lisääminen tai vähentäminen eivät vaikuta pakastevaraston muuhun toimintaan. Kohteen kuormien ohjaus voitiin myös teknisesti toteuttaa suoraviivaisesti. [28]

3.4.4 S-ryhmän kysyntäjoustoprojekti ”HertSi”

S-ryhmä on Suomen suurin ei-teollinen sähkökuluttaja ja sen tavoitteena on laajentaa kysyntäjousto kaikille sen tasoille. S-ryhmällä on yli 1600 toimipaikkaa, joita ovat mm. eri kokoiset kaupat, hotellit ja logistiikkakeskukset, joten kysyntäjoustoressursia on merkittävästi. Fingrid toteutti pilotin S-ryhmän kanssa kysyntäjouston lisäämiseksi seitsemässä tavaratalossa. Hämeenmaan ja Pirkanmaan osuuskauppojen Prismoihin rakennettiin järjestelmät, joiden avulla voitiin ohjata kiinteistöjen sähkökäyttökohteita automaattisesti sähköverkon kuormituksen mukaan. Nämä kohteet valittiin siksi, että niissä on käytössä varavoimakoneet, joita on jo aikaisemmin ajateltu hyödyntää sähkömarkkinoilla hintapiikkien aikana. [29]

Varavoimakoneiden soveltuvuutta testattiin Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinalle. Varavoimakoneiden lisäksi kysyntäjoustoan liitettiin muita sähkönkulutuskohteita kuten saattolämmityksiä, ilmanvaihtokoneita, lämpöpumppuja ja valaistusta pienimuotoisesti. Näiden kysyntäjousto-kohteiden soveltuvuutta testattiin taajuusohjatulle reservimarkkinoille. Pilotissa selvitettiin Prismojen potentiaalia osallistua kysyntäjoustoan kytkemällä laitteita pois päältä sähkön huippukulutuksen aikana ja lisäämällä kulutustaan silloin, kun on ylituotantoa. Säädön piiriin on valittu kohteita, joissa puolen tunnin sähkön katkaisu ei vaikuta olosuhteisiin siten, että asiakkaat tai henkilökunta havaitsisi säätöjä. Säädot ovat automaattisia ja säätökäsky lähetetään verkon kuorman perusteella välityslaitteistoon, josta se siirtyy kiinteistön taloautomaatioon. [29]

Pilotissa selvitettiin, miten kohteet soveltuvat eri markkinapaikoille eri näkökulmista. Näitä näkökulmia olivat kauppojen aukioloajat, säätyvien kuormien teho ja reagoit nopeus, säädön kesto ja toistuvuus ja säätökyky molempiin suuntiin. Lisäksi tarkasteltiin myös säädön lineaarisuutta, signaalin läpimenoaikaa, varavoimakoneiden todellista tehoa ja käynnistysaikaa, reaaliaikamittausvaatimusta ja ansainta mahdollisuutta. Markkinapaikoille asetettujen vaatimusten täyttämiseksi kohteisiin asennettiin reaaliaikamittausvaatimusta varten päämittauksiin käytettävät analysaattorit sekä palveluntarjoajan RTU-boxit (Remote Terminal Unit eli etäpätelaite). Tämän jälkeen analysaattorit, etäpätelaitteet ja kiinteistöautomaatio kytkettiin keskustelemaan keskenään ja kiinteistöautomaatioon tehtiin tarvittavat muokkaukset toteuttamaan haluttuja ohjauksia. Jotta varavoimakoneita voitiin hyödyntää, ne kytkettiin etäohjauksen piiriin sekä RTU-ohjaukseen. EDI-viesteillä lähetettiin hyväksytyistä tuntitarjouksista tieto RTU:lle, millä tunneilla järjestelmän tulee olla käytettävissä. Kiinteistöautomaatio voi tarvittaessa ohittaa RTU:n ohjaukset, jos niistä on haittaa muulle toiminnalle. [29]

Pilotissa havaittiin, että alaspäin säätyvä kuorma jäi oletettua pienemmäksi ja sähkönkulutus vaihteli päämittauksessa hetkellisesti melko paljon, mikä asettaa haasteen pienten säätöjen todentamiselle. Reaaliaikamittausvaadetta ei ole taloudellisesti kannattavaa toteuttaa jokaiselle yksittäiselle säätävälle laitteelle. Pilotissa kuormien reagoitokyky haluttuun pyyntöön oli nopeaa ja signaalin läpimenoaika oli alle viisi sekuntia. Kuormien lisäyksessä säädöt voitiin toteuttaa lineaarisesti. Varavoimakoneet voitiin myös käynnistää varsin nopeasti, mutta kapasiteettia ei ollut riittävästi säätömarkkinoiden vaatimuksiin (10 MW). Teknisesti pilotin ratkaisut toimivat moitteettomasti. Kuormien osalta markkinapaikaksi soveltui parhaiten taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkina ja varavoimakoneille Elspot- ja Elbas-markkina. [29]

Säätyvää kapasiteettia yksittäisessä kohteessa on vähän, joten kysyntäjoukon hyödyntämiseen tarvittava ratkaisu pitää olla yksinkertainen, jotta investointikustannukset pysyvät pieninä. Varavoimakoneet soveltuvat muuten hyvin säätösähkömarkkinalle, mutta minimittehoavaade on liian suuri. Kantaverkkoyhtiön pitää kyseenalaistaa käytössä olevia vaatimuksia eri markkinapaikoilla ja muokata niitä sopimaan myös kulutukselle, jotta kohteiden kysyntäjoukkoa voitaisiin hyödyntää tehokkaammin. [29]

4. KOTIAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

Älykkäällä sähköjärjestelmällä tuodaan uusia ratkaisuja kehittyville sähkömarkkinoille. Älykkyyden avulla on mahdollista parantaa sähköjärjestelmän kykyä tasapainottaa sähkön tuotantoa ja kulutusta joka hetki. Lähitulevaisuudessa uusilla kuluttajien energiapalveluilla on siis merkittävä rooli sähköjärjestelmän tasapainottamisessa. Kotiautomaatiota hyödyntävällä kysyntäjoustopuella voidaan vähentää tai lisätä sähkönkulutusta tuotanto tilanteesta riippuen. Älykkään sähköjärjestelmän toteuttaminen edellyttää taloudellista houkuttelevuutta alan toimijoille ja kuluttajille ja se rakentuu moderneille digitalisaation ratkaisuille. [24]

Tekniikan ja automaation kehitys edistävät kuluttajien osallistumista sähkömarkkinoille ja kotiautomaation lisääntyminen on edellytys kotitalousasiakkaiden kysyntäjoustopuun laajamittaiselle hyödyntämiselle. Viestintä on avainasemassa niin kysyntäjoustopuussa kuin automaatiojärjestelmissä. Kuluttajan on saatava riittävästi tietoa kysyntäjoustopuun hyödyntämisestä ja sen tuottamasta lisäarvosta sekä automaatiojärjestelmien ominaisuuksista ja hyödyistä. Kysyntäjoustopuun on tapahduttava automaattisesti kuormittamatta asukasta eli sen täytyy olla asunnon ns. sisäänrakennettu ominaisuus. Loppukädessä asiakas siis ratkaisee, onko Suomeen mahdollista kehittää älykäs sähköjärjestelmä. Sähkömarkkinat on myös rakennettava siten, että kuluttajat voivat aktiivisesti tarjota kysyntäjoustopuun eri markkinapaikoille ja saavat riittävästi taloudellista hyötyä tästä. Kotiautomaatiojärjestelmän hankinnassa asiakasta kiinnostavat siitä syntyvät säästöt, asiakkaan arjen helpottaminen ja ympäristönäkökulmat.

Tässä luvussa selvitetään, millaisia kotiautomaatioratkaisuja kotitalouksiin on saatavilla ja miten ne soveltuvat sähkökuormien ohjaukseen. Kysyntäjoustopuun kannalta potentiaalisimmat kuormat ovat sähkölämmitysratkaisuihin liittyvät kuormat. Luvussa tutkitaan myös kotiautomaatiojärjestelmien yleistymistä kotitalouksissa, sekä asioita, jotka järjestelmän olisi hyvä täyttää, jotta sitä voidaan hyödyntää tehokkaasti kysyntäjoustopuussa.

Kotiautomaatiolla ja taloautomaatiolla tarkoitetaan samaa ja ne ovat rakennusautomaation tasoja. Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan yleisesti taloteknisten järjestelmien, kuten lämpö-, vesi-, ilma ja sähköjärjestelmien automatisointia eli LVIS-järjestelmiä. Suurempien kiinteistöjen kiinteistöautomaation ja kotiautomaation ideologia on samankaltainen, mutta niiden toteutustavat ja tavoitteet poikkeavat usein kohteesta riippuen toisistaan. Suuremmissa kiinteistöissä toimintavarmuus voi olla esimerkiksi tärkein suunnittelukriteeri, kun taas kotiautomaatiossa tärkeää on laitteen helppokäyttöisyys ja sen laajennettavuus tarvittaessa. Kotiautomaatiojärjestelmien hankinnassa vaikuttavat eniten niiden hinta ja toiminnalliset ominaisuudet. [30 s.26]

Automaatiojärjestelmät poikkeavat toisistaan fyysisesti sekä niissä on käytössä erilaisia kommunikaatioprotokollia. Osa automaatiojärjestelmistä on toteutettu keskitetyksi ja vaativat keskusyksikön, jossa itse ohjelma fyysisesti sijaitsee ja osa järjestelmistä on toteutettu hajautetusti. Molemmissa järjestelmissä on etunsa ja haittansa. Keskitetyissä järjestelmissä hintaa lisää keskusyksikkö, kun taas hajautetussa järjestelmässä yksittäiset komponentit ovat kalliimpia. Hajautetuissa järjestelmissä on myös usein paremmat laajentamismahdollisuudet ja koko automaatiojärjestelmää ei tarvitse toteuttaa rakentamisvaiheessa, kunhan tarvittavat kaapeloinnit on huomioitu rakennusvaiheessa.

Keskitetty automaatiojärjestelmä perustuu erilaisiin rakenteellisiin ja ohjelmallisiin tasoihin, joilla järjestelmästä saadaan koottua ominaisuuksiltaan asiakas tarpeita vastaava. Keskitetyn automaatiojärjestelmän hierarkkiset tasot ovat valvomo/hallinto-, alakeskus-, ja kenttälaitetaso ja jokaisella näistä tasoista on oma erityinen tehtävänsä automaatiojärjestelmässä [7 s.152]. Valvomotason tehtävänä on operoida, raportoida ja hallita järjestelmän keräämää tietoa sekä koordinoita tehtäviä muille tasoille. Automaatiojärjestelmän eriaisteiset logiikat, kontrollerit ja suorat digitaaliset ohjausyksiköt sijaitsevat alakeskustasolla. Järjestelmäkokonaisuutta ohjataan keskitetyn alakeskuksen avulla ja alakeskustaso välittää käyttäjän ja antureiden antamat toiminnot valvomotasolle. Kenttätaso koostuu erilaisista antureista, joiden tehtävänä on esimerkiksi mitata lämpötilaa, valoisuutta, kosteutta, ilmanlaatua sekä muita ympäristöön liittyviä ominaisuuksia. Kenttätason mittaus-, säätö- ja ohjauslaitteet välittävät tiedon alakeskukselle tai suoraan hallintotason pääkeskukselle automaatiojärjestelmästä riippuen.

Automaatiojärjestelmien kehityssuuntana voidaan pitää sitä, että automaatio on yhä enemmän hajautettua. Hajautetussa kotiautomaatiojärjestelmässä kokonaisjärjestelmä on hajautettu pienempiin älykkäämpiin osakokonaisuuksiin ja keskusyksikköä ei tarvita [7 s.152]. Järjestelmässä komponentteihin on sisäänrakennetut ominaisuudet toimia yksinään väylässä. Yksinkertaisimmillaan kytkimen ja valaistusohjausreleen välille voidaan muodostaa väylä ja lisätä virtalähde väylään ja toiminnallinen kokonaisuus on valmis. Kokonaisjärjestelmä on usein edullisempi toteuttaa hajautetun automaation avulla. Lisäksi se mahdollistaa kuormien tarkemman ohjaamisen ryhmäkeskustasolla ja helpottaa kuormakohtaista sähkön mittaamista [7 s.152]. Kysynnänjoustossa on huomioitava, että hajautetussa järjestelmässä älykkyys ja sitä kautta myös kysynnän jouston ohjaustoiminnot pitää toteuttaa niin, että se kattaa koko järjestelmäkokonaisuuden [7 s.152].

Seuraavaksi käsitellään kotiautomaatiojärjestelmien ominaisuuksia ja vaatimuksia, jotka vaikuttavat kysyntäjouston laajempaan hyödyntämiseen ja järjestelmien yleistymiseen kotitalouksissa:

- Järjestelmän tulee asuntokohtaisesti kyetä ohjaamaan kodissa käytettävää sähkölämmitystä kuten suoraa sähkölämmitystä, varaavaa lattialämmitystä, käyttövesivaraajaa (sähkölämmityskodit), varaavaa sähkölämmitystä (isot vesivaraajat) sekä öljylämmitystä (sähkövastus öljykattilassa) sekä kohteessa käytettäviä maa-

ja ilmalämpöpumppuja ja tämän lisäksi järjestelmän on pystyttävä tarjoamaan ohjattavaa kuormaa parhaiten soveltuvalle markkinapaikalle. Kotiautomaatiojärjestelmän on siis täytettävä eri markkinapaikkavaatimukset ohjattavuuden osalta (lämpimenoaika ohjauskomennoille, ohjausten onnistumisen todennäköisyys jne.).

- Tehonmittauksen on oltava riittävä, jotta toteutuneet kuormien ohjaukset ja tarjottavissa oleva kuorma on mahdollista todentaa.
- Lämmityskuormien ohjaukseen käytettävä ohjausaikataulu tulee toteuttaa niin, ettei asumismukavuus kärsi sekä säästyään suurimmilta jälkihuipuilta.
- Käytettävä tiedonsiirto tulee olla hyvin suojattu ulkopuolisilta käyttäjiltä ja tietoverkon poikkeustilanteet eivät saa estää lämmityksen ohjausta.
- Kuluttajalle tärkeää on, että sillä on mahdollisuus vaihtaa sähköntoimittajaa ilman, että kotiautomaatiojärjestelmään joudutaan tekemään kalliita muutoksia tai järjestelmä joudutaan vaihtamaan kokonaan. Eri aggregaattoreiden järjestelmien tulisi siis olla yhteensopivia kuluttajien laitteistojen kanssa.
- Kotiautomaatiojärjestelmän on oltava helppokäyttöinen ja sen asetusten vaihtaminen jälkikäteen tulee olla helppoa. Myös kysyntäjoustopuotteiden tulee olla asiakkaiden ymmärrettävissä ja asiakkaan on saatava selvä käsitys kysyntäjoustopuotteiden hyödyistä.
- Kotiautomaatiojärjestelmää on voitava jälkikäteen laajentaa ja järjestelmän on hyvä olla yhteensopiva muiden valmistajien laitteiden kanssa. Jos järjestelmä ei tue muita laitevalmistajia, on järjestelmän laajennettavuus ja vikaantumisen ongelmallista, jos järjestelmän toimittaja lopettaa liiketoimintansa.
- Ratkaisu tilanteisiin, jossa asiakkaalla on käytössä aikaisemmin asennettu kotiautomaatiojärjestelmä, jota halutaan täydentää kuormien ohjausratkaisulla.
- Kotiautomaatiojärjestelmän ja kysyntäjoustopuotteen aggregaattorin järjestelmän tiedonsiirron tulee toimia moitteettomasti maantieteellisestä sijainnista riippumatta ja sijainti ei saa vaikuttaa kuormien ohjauksen nopeuteen merkittävästi, jotta kuormaa voidaan hyödyntää eri markkinapaikoilla.
- Aggregaattoreiden järjestelmien tulee olla riittäviä kysyntäjoustopuotteen hyödyntämisessä ja järjestelmien on kyettävä reagoimaan kuluttajan ja markkinapaikan kanssa riittävän nopeasti ja ohjauksen toteutuminen on voitava todentaa. Lisäksi järjestelmän on tuettava mahdollisimman monta automaatiotarkaisua sekä tiedonvaihto kantaverkkoyhtiön ja jakeluverkkoyhtiön kanssa tulee olla kunnossa.

4.1 Kotiautomaation yleistyminen ja markkinoiden kehittyminen

Kotiautomaatiojärjestelmien markkinoihin ja kysyntään voivat vaikuttavaa niitä tarjoavat yritykset. Olennaista on tunnistaa asiakkaiden tarpeet ja kehittää niiden pohjalta kotiautomaatiojärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluita. Asiakstarpeiden selvittämisellä sekä asiakaspalautteen keräämisellä ja analysoinnilla voidaan huolehtia siitä, että tarjottavat

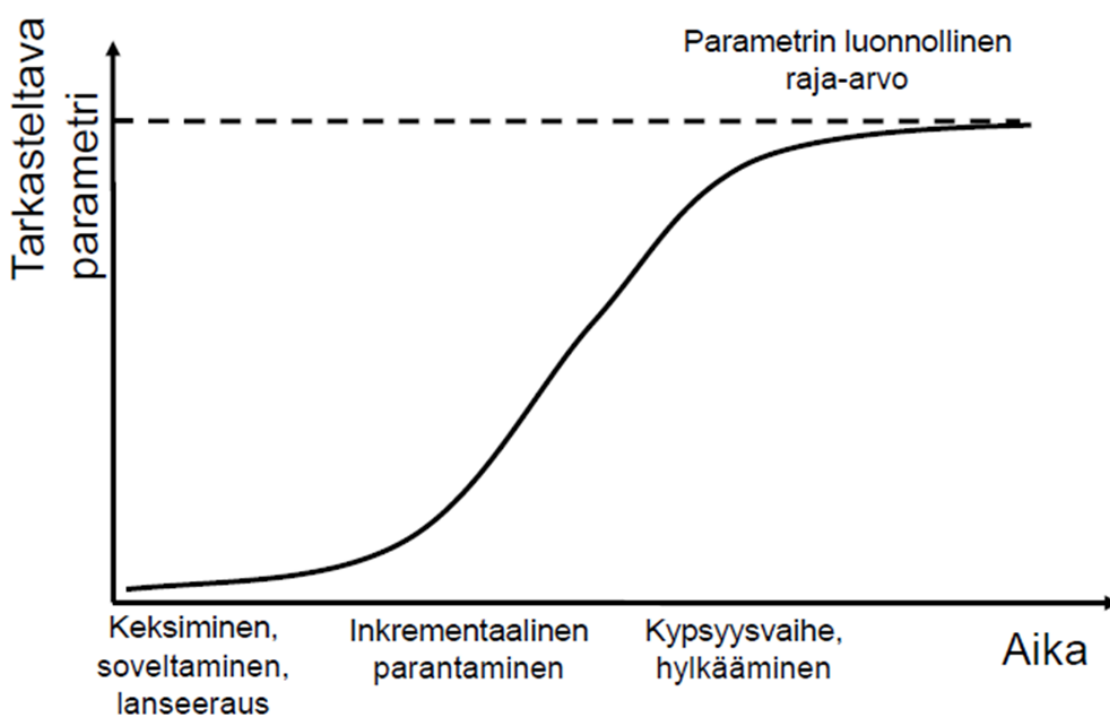
tuotteet ovat todella sellaisia, joilla on kysyntää. On myös erityisen tärkeää, että potentiaaliset asiakkaat ovat tietoisia uusista tuotteista ja palveluista. Tuotteen kokonaiskysyntään voidaan vaikuttaa mainonnan avulla ja perinteisten markkinointikanavoiden lisäksi sosiaalinen media on nykyään edullinen ja tehokas tapa lisätä asiakkaiden tietoisuutta uusista tuotteista.

Tuotteen tai palvelun tuomaa asiakasarvoa tarkastellaan yleensä asiakkaan näkökulmasta eli asiakasarvo voi tarkoittaa esimerkiksi asiakkaalle tarjoaman hyödyn ja siihen liittyvän hinnan välistä erotusta. Asiakkaan arvon muodostumista on tärkeää tarkastella laajasti, ei pelkästään rahallisia arvioita mielessä pitäen. [5 s.30] Tärkein edellytys kotiautomaatiojärjestelmien yleistymiseen on se että, järjestelmät vastaavat mahdollisimman hyvin kuluttajan tarvetta. Osa kuluttajista arvostaa kotiautomaatiojärjestelmistä saatua taloudellista hyötyä ja osa asumismukavuuden parantamista tai molempia näitä yhtä paljon. Kotitalousasiakkaille on tarjolla kotiautomaatiojärjestelmiä, jotka keskittyvät enemmän asumismukavuuteen ja energian säästämiseen sekä kodin energiahallintajärjestelmiä HEMS (Home Energy Management System), joissa pääpaino on energian säästössä. Kotiautomaation hintaan ja asiakkaan valintaan vaikuttavat valmistajan lisäksi erilaisten järjestelmien erot, ominaisuudet ja käytettävyyden helppous. Lisäksi järjestelmän hintaan vaikuttaa se, että sisältyykö järjestelmän ostoon sähkö- ja automaatio suunnitelmat, asennukset, ohjelmoinnit, huollot sekä onko järjestelmän käyttöön opastusta. Järjestelmän käytettävyyden on asiakkaan kannalta tärkeää, sillä järjestelmä on vain työkalu ja vaatii aina rinnalleen osaavan käyttäjän, jotta automaatiojärjestelmästä saadaan irti kaikki sen tarjoama hyöty.

Laajempien kotiautomaatiojärjestelmien tarkoituksena on helpottaa elämää, parantaa asuinmukavuutta, lisätä asumisturvallisuutta ja saada säästöä energian kulutuksesta. Järjestelmän laitteet tekevät havaintoja ympäristöstään ja toteuttavat muutoksia näiden havaintojen perusteella. Havainto voi tulla esimerkiksi lämpötilasta, kellonajasta, liikkeestä, sähkönmarkkinahinnasta, valon määrästä tai muusta vastaavasta, josta teknisiä havaintoja voidaan tehdä. Automaatiojärjestelmillä voidaan esimerkiksi ohjata lämmitystä, valaistusta, turvallisuuden liittyviä järjestelmiä, ilmanvaihtoa, viihdelaitteistoja, murtohälytystä sekä muita järjestelmiä ja sen avulla voidaan yhdistää erilliset ominaisuudet hallittavaksi yhdeksi kokonaisuudeksi. Käyttäjä asettaa ohjattaville toiminnoille halutut rajat ja käyttöprofiilit, joiden mukaan järjestelmä muuttaa kohteen ympäristöolosuhteita. Eli automaation avulla riittää, kun yhdelle järjestelmän osa-alueelle annetaan tieto, niin muut osa-alueet toimivat automaattisesti halutulla tavalla. Esimerkiksi, jos murtohälytysjärjestelmä kytketään päälle kotoa poistuttaessa, niin automaatio ohjaa samalla valaistuksen pois päältä ja lämmitystä pienemmälle. Lisäksi voidaan kytkeä keittiön ja kodinhoitohuoneen pistorasiat jännitteettömiksi ja sulkea kiinteistön päävesisyöttö turvallisuuden parantamiseksi. Eri turvallisuustoimintoja ovat kameravalvonta, liiketunnistimet, kulunvalvonta ja ulko-ovien aukioloilmaisimet.

Erilaisia kotiautomaatiojärjestelmiä voidaan ohjata painikkeilla, tietokoneella, kosketusnäytöllä ja älypuhelinsovelluksilla. Kotiautomaation ominaisuudet mahdollistavat yleensä myös etäkäytön ja ohjauksia voidaan toteuttaa pitkän matkan päästä.

Seuraavaksi tarkastellaan uuden innovaation teknologista kehitystä ja yleistymistä markkinoilla. Kun yritys on tunnistanut markkinoiden tarpeen ja kehittänyt tarpeeseen vastavan tuotteen, tuote ei tämän jälkeen pysy muuttumattomana, vaan kilpailevat yritykset kehittävät kilpailevia ja korvaavia tuotteita ja tuotteen määrittely muuttuu ajassa. Tällöin puhutaan yleisesti elinkaarivaikutuksista. Keskeistä on suorituskyvyn ajallinen kehittyminen eli teknologisen kehityksen elinkaari, jota voidaan kuvata S-käyrän muotoisella aikajanalla. [5 s.36-37] Kuvassa 17 näkyvä teknologisen kehityksen elinkaari kuvaa kaikkien toimialan toimijoiden tuotteen tarjonnan teknistä kehitystä tarkasteltavassa suorituskykyparametrissa.



Kuva 17. Teknologisen kehityksen elinkaari tuotteen tietylle valikoidulle suorituskykyparametrille. [5 s.37]

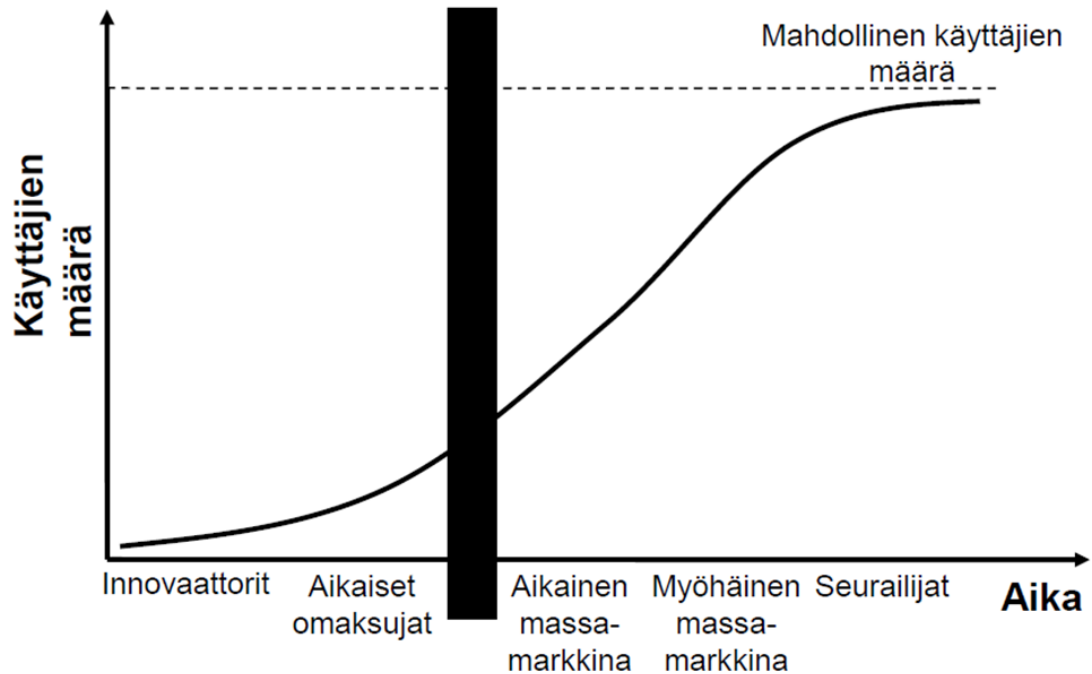
Tuotteen teknologisen kehityksen elinkaari alkaa teknologian keksimisellä ja sen pohjalta ensimmäisten tuotteiden lanseerauksella. Tyypillisesti uusi teknologia markkinoilla on varsin yksinkertaista ja keskittyy funktionaalisuuden ja perustoiminnallisuuden määrittelyyn ja suorituskyky paranee tässä vaiheessa vielä hitaasti. Kun teknologinen suorituskyky on parantunut riittävästi, aletaan markkinoille tuottamaan erilaisia tuotevariaatioita ja samalla asiakkaiden tarpeita pystytään tyydyttämään edistyksellisimmillä versioilla. Tuotteen suorituskyvyn parantamiseen lisätään enemmän resursseja, kun tekninen osaaminen kasvaa ja markkinoiden tarpeet tunnistetaan paremmin, mikä johtaa suorituskyvyn

nopeaan kasvuun. Tässä vaiheessa tyypillisesti markkinoilla toimijoiden määrä on kasvanut huomattavasti ja siirrytään inkrementaalinen eli vähittäin etenevän parantamisen vaiheeseen. Kehitys tapahtuu asteittain ja tekninen tietämys on saavuttanut vakiintuneen muodon ja erilaisten tuotteiden joukosta on löydetty ratkaisut, jotka tyydyttävät asiakastarpeen. Inkrementaalinen parantaminen jatkuu, kunnes suorituskyky saavuttaa luonnollisen raja-arvon, joita ovat fyysiset ja kaupalliset rajoitteet. Kaupalliset rajoitteet ovat esimerkiksi kustannusten kasvu suhteessa suorituskyvyn parannukseen. Kypsyysvaiheessa suorituskykyparametria ei voida tai sitä ei enää kannata kehittää. Suorituskykyparametri voi liittyä myös tuotteen tasoon liitettävään ominaisuuteen. Suorituskykyparametri on keskeinen, mutta vain yksi tekijä, jonka avulla voidaan määrittää asiakkaan tarpeita. [5 s.37-38]

Toimialan teknologisen kehittymisen ohella voidaan ajallisesti kuvata tuotteen myynnin elinkaarta, jossa yleensä asiakkaiden määrät kasvavat S-käyrän mukaisesti. Tuotteen kehittyessä kilpailu siirtyy palvelemaan eri asiakasryhmiä ja siten tuotteen tarpeet ja arvonmuodostus muuttuvat. Elinkaari alkaa hitaalla lineaarisella kasvulla, jonka jälkeen se kiihtyy eksponentiaaliseen kasvuun saturoituen ja lopuksi kääntyy laskuun. Innovaation omaksujat voidaan jakaa viiteen eri ryhmään sen perusteella, missä ajassa he ottavat innovaation käyttöön. [5 s.38]

Tuotteen markkinoille tulon jälkeen sen ottavat yleensä ensin käyttöön innovaattorit. Tuote on tässä vaiheessa vielä teknologisen kehityksen alkuvaiheessa ja innovaattorit arvostavat enemmän perustoiminnallisuutta. Tämän ryhmän asiakkaat ovat tyypillisesti teknisesti valveutuneita, ovat valmiita ottamaan uusiin ratkaisuihin liittyviä riskejä ja haluavat testata uusia teknologisia ratkaisuja. Teknologian kehittyessä ja yritysten tuodessa erilaisia ratkaisuja markkinoille, aikaiset omaksujat ottavat tuotteen käyttöönsä. Aikaiset omaksujat ovat myös teknisesti osaavia ja sietävät riskejä, mutta arvostavat laajemmin käytettävyyttä ja erilaisia funktionaalisia ratkaisuja. He myös usein arvioivat ja antavat palautetta tuotteesta, josta on hyötyä tuotteen kehitystyössä. Inkrementaalisen kehityksen vaiheessa teknologia vakiintuu ja tekniset ratkaisut alkavat muistuttamaan enemmän toisiaan. Tämä lisää tuotannon ja toimitusten tehostamista kustannustehokkaasti ja mahdollistaa tuotteen pääsyn laajoille markkinoille. Aikaiset massamarkkinat eroavat kahdesta aikaisemmasta asiakasryhmästä ja tämän ryhmän asiakkaat ovat vähemmän kiinnostuneita teknisestä kehityksestä, eivätkä ole valmiita ottamaan tuotteen toimivuuteen liittyviä riskejä. Tuotteen on siis oltava toimiva ja vastattava asiakastarvetta odotetulla tavalla. Tässä vaiheessa asiakkaat kiinnittävät jo huomiota tuotteen käytettävyyteen, saatavuuteen sekä hintaan. Näistä eroavaisuuksista johtuen aikaisen omaksujien ja aikaisen massamarkkinan välissä on kuilu, jossa tuote siirtyy teknisestä kehityksestä asiakkaan tarpeet huomioon ottavaan tuotteen toimitukseen. Tuotteen kehittyessä myöhäisille massamarkkinoille asiakasryhmälle ominaista on riskien karttaminen, skeptisyys uutta kohtaan ja muiden seuraaminen tuotteen käyttöönotossa. Keskeiset valintakriteerit ovat tuotteen saa-

tavuus, laatu, hinta, tekniset ominaisuudet ja helppokäyttöisyys. Viimeisenä tuotteen ottavat käyttöön seurailijat, jotka arvostavat lähes pelkästään alhaista hintaa ja tuotteen käytettävyyttä. Kuvasta 17 nähdään markkinasegmentit, sekä aikaisten omaksujien ja aikaisen massamarkkinan välinen kuilu. [5 s.39,144]



Kuva 17. Markkinasegmentit tuotteen elinkaaren aikana. [5 s.144]

Kotiautomaatiojärjestelmien teknologinen kehitys on vielä siinä vaiheessa, jossa markkinoille tulee mukaan uusia suuria toimijoita, jotka tuovat omia uusia ratkaisuja ja parannuksia kodinohjausjärjestelmiin. Näistä esimerkkinä suuret kansainväliset yritykset kuten Google, Apple, Samsung, Amazon ja Microsoft. Myynnin elinkaari on saavuttanut aikaiset omaksujat ja massamarkkinoille pääsemiseksi teknologisen kehityksen on saavutettava ensin inkrementaalisen kehityksen vaihe, jossa teknologia vakiintuu. Massamarkkinoille siirtymiseen tarvitaan inkrementaalista kehitysvaihetta, jossa kodinohjausjärjestelmien valmistajat kiinnittävät enemmän huomiota tuotteen hintaan, käytettävyyteen, saatavuuteen sekä ratkaisut vastaavat paremmin niitä ominaisuuksia, joita asiakas arvostaa. Asiakas ei ole valmis maksamaan kallista hintaa kotiautomaatiojärjestelmän ominaisuuksista, joita kuluttajat eivät tarvitse. Kodinohjausjärjestelmät ovat vielä liian kalliita saavuttaakseen massamarkkinat sekä tietoisuus järjestelmien hyödyistä on vielä puutteellista suurelta osalta asiakkaista.

Asiakkaiden tietoisuutta kodinohjausjärjestelmien energian säästöön liittyvistä ominaisuuksista tulisi lisätä, sillä energian säästämisen tärkeys nykypäivänä on suuri ja kodinohjausjärjestelmillä voidaan vaikuttaa sähkön kulutukseen huomattavasti, kun kodin järjestelmät osaavat mukautua asukkaiden tarpeisiin reaaliaikaisesti. Automaatiojärjestel-

millä saadaan suurin mahdollinen hyöty sähkösopimuksista, jotka perustuvat Spot-markkinoiden tuntikohtaiseen hinnoitteluun. Esimerkiksi lämmitystä voidaan ohjata automaattisesti halvempiin tunteihin ilman, että käyttäjä huomaa eroa, tai kotoa poistuttaessa lämmitys voidaan automaattisesti pienentää minimiin. Energian säästöä saadaan myös, kun järjestelmä estää lämmityksen, ilmanvaihdon ja jäähdytyksen ristiriitaisen toiminnan sekä muista sähkölaitteiden ohjauksista, kuten valaistuksen säätämisestä luonnonvalon mukaan. Automaatiojärjestelmästä saadaan myös helposti koko kiinteistön tai yksittäisen laitteen hetkellisiä ja pidempiaikaisia kulutustietoja, joita voidaan hyödyntää muuttamaan omia toimintamalleja energiatehokkaammiksi. Energiatehokkuus on keskeinen tekijä, kun valitaan kotiautomaatiojärjestelmää.

Kun arvioidaan, mitkä tekijät tekevät tuotteesta (tai laajemmin innovaatiosta) menestyksekkään, niin tutkimuksissa on tunnistettu viisi tekijää, jotka yleisesti vaikuttavat tuotteen menestymiseen markkinoilla. [5 s.55]

Suhteellinen hyöty/paremmuus on tärkein yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa tuotteen menestymiseen ja leviämiseen. Tuotteen menestys riippuu sen asiakkaalle tuottamasta lisäarvosta ja uuden tuotteen tulee olla suhteellisesti parempi, kun verrataan muita samaa tarvetta tyydyttäviä ratkaisuja. Tuotteen suhteellista hyötyä voidaan tarkastella monella eri tavalla, mutta mielekkäintä on verratta asiakkaan kokemaa arvoa. Asiakas kokee arvoa tuotteen tuottavuudesta, pienistä käyttöönottokustannuksista, ajan säästöstä, imagosta, tuotteen tuomasta mukavuudesta ja sen helppokäyttöisyydestä. [5 s.56]

Tuotteen yhteensopivuudella tarkoitetaan, miten tuote soveltuu asiakkaiden tarpeisiin, aikaisempiin kokemuksiin, asiakkaiden arvoihin ja käsityksiin sekä käytössä oleviin rakenteisiin ja se on tärkeä tekijä tuotteen hyväksymisessä. Asiakkaiden arvoja ja käsityksiä on vaikea muuttaa, sillä ne ovat pitkien sosiaalisten prosessien synnyttämiä. [5 s.56] Osalla asiakkaista on juurtunut käsitys kodinohjausjärjestelmien käytön monimutkaisuudesta ja kalliista hinnasta, mikä hidastaa järjestelmien omaksumisnopeutta. Tuotteen käyttötavan ja ympäristön tulee olla yhteensopiva asiakkaan käyttämien muiden tuotteiden kanssa, jolloin kuluttaja kokee innovaation sopivan paremmin omiin käyttötarkoituksiinsa [5 s.56]. Kun uusia ratkaisuja saapuu markkinoille jatkuvasti, syntyy ongelmia, miten saadaan erilaiset ja eri valmistajien kotiautomaatoratkaisut yhteensopiviksi keskenään. Osa järjestelmien toimittajista voivat myös lopettaa toimintansa kilpailun lisääntyessä, ja jos järjestelmä ei ole yhteensopiva muiden valmistajien laitteiden kanssa, syntyy ongelmaksi järjestelmän laajennettavuus ja huoltotoimenpiteet järjestelmän vikaantuessa. Tuotteen tulee olla myös asiakkaiden koetun tarpeen mukainen ja sen pitää ratkaista asiakkaan ongelma tarkoituksenmukaisella tavalla.

Monimutkaisuus rajoittaa tai estää asiakkaita ymmärtämästä tuotteen hyötyjä, käytettäviä ominaisuuksia ja käyttöä. Asiakkaan on siis ymmärrettävä tuotteen tarjoamat hyödyt ja arvot helposti. Tuotteen käytön tulisi olla helppoa, luontevaa sekä tarkoituksenmukaista.

Jos monimutkaisuus aiheuttaa asiakkaalta paljon käytön harjoittelua tai toimittajalta asiakkaan kouluttamista, voi tämä olla este tuotteen menestymiselle. [5 s.56] Kodinohjausjärjestelmissä tekniikan käytettävyys ja sen toimitus on oltava asiakkaalle helposti toteutettavissa, minkä jälkeen sen käyttö lisääntyy ihmisten tietoa lisäämällä.

Kokeiltavuudella tarkoitetaan asiakkaan mahdollisuutta kokeilla ja testata tuotetta ennen ostopäätöksen tekemistä. Testaaminen antaa asiakkaalle mahdollisuuden selvittää, kuinka hyvin tuote vastaa hänen tarpeitaan ja onko tuote toimiva ratkaisu vai ei. [5 s.56] Osa asiakkaista vaativat tuotteen testausta ennen ostopäätöstä ja osalle asiakkaista riittää, jos tuttavapiirissä on henkilö, joka omistaa tuotteen ja heidän kautta on mahdollista saada siihen liittyviä käyttäjäkokemuksia. Kokeiltavuudella asiakas kokee kokonaisarvon konkreettisemmaksi ja vastaavasti koetut kustannukset pienentyvät. Tuotteen vastatessa asiakkaan odotuksia, kokeiltavuus edistää tuotteen arviointia positiivisesti. [5 s.56] Kotiautomaatioratkaisut ovat vielä vieraita monelle asiakkaalle ja siksi osa tuotteen tilaajista haluavat nähdä miten tuotteet toimivat. Kotiautomaatiojärjestelmissä tuotteen testaaminen ja siihen tutustuminen omassa kodissa ennen ostopäätöstä ei ole mahdollista, mikä voi olla este järjestelmän tilaamiselle monen asiakkaan kohdalla.

Havaittavuudella tarkoitetaan tuotteen ja kokonaistarjooman arvolupauksen ja hyötyjen näkyvyyttä muille asiakkaille. Tämä edistää tuotteen suotuisaa arviointia ja kommunikointia asiakkaiden välillä, joka taas lisää tuotteen omaksumisnopeutta. Kun hyödyt ovat havaittavissa, asiakas voi helpommin tehdä päätöksiä tuotteeseen liittyen ja arvioida sen tuomaa arvoa. Samalla tuotteen hyödyt tulevat selville tuotetta tarkkaileville asiakkaille, mikä taas edistää kommunikointia muiden mahdollisten käyttäjien välillä. Havaittavuus siis lisää tuotteen tietoisuuden kasvamista. [5 s.56]

Kodin energiahallintajärjestelmien hintakehityksessä tulee todennäköisesti tapahtumaan suurta muutosta lähitulevaisuudessa. Ainakin There Corporation Oy on julkaisemassa uutta asiakaslaitetta ThereGate 3.0 ja sen valmistuskustannuksia on saatu vähennettyä noin kymmenesosaan tämänhetkisestä tuotteesta. Tuotetta tarjotaan energiayhtiöille ja muille jälleenmyyjille noin 100 € hintaan per kotitalous. [55] There Corporationin kotisivuilta ei löytynyt tarkkaa julkaisun ajankohtaa, mutta laite julkaistaan lähitulevaisuudessa. Tuotteella saattaa olla suuri vaikutus kotitalouksien energiahallinnan loppuasiakashinnoitteluun ja sitä kautta jälleenmyyjien palveluliiketoiminnan kannattavuuteen.

4.2 Suomessa yleisesti käytössä olevia kenttäväyliä

Useimmat kotiautomaatioratkaisut mahdollistavat sekä kiinteät että langattomat väyläratkaisut. Kenttäväylä on kaksisuuntainen digitaalinen väylä, joka mahdollistaa tiedonsiirron eri toimilaitteiden välillä. Kappaleessa käydään läpi yleisimpiä käytössä olevia kenttäväyliä Suomessa.

Z-Wave protokolla on täysin langaton RF-pohjainen viestintäteknikka, joka on suunniteltu erityisesti kotitalouksien ja pienyritysten rakennusautomaatio tarpeisiin. Z-Wave on maailmanlaajuisesti markkinajohtaja langattomassa ohjauksessa. Tarjolla on yli 2100 keskenään yhteensopivaa tuotetta ja asennettuja Z-Wave tuotteita on jo yli 70 miljoonaa. Z-Wave standardia hallitsee Z-Wave Alliance, mutta itse teknologian lisenssit omistavat Sigma Designs ja muut toimijat tarvitsevat standardin käyttöön lisenssisopimuksen. Z-Wavella on yli 600 eri laitevalmistajaa ja palveluntarjoajaa ympäri maailmaa. Tekniikalla ohjataan kodin elektroniikkalaitteita, kuten valaistusta, ilmastointia, ilmanvaihtoa, termostaatteja ja sähköisiä audio- ja videolaitteita. Z-wave pohjautuu kaksisuuntaiseen MESH-topologiaan, jossa kaikki laitteet ovat yhteydessä toisiinsa ja verkossa olevat laitteet pystyvät lähettämään ja vastaanottamaan ohjauksia ilman erillistä ohjaussolmua. MESH-topologia auttaa häiriötilanteissa, kun tiedonsiirto voidaan ohjata muuta reittiä perille sekä sillä kasvatetaan järjestelmän ulottuvuutta. Teknologian avulla voidaan yhdistää useita sensoreita ja tietoa kerääviä laitteita ja tiedot voidaan lähettää esimerkiksi valvomoon tai säätölaitteille. Laitteet myös valvovat ja seuraavat yksittäisiä moduuleita ja tiedottavat näiden moduulien tilan keskusyksikölle. Z-Wave käyttää ISM (Industrial-ScientificMedical) -taajuusalueita, jotka on Euroopassa 868,4 MHz. Radiotaajuudet eivät näin ollen häiritse muita langattomia tekniikoita, jotka yleensä toimivat 2.4 GHz taajuusalueella (Wi-Fi, Bluetooth jne.). Kaikki uudet Z-Wave versiot ovat taaksepäin yhteensopivia vanhempien versioiden kanssa ja järjestelmän laajennettavuus onnistuu jälkikäteen Z-Wave tekniikan avulla. [31] [32] [33]

ZigBee protokolla on langaton teknologia, joka on tarkoitettu hitaaseen, mutta halpaan tiedonsiirtoon. Sen käyttökohteet ovat laajat ja ZigBeetä käytetään kodeissa, rakennuksissa, teollisuudessa, terveysalalla ja muilla markkina-alueilla. ZigBee-allianssi vastaa ZigBee-standardin kehittämisestä ja siihen kuuluu yli 400 yritystä. ZigBee ohjausjärjestelmä on pienitehoinen, lyhyen kantaman radioliikenteen standardi, joka kuuluu WPAN standardiperheeseen (IEEE 802.15.4) ja sen tarkoituksena on yhdistää pienet laitteet langattomasti yhteen. ZigBee ja Z-Wave tekniikassa on yhtäläisyyksiä, molemmat pohjautuvat MESH-topologiaan ja ZigBee käyttää myös kolmea eri ISM-taajuusalueita 2,4 GHz, 915 MHz ja 868 MHz sijainnista riippuen. ZigBee laitteita ovat verkon koordinaattori, reititin ja päätelaite. Verkko tarvitsee aina yhden koordinaattorin toimiakseen. Koordinaattorin tehtäviä ovat verkon muodostaminen ja hoitaminen, osoitteiden jakaminen ja verkon turvallisuus. Lisäksi se kerää tietoja verkon rakenteesta ja laitteista sekä toimii linkkinä verkkojen välillä. Reititin pitää sisällään kaikki verkon toiminnallisuudet ja se vastaa datan siirrosta laitteiden välillä. Päätelaite kommunikoi ainoastaan koordinaattorin kanssa lähettämällä ja vastaanottamalla dataa. Päätelaite pystyy käyttämään virransäästötilaa, jolloin se käyttää energiaa vain lähettäessään dataa. Järjestelmän suojauksessa käytetään datan salausta (AES-128), laitteen ja verkon suojausavaimia sekä kehyksien koskemattomuuden tarkastusta. Siirtomatkaan vaikuttaa käytetyn tehon määrä ja ZigBeessä tehonkulutus on haluttu saada mahdollisimman pieneksi, joten lähetysmatka sisätiloissa on alle 100 metriä riippuen ympäristöstä ja muista tekijöistä. Kotiautomaatioon ZigBee-

soveltuu hyvin ja sillä voidaan ohjata mm. kodin elektroniikkaa, lämmitystä ja ilmastointia sekä järjestelmää voidaan laajentaa jälkikäteen. Uusien laitteiden lisääminen ja poistaminen järjestelmästä onnistuu helposti. [34] [35]

M-bus (Meter-Bus) on kenttäväyläratkaisu, joka on suunniteltu mittaustietojen siirtämiseen. Se on yksinkertainen ja kustannustehokas protokolla, joka soveltuu teollisuuteen ja yksityissektoreille. Yksinkertaisimmillaan tietokone liitetään väylään ja tasomuuntimen välityksellä se kerää väylässä olevilta päätelaitteilta mittaustiedot. Päätelaitteita ovat mm. pulssinkeruuyksiköt, anturit, toimilaitteet ja erilaiset mittarit kuten sähkö-, energia-, kaasu- ja vesimittarit. Väylä ei suoraan sovellu hälytysten ilmaiseamiseen, joten päätelaitteilta luettavat hälytystilat muutetaan hälytyksiksi esimerkiksi kotiautomaatiojärjestelmässä. Yhä useammassa eri valmistajien mittareissa, laitteissa ja automaatiojärjestelmissä on tuki M-Bus-tiedonsiirtoon. M-Bus-protokolla perustuu eurooppalaiseen standardiin EN1434-3 joka määrittää vaatimukset lämpöenergiamittareiden tiedonsiirtoon. M-Bus-protokollassa kaksijohdinväylä syöttää käyttöjännitteen päätelaitteille ja siinä käytettävälle väyläkaapeleille ei ole erityisiä vaatimuksia (KLM, MHS, LONAK ja muut vastaavat kaapelit soveltuvat järjestelmään). Päätelaitteet voidaan kytkeä väylään, tähteen tai näiden erilaisiin yhdistelmiin. Rengaskytkentää ei suositella, koska yhden päätelaitteen häiriö tai vikaantuminen voi pysäyttää koko verkon toiminnan. M-Bus-protokollalla on useiden kilometrien ulottuvuus ja kulutustietojen etäluentana on myös mahdollista. Tiedonsiirto tapahtuu aina keskuksen ja päätelaitteiden välisinä kysely- ja vastaussanomina keskuksen käskystä. Tietoa voidaan siirtää vain yhteen suuntaan samanaikaisesti ja yhden päätelaitteen kanssa. Keskukselta mittaustiedot on mahdollista lukea paikallisesti näyttöltä, tietokoneelta joka on liitetty keskusyksikköön tai etäluentana modeemin välityksellä. [36 s.3-4]

LonWorks-tiedonkäsittelyjärjestelmää ja LON-tiedonsiirtoväylää (Local Operating Network) käytetään pääasiassa rakennusautomaatiossa ja niiden kehittäjä on Yhdysvaltalainen Echelon Corporation. LON-kenttäväylä on avoin ja hajautettu tiedonsiirtoväylä, joka on yksi yleisimmistä järjestelmistä rakennusautomaatiossa. LON-järjestelmästä tekee suositun se, että se on avoin ja yhteensopiva monien muiden ohjausjärjestelmien kanssa. LON sovelluksia on käytössä myös mm. kulkuneuvoissa, liikenteenohjausjärjestelmissä, teollisuudessa sekä hälytysjärjestelmissä. Tiedonsiirto järjestelmässä tapahtuu sanomaperusteisella LonTalk protokollalla. LON on kaksisuuntainen digitaalinen sarjaväylä ja siinä on käytetty monipisteyhteyksiä. LON on hajautettu järjestelmä, joka muodostetaan ohjelmoitavista solmuista, jotka toimivat I/O pisteinä, eikä erillistä keskusyksikköä tai prosessiasemaa tarvita. Solmut ovat toteutettu Neuron prosessorilla ja ne prosessoivat I/O tietoa sekä toisilta solmuilta vastaanotettuja viestejä, tietoa ja komentoja. Solmut sisältävät myös virtalähteen, väyläsovittimen, kiteen tai keraamisen oskillaattorin, jolla prosessorin ja väyläsovittimen tahdistus tapahtuu. Tiedonsiirtoon järjestelmässä voidaan käyttää parikaapelia, sähköverkkoa radiotaajuuksia, optista kaapelia, valokuitua, koaksiaalikaapelia

ja infrapunaa. LonWorks järjestelmällä voidaan ohjata esimerkiksi lämmitystä, ilmastointia, valaistusta, valvontaa sekä seurata energiankulutusta. Lonworks soveltuu kysyntäjouston toteuttamiseen. Kaikki ohjattavat laitteet ovat yhteydessä toisiinsa väyläpohjaisessa ratkaisussa ja kysyntäjoustopuun vaadittavat muutokset ovat yleensä ohjelmallisia. LON- järjestelmät Suomen kotiautomaatioratkaisuissa eivät ole kovin yleisiä. [37 s.7-8]

Modbus-kenttäväylä on lisenssivapaa ja avoin tietoliikennestandardi (de facto-standardi teollisuuselektronikan yhdistämistarpeisiin) ja sitä tukevat monet nykyajan tuotteet ja toimijat. Modbus-standardin avulla voidaan muodostaa asiakas-palvelin-yhteys erilaisten verkkojen yli ja se on OSI mallin 7 sovellustason protokolla. Modbus-verkossa tyypillisesti viestit lähetetään RS232 tai RS-485 sarjalinkin kautta (EIA-standardi). Modbus-protokollassa käytetään master/slave periaatetta, siinä master lähettää pyynnön ja slave lähettää vastauksen. Protokolla on fyysisestä verkosta riippumaton ja Modbus-sarjalinjan voi integroida saumattomasti Modbus TCP-verkkoihin käyttämällä yksinkertaisia yhdyskäytäviä. Modbus ei sisällä laiteprofileja, tietoa siirrettävien muuttujien yksiköistä tai muista ominaisuuksista ja välitettävä tieto luetaan ja kirjoitetaan muistialueaulukoihin, joista sovellusohjelmat poimivat ja prosessoivat tiedon edelleen. I/O muuttujat ja muistitilamuuttujat ovat perusmuuttujia. Modbus-sarjayhteyttä voidaan käyttää melkein kaikissa sovelluksissa ja suuressa osassa automaatiolaitteita löytyy Modbus-liitäntä, jota voidaan käyttää, jos muita liitäntästandardeja ei ole käytettävissä. Tällä hetkellä sarjayhteyttä hyödynnetään tietojen keräämiseen hajautetuista sähkömittareista. Modbus-kenttäväylässä laitteiden integrointi on helppoa ja edullista, siksi uusi laite voidaan helposti integroida jo asennettuun järjestelmään. SCADA- ja HMI-ohjelmistot tukevat Modbusväylää ja sillä on laaja osaaminen. Modbus-väylä käyttää tiedonsiirtoon erilaisia kaapeleita sekä radiotaajuuksia ja muita langattomia yhteyksiä. Erilaisten ratkaisujen ja ohjelmistojen kehittäminen Modbus protokollan pohjalta voi olla nopeaa ja halpaa, koska Modbus on riippumaton tietystä toimittajasta ja sen viesti rakenne on yksinkertainen. Siksi Modbus on kiinnostava vaihtoehto kotiautomaatiojärjestelmissä, vaikka sitä ensisijaisesti käytetään teollisuudessa. [37 s.8-9] [38] [39]

KNX-protokolla on kansainvälinen, avoin talo- ja rakennusautomaatiostandardi, joka ohjaa rakennusten sähköisiä toimintoja. OSI-mallin mukaista viestiprotokollaa käytetään linkkinä sähkönjakelun komponenttien välillä ja se ohjaa rakennusten eri toimintoja, kuten valaistusta, lämmitystä, ilmastointia, valvontaa, energiakulutuksen seurantaa ja turvatekniikkaa energiatehokkaasti ja joustavasti. KNX-tekniikalla voidaan myös optimoida aurinkopaneelien tuottamaa sähköä. Tekniikkaa tukee suoraan 300 laitevalmistajaa, minkä ansiosta KNX-tuotteiden valikoima on suuri. Hyväksytyissä tuotteissa on KNX-logo ja sen käyttöä valvoo KNX Association. Tunnettuja KNX-tuotteiden valmistajia ovat esimerkiksi ABB, Berker, Hager, Jung, Wago sekä monet muut valmistajat. Samoin kuin kiinteät sähköasennukset, tulee KNX-järjestelmien asennukset jättää luvan omaaville sähköurakointiryityksille. [40]

KNX-standardi on EIB, EHS ja BatiBus-standardien seuraaja ja se on kehitetty rakennusautomaatiojärjestelmissä käytetyn EIB-väyläjärjestelmän pohjalta. KNX väylätekniikassa laitteet kommunikoivat keskenään ja keskitettyä tietokonetta ei tarvita. Anturit ja ilmaisimet antavat komentoja ohjausväylän kautta toimilaitteille. Järjestelmää voidaan muokata vastaamaan muuttuvia tarpeita ja KNX-järjestelmän varsinainen ohjelmointi tehdään ETS-ohjelmalla. KNX-järjestelmän toimintoja voidaan ohjata käyttämällä kytkimiä ja painikkeita, ohjauspaneelia tai älypuhelinta, jolla on mahdollista ohjata järjestelmää kauko-ohjatusti. Tiedonsiirto järjestelmässä tapahtuu yleensä kierrettyllä parikaapeliverkolla, mutta tiedonsiirrossa voidaan myös hyödyntää radiotaajuuksia (langaton), Ethernetiä (lähiverkkokaapelointi), valokuitua ja kantaalotiedonsiirtoa sähköverkossa (PLC). Monet laitevalmistajat ovat myös kehittäneet ”Gateway”-tuotteita, joilla KNX saadaan yhdistettyä muihin ohjausprotokolliin. Gateway-tuotteilla saadaan laajennettua KNX-järjestelmien kokonaisratkaisujen mahdollisuuksia. KNX järjestelmän etu verrattuna moneen muuhun järjestelmään on sen avoin ratkaisu ja KNX-yhteensopivia laitteita on laaja valikoima eri valmistajilta. Tämä takaa KNX-järjestelmien laajennettavuuden, päivittämisen ja huolettavuuden tulevaisuudessa. Kaikki KNX-tuotteet ovat taakse- ja eteenpäin yhteensopivia. [41] [42]

4.3 Kotiautomaatoratkaisuja

Kotiautomaatio käsitettä ei ole yleisellä tasolla tarkasti määritelty ja sillä voidaan tarkoittaa montaa eri asiaa, kuten kodin kaikkien sähköisten laitteiden ja toimintojen yhdistävää järjestelmää, kodin energiahallintajärjestelmää HEMS tai kodin yksittäisiä paikallisia älykkäitä automaatiolaitteita. Yhtenäistä kotiautomaation määritelmässä on, että sillä tarkoitetaan automaattisesti tapahtuvaa toimintoa, jolla pyritään saamaan hyötyä kuluttajalle (energian säästö, turvallisuus, kodin asumismukavuuden parantaminen ja helpottaminen yms.). Tässä diplomityössä kotiautomaatiolla tarkoitetaan järjestelmiä, mihin on liitetty useampia ohjattavissa olevia sähköisiä laitteita. Kotiautomaatiota voidaan jakaa tasoihin sen toiminnan perusteella:

1. Yksittäiset paikalliset automaatiolaitteet, jossa käyttöliittymä toteutetaan paikallisesti ja automaatio kohdistetaan yhteen toimintoon. Paikallista automaatiolaitetta ei ole mahdollista kytkeä muista laitteista koostuvaan automaatiojärjestelmään.
2. Integroitu kotiautomaatiojärjestelmä on yksittäisen valmistajan suljettu järjestelmä, jossa käyttöliittymä on toteutettu paikallisesti ja laitekohtaisesti. Suljettu järjestelmä voi olla suppea tai laaja kotiautomaatiojärjestelmä, mutta siihen ei ole mahdollista kytkeä muiden laitevalmistajien laitteita tai ominaisuuksia.
3. Kotiverkolla toteutettu kotiautomaatiojärjestelmä, jossa järjestelmän hallinta suoritetaan langallisen tai langattoman verkkoyhteyden kautta. Hallittavien laitteiden

käyttö kodissa ja etänä on toteutettu käyttöliittymällä, jossa on monipuolisia ominaisuuksia. Järjestelmään voidaan liittää ulkoisia palveluita, sovelluksia ja laitteita internetin välityksellä.

4. Kodin energiahallintajärjestelmällä ohjataan energiaa käyttäviä laitteita tilannekohtaisesti. Järjestelmällä ohjataan automaattisesti kodin, mökin tai kiinteistön olosuhteita lämmitystarpeen mukaisesti ja se sopii parhaiten suorasähköllä toimiviin patteri, katto- tai lattialämmityksiin sekä ilmalämpöpumppeihin ja lämminvesivaraajiin. Järjestelmän tarkoitus on vähentää energian kulutusta, säästää sähkölaskuissa kuormanohjausten avulla sekä parantaa asumismukavuutta.
5. Avoimissa laajemmissa älykkäissä kotiautomaatiojärjestelmissä kaikki kodin elektroniikka on käyttöliittymän kautta ohjattavissa. Järjestelmällä on mahdollista ohjata lämmitystä, valaistusta, turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä, ilmanvaihtoa, viihdelaitteistoja, murtohälytystä sekä muita vastaavia järjestelmiä. Käytettävät sovellukset valitaan tapauskohtaisesti ja järjestelmään on mahdollista lisätä eri valmistajien laitteita.

Erilaisia kotiautomaatiojärjestelmiä on jo tällä hetkellä paljon saatavilla ja markkinoille ilmestyy jatkuvasti uusia toimijoita, jotka tuovat omia automaatio ratkaisuja markkinoille. Järjestelmät ovat toteutettu eri tavalla ja niissä on käytetty erilaisia teknologioita. Tässä kappaleessa käydään eri tarkoituksiin soveltuvia kotiautomaatioratkaisuja. Tarkastelun kohteena ovat ThereGate ja Optiwatti energiahallintajärjestelmät sekä Ouman-Plus kotiautomaatiojärjestelmä. Lisäksi käydään läpi Fortumin tarjoamat Fiksu ratkaisut ja lopuksi tarkastellaan vielä Cozifyn itse asennettavaa kotiautomaatioratkaisua. Itse asennettavissa kotiautomaatioratkaisussa ei ole mahdollista ohjata sähkölämmitykseen liittyviä kuormia, koska sähkölämmitykseen liittyvät asennustyöt on tehtävä sähköalan ammattilaisen toimesta Suomessa. Tuotetta ei siis toistaiseksi voida hyödyntää kotitalouksien kysyntäjoustossa.

ThereGate on Nokia HCC järjestelmän kehittyneempi kotiautomaatiojärjestelmä. There Corporation Oy on keskittynyt kotiautomaatiojärjestelmissään kodin energianhallintaan ja kysyntäjoustop hyödyntämiseen. Sen asiakkaat ovat pääsääntöisesti energiayhtiöt ja palveluntarjoajat. Sen päätarkoitus on ohjata lämmitystä ja tuoda säästöä lämmityskustannuksiin. Järjestelmän avulla on mahdollista tarjota aggregoituja lämmityskuormia kysyntäjoustop kautta sähkömarkkinoille. There Corporations tekee yhteistyötä energiayhtiöiden, HEMS palvelutuottajien ja laitevalmistajien kanssa kehittääkseen älykkäitä energiaratkaisuja ja uusia liiketoiminta malleja. Järjestelmään kuuluu ThereGate ohjausyksikkö, joka on osajärjestelmien kytkentäpiste ja sen avulla on mahdollista hallita kodinteknikkaa yhtenäisesti eri rajapintojen välillä. Järjestelmä käyttää Internetiä yhdistämään laitteet pilveen, josta se saa signaaleja sähköhinnasta ja säästä. Nämä tiedot yhdistetään sen jälkeen kodin olosuhdetietojen kanssa ja järjestelmä tekee ohjaukset näiden perusteella. Näin asiakkaan asumismukavuus pysyy korkealla ja sähkön kulutuksesta saa-

daan säästöä. Järjestelmän kehitysalusta on Linux-pohjainen ja siinä on avoimet rajapinnat ja ohjelmistopakettit. Kehitysalustan peruskomponentit ja palvelut ovat kaikkien ThereGate sovellusten käytettävissä. Kehitysalusta mahdollistaa myös uusien sovellusten kehittämisen sekä erilaisten laitteiden ja protokollien lisäämisen. ThereGate käyttää yleisimmin Z-Wave teknologiaa, mutta sillä on myös tuki M-Bus, ZigBee ja ModBus teknologioille. Langattoman ohjauksen ansiosta järjestelmä sopii uusiin ja vanhoihin rakennuksiin ilman kaapeli-asennuksia. Järjestelmän lämmitystä, sensoreita ja laitteita voidaan seurata ja ohjata etäkäyttöisesti tabletin, älypuhelimien ja tietokoneen avulla. Automaatiojärjestelmään on mahdollista lisätä lisälaitteita, kuten liiketunnistimia, kameroita, valoisuussensoreita, vesivuotosensoreita, savutunnistimia ja muita vastaavia laitteita. [43] [44] [45 s.2]

Theren kotiautomaatiojärjestelmällä on mahdollista automaattisesti ohjata kodin lämmitystä spot-markkina hintaan perustuen tunteihin, jolloin sähkön hinta on halpaa sekä järjestelmällä voidaan helposti seurata sähkönkulutusta. Järjestelmällä voidaan myös ohjata aurinkopaneeleita tuotannon optimoimiseksi ja se mahdollistaa tuotannon ylijäämän myymisen takaisin verkkoon. Järjestelmää voidaan käyttää ohjaamaan suoraa sähkölämmitystä, sähkökattilaa, öljypannua, jossa on myös sähkövastus käytössä sekä kaukolämpöä.

There Corporation Oy toimittaa järjestelmiään ainoastaan energiayhtiöille ja muille jälleenmyyjille. ThereGate 3.0 kustannukset on saatu pienennettyä noin kymmenesosaan tämän hetkisestä tuotteesta ja lanseerauksen jälkeen sitä myydään jälleenmyyjille 100 € / kotitalous. [55] Loppuasiakkaan kustannukset riippuvat jälleenmyyjien hinnoista ja osa toimittajista sitoo kotitalousasiakkaan määräaikaiseen sähkösopimukseen, jossa maksetaan palvelumaksua järjestelmänkäytöstä. ThereGaten energiahallintajärjestelmät maksavat karkeasti arvioiden kotitalousasiakkaille noin 1000 € asennusten kanssa.

Fortum Fiksu sähkölämmittäjälle on suunniteltu yhdessä There Corporationin kanssa. Kotiautomaatiojärjestelmällä ohjataan ja seurataan kodin suoraa sähkölämmitystä. Järjestelmä ohjaa sähkölämmitystä automaattisesti haluttuun lämpötilaan ja järjestelmään on mahdollista tallentaa eri tiloja, kuten kotona, poissa, yö ja pitkään poissa. Näillä parannetaan asumisen mukavuutta ja vähennetään energiankulutusta lämmityksessä. Yhden asteen pudotus sisälämpötilassa tuo noin 5% säästön lämmityskuluissa. Ohjausjärjestelmä hakee sääennusteen sekä spot-markkinahinnan vuorokauden jokaiselle tunnille ja ohjaa lämmityskuormat mahdollisimman edullisille tunneille ja näin saadaan säästöä, jos käytössä on tuntihintaan perustuva sähkösopimus. Järjestelmässä on myös mahdollista asettaa tavoitelämpötilalle vaihteluväli, jolla saadaan lisäsäästöä. Kohdetta lämmitetään vaihteluvälin ylärajalle, kun sähkön tuntikohtainen spot-hinta on alhainen. Vastaavasti jos spot-hinta on korkea, annetaan lämpötilan laskea vaihteluvälin alarajalle. Fortum Fiksu-järjestelmän tilauksen yhteydessä sähkösopimus vaihtuu tuntihintaan perustuvaan Fortum Tarkka-sähkösopimukseen. [47 s.1-2]

Järjestelmän asennuksen tekee Fiksu-asennuskoulutuksen saanut valtuutettu sähköasentaja. Järjestelmään asennetaan laitteita ohjaava There Corporationin valmistama ThereGate ohjausyksikkö. Ohjausyksikkö kerää yhteen tiedot optimaalisia ohjauksia varten ja näitä tietoja ovat sähkön tuntihinta, sääennuste, sähkönkulutusdata, lämpötila ja lämmityksen ohjausasetukset. Lisäksi järjestelmään asennetaan lämpömittari ja lämmityksen ohjauskytkimet. Asentaja kytkee lämmityksen ohjaukseen liittyvät ohjauskytkimet sähkökeskukseen ja valitsee lämpömittarille parhaan mahdollisimman paikan. Asennuksen jälkeen asentaja ja käyttäjä määrittelevät ohjausasetukset käyttöliittymän kautta älypuhelimella, tabletilla tai tietokoneella. Asiakas voi muuttaa asetuksia helposti myös jälleensä järjestelmän toiminnan parantamiseksi. Järjestelmä vaatii toimiakseen Internet-yhteyden, joka on jatkuvasti ohjausjärjestelmän saatavilla ja miniminopeus on 512 kB - 1 MB. Järjestelmä seuraa siihen kytkettyjen laitteiden toimintaa ja vikatilanteissa se lähettää varoitusviestin käyttäjälle. Fortum Fiksu toimii monissa erilaisissa kodeissa ja se voidaan asentaa myös vanhempiin kohteisiin. Sillä voidaan ohjata suoraa sähkölämmitystä (sähköpatterit, kattolämmitys), varaavaa tai osittain varaavaa lattialämmitystä (ei vesikiertoista), käyttöveden lämmitystä vesivaraajassa sekä ilmalämpöpumppua. Sähkönkulutusta ja sen kokonaiskustannuksia eri aikajaksoilla voi helposti seurata ja saada tarkempaa tietoa energiankulutuksesta ja kustannuksista eri vuorokauden tai vuodenaikoina. [47 s.1-5]

Lattialämmitystä ohjataan automaattisesti sähkön tuntihintaan, sääennusteeseen ja käyttäjän asetusten mukaan. Varaavalle lattialämmitykselle asetetaan tarvittavien lämmitystuntien määrä ja maksimiaika, jonka lattialämmitys voi olla yhtäjaksoisesti pois päältä. Varaavaa tai osittain varaavaa lattialämmitystä voidaan ohjata kahdella eri tavalla riippuen kodin ja lattian lämmön varauskyvystä. Jatkuvalla lämmityksellä järjestelmä lämmittää vuorokauden yhdeksällä edullisimmalla tunnilla niin, että lattiaa lämmitetään vähintään kuuden tunnin välein. Toinen tapa on lattian varaaminen yösähköllä, jolloin lämmitys ohjautuu vain vuorokauden (yleensä yön) halvimmille tunneille ja lattian lämmitys voi olla pois päältä 15 tuntia yhtäjaksoisesti. Fortum Fiksu ohjaa käyttövesivaraajaa automaattisesti sähkön tuntihinnan ja asentajan tekemien asetusten perusteella. Varaajan tiedoista järjestelmä laskee tarvittavien lämmitystuntien määrän käyttöveden lämmittämiseksi ja lämmitys tapahtuu yleensä aamuyön tunneilla, jolloin sähkö on tyypillisesti edullisinta. Ilmalämpöpumppua ohjataan kodin eri tilojen (kotona, poissa, yö ja pitkään poissa) tavoitelämpötilan perusteella. Koska ilmalämpöpumpulla on parempi hyötysuhde verrattuna muuhun sähkölämmitykseen, sitä kannattaa aina käyttää ensisijaisesti lämmitykseen. Ilmalämpöpumpun ensisijainen käyttö varmistetaan asettamalla sen asetustempotila yhtä astetta korkeammaksi kuin suoralle sähkölämmitykselle. [47 s.3]

Fortum Fiksu öljylämmittäjälle on järjestelmä, joka on myös suunniteltu yhdessä There Corporationin kanssa ja se seuraa kodin öljylämmitystä. Järjestelmä on tarkoitettu asuntoihin, joissa on käytössä öljylämmitteinen vesivaraaja. Periaate on muuten sama kuin Fortum Fiksu sähkölämmittäjälle, mutta tässä ohjausjärjestelmä ohjaa lämmityskattilaa

joko sähkö- tai öljylämmitykselle, riippuen siitä, kumpi on lämmityshetkellä edullisempi vaihtoehto. [48 s.1]

Fortum Fiksu kotiautomaatiojärjestelmiä on mahdollista laajentaa Fortum Fiksu lisälaitteilla. Liiketunnistin havaitsee liikkeet valvonta-alueella ja asiakas saa tiedon halutessaan liikkeistä esimerkiksi puhelimeen. Etäohjattavan sähkökytkimen kanssa voidaan ohjata valaistusta päälle tai pois tapahtuvan liikkeen mukaan. Järjestelmään voidaan lisätä myös erilaisia kytkimiä, joilla voi kytkeä laitteita päälle tai pois joko etänä tai automaattisella ajastuksella. Sähkönkulutusmittarilla varustetuilla kytkimillä voidaan lisäksi seurata laitteen sähkönkulutusta. Muita lisälaitteita ovat ovi/ikkunatunnistin, sisälämpömittarit ja ulkolämpömittarit. [46]

Optiwatti päivittää kotien, mökkien sekä suurten kiinteistöjen vanhalla sähkölämmityksen nykyaikaiseksi ja sillä saavutetaan säästöjä energian kulutuksessa ja parannetaan asuinmukavuutta. Älykkäällä ohjauksella voidaan ohjata suoralla sähkölämmityksellä toimivia patteri-, lattia- ja kattolämmityksiä, lämminvesivaraajia, ilmalämpöpumppuja sekä auton lämmitystä. Optiwatilla voidaan myös valvoa vesivuotoja. Optiwatti on langaton järjestelmä, joka yhdistää kaikki erikseen säädettävät lämmityslaitteet yhteen käyttöliittymään, jossa lämmitystä voidaan säätää huonekohtaisesti tai koko kiinteistön osalta. Ohjaus tapahtuu internetin kautta, mikä mahdollistaa etähallinnan tabletilla, älypuhelimella tai tietokoneella ja ohjaukset suoritetaan tuntikohtaisesti. Järjestelmän tietoliikenneyhteydet ovat suojattu salaustekniikalla, jota hyödynnetään pankeissa. Optiwatti oppii miten huone reagoi lämmitykseen ja näin saadaan optimoitua huonekohtainen lämmitys oikeaan aikaan ja varmistettua oikea lämpötila haluttuun ajankohtaan. Optimoinnissa otetaan huomioon myös sääennuste, ulkolämpötila sekä sähkön tuntihinta spot-markkinoilla. Tuntihintaisella pörssisähkösopimuksella saadaan säästöä, kun lämmitys ohjataan automaattisesti edullisimmille tunneille. Optiwatin valtuuttama sähköurakoitsija suorittaa laitteiston asennuksen nykyisen lämmitysjärjestelmän oheen. Laitteisto koostuu keskusyksiköstä (ohjaa lämmitystä ja muodostaa internet yhteyden), releistä (lämmityslaitteiden ohjaus), antureista (huoneen lämpötilan ja ilmankosteuden mittausta) sekä vuotovahdeista (hälyttävät vesivuodoista). Laitteistossa on myös ilmalämpöpumpun ja lämminvesivaraajan ohjaimet. Jos huoneen lämpötila tai ilmankosteus poikkeaa käyttäjän asettamista rajoista Optiwatti antaa myös hälytyksen käyttäjälle. Optiwatin internetsivuilla luvataan, että huonekohtaisella lämmityksellä voidaan säästää jopa 40% lämmityskuluissa ja tulos on saatu Motivan Elvari-tutkimuksessa ja useissa Optiwatti-kohteissa. [49]

Optiwatti järjestelmän hintaan vaikuttavat ohjattavien huoneiden määrä ja maksun suoritustapa. Järjestelmä viidelle huoneelle maksaa asennuksineen kertamaksulla 1600 €. Järjestelmästä peritään myös 5 € kuukausimaksu joka kuukausi. Järjestelmällä voidaan myös ohjata ilmalämpöpumppuja ja se lisää kustannuksia 250 eurolla. [56]

Ouman kotiautomaatiojärjestelmiä ovat EH-60, Ouman-Plus ja Ouman-Plus-C. Kaikissa näissä järjestelmissä on mahdollisuus kauko-ohjata ja valvoa sähkölämmitystä ajasta ja

paikasta riippumatta, joten ne soveltuvat kysyntäjoustop hyödyntämiseen. Ouman tuotteet ovat luotettavia, eikä niiden käytöstä aiheudu erillisiä lisenssimaksuja. Ouman käyttää EH-net palvelinta, joka mahdollistaa Ouman säätö- ja ohjausjärjestelmien etäkäytön internetselaimella. Laitteet liitetään Modbus-kenttäväylällä ja Eh-nettiin voidaan liittää myös muiden valmistajien laitteita, jotka tukevat Modbus-protokollaa. Oumanin laitteissa käytetään RS-485 väylää, joka on kaksisuuntainen järjestelmä, jossa lähettäjän ja vastaanottajan roolit vaihtelevat. Väylässä voi lähettää tietoa yksi laite kerrallaan ja muut laitteet kuuntelevat. RS-485 väylän kaapeloinnissa käytetään kierrettyä parikaapelia. Toista väyläkaapelin pareista käytetään signaalin siirtoon ja toisella parilla yhdistetään väylässä olevien laitteiden signaalimaat yhteen. Väylän rakenne on ketjumainen eli kaapeli kiertää laitteelta toiselle ja väylän maksimipituus on 1200m. Oumanin laitteet ja järjestelmät tukevat myös LON-protokollaa tiedonsiirrossa. Seuraavassa kappaleessa on käsitelty Ouman-Plus kotiautomaatiojärjestelmää tarkemmin. [50 s.3] [51 s.3]

Ouman Plus kotiautomaatiojärjestelmä toimii automaattisesti kodin eri tilanteiden mukaan ja se yhdistää lämmityksen, turvatekniikan, ilmanvaihdon ja muut talotekniset ohjaukset ja säädöt yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmän tarkoitus on lisätä asumismukavuutta, turvallisuutta sekä säästää energiankulutuksessa. Esimerkiksi kodin ollessa tyhjiään järjestelmä ohjaa automaattisesti valittuja toimintoja, kuten valitut valot ja sähköpisteet menevät pois päältä, murtovalvonta aktivoituu, lämmitys- ja ilmastointiteho pienenevät ja pääventtiili sulkeutuu. Vaaratilanteissa esimerkiksi palovaroittimen hälyttäessä järjestelmä kytkee automaattisesti ilmastoinnin pois päältä ja häikävaroitimen lauetessa ilmastointi vastaavasti ohjautuu täydelle teholle. Vesivahingoissa vesivuotoilmäisimien hälyttäessä järjestelmä sulkee päävesijohdon. [53 s.2-3]

Ouman Plus soveltuu lämmitysjärjestelmiin, joissa on joko vesikeskus- tai sähkölämmiteinen lattia- tai patterilämmitys. Älykäs ohjaus integroi ilmanvaihdon ja lämmityksen yhdeksi kokonaisuudeksi, jolla säästetään energiaa. Lämmityksen ohjaukseen vaikuttavat ulkolämpötila, vuorokaudenaika ja tilanneohjaus (kotona, poissa, yö, pitkään poissa ja tulossa kotiin). Lämmitysjärjestelmää voidaan myös ohjata ajastamalla viikko-, vrk-, kello-ohjelmilla sekä poikkeuskalenterilla (vuosiohjelma). Ouman Plus-järjestelmässä voidaan ohjata lämpötilaa huonekohtaisesti Modbus-väylään kytketyillä näytöllisillä Ouman TCR-10 huoneyksiköillä. Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä ohjataan menoveden lämpötilaa huoneyksikön välittämään informaatioon perustuen. TCR-10 on älykäs huoneyksikkö, jolla voidaan seurata ja ohjata huoneiden lämpötilaa sekä tehostaa ilmanvaihtoa ja vaihtaa kodin tilanneohjauksen yö-tilaan. Ouman Plus järjestelmään voidaan liittää maksimissaan kahdeksan huoneyksikköä. [52 s.1] [53 s.2]

Ouman Plus järjestelmässä on tekstiviestikäyttö, jonka avulla voidaan lukea mittaus- ja kulutustietoja, tarkistaa turvatilanne ja vaihtaa tilanneohjausta. Murto-, palo- tai vesivuotohälytyksissä järjestelmä lähettää viestin ennalta määritettyihin numeroihin. Lisäksi järjestelmä antaa tiedon sähkökatkoista ja poikkeavista tilanteista. Tekstiviesteillä tapahtuva

etäohjaus ja hälytysten vastaanotto tapahtuu järjestelmään liitetyn GSM-modeemin välityksellä. Etäkäyttö voidaan myös toteuttaa Android-sovelluksella Android-pohjaisilla matkapuhelimilla ja tableteilla. Android-sovellus on ladattavissa Google play:stä ilmaiseksi ja sillä voidaan myös lukea mittaustietoja, muuttaa tilanneohjauksia ja asetusarvoja sekä vastaanottaa ja kuitata hälytyksiä. Tilanneohjauksia kotona tai poissa voidaan myös muuttaa avaimenperäohjauksella. [53 s.3]

Ouman Plus -toimitussisällön lähtöhinta asennusvalmiina on 3100 € sisältäen alvin 24% ja sisältöön kuuluvat lisälaitteet, kuten älykkäät huoneyksiköt, palovaroittimet, liikeilmaisimet, ovikoskettimet, vesijohtoventtiili ja sen toimimoottori. Järjestelmän keskusyksikkö asennetaan teknisiin tiloihin ja liitetään talotekniikan kanssa yhdeksi kokonaisuudeksi. Järjestelmässä on yksi käyttöliittymä ja -logiikka ja järjestelmää voidaan laajentaa asennuksen jälkeen tarvittaessa. [53 s.3-4]

Cozify on Suomessa valmistettu kotiautomaatioratkaisu, joka yhdistää erilaiset älykkäät laitteet yhdeksi kokonaisuudeksi. Automaatioratkaisun keskusyksikkönä toimii Cozify Hub, joka on yhteydessä Internetiin ja Internetin välityksellä ohjaus tapahtuu tablettiin tai älypuhelimien asennettavan appiksen avulla. Cozify automaatioratkaisu tarvitsee toimiakseen wifi-reitittimen, älypuhelimien tai tabletin, Cozify hubin sekä asiakkaan haluat älylaitteet. Keskusyksikkö löytää automaattisesti kaikki sen tukemat laitteet kotiverkossa. Cozify Hubiin liitettäviä älylaitteita ovat pistorasiat, lamput, langattomat kaiuttimet, katkaisimet, kamerat sekä erilaiset tunnistimet (liike, ovi/ikkuna, lämpötila, kosteus, vesivuoto, savu ja muut vastaavat tunnistimet). Cozify tukee esimerkiksi Osram Lightify, Belkin WeMo, Sonos ja Philips Hue laitteita ja sen yhteysmahdollisuuksia ovat WiFi, Zigbee, Bluetooth LE 4.0, 433MHz ja Z-Wave radiot. Kotiautomaatioratkaisua voidaan laajentaa helposti lisäämällä laitteita, jotka keskittyvät enemmän turvallisuuteen ja asuinmukavuuteen, eikä sillä esimerkiksi pystytä ohjaamaan kodin lämmitystä. Kotiautomaatioratkaisussa ei ole lämmityksen ohjausta, koska tuotteen itse asennus ja käyttöönotto halutaan pitää asiakkaalle helppona ja sähkölämmitykseen liittyvät asennustyöt on tehtävä sähköalan ammattilaisen toimesta Suomessa. Tuotetta ei siis toistaiseksi voida hyödyntää kotitalouksien kysyntäjoustossa. Cozify Hub keskusyksikkö maksaa 249 €. [54]

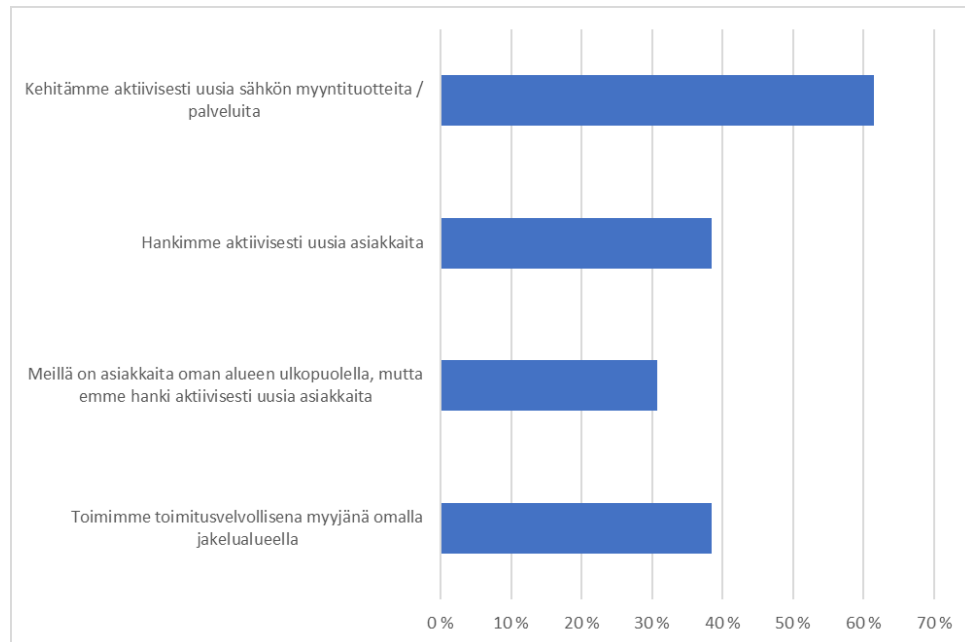
5. SÄHKÖNMYYNTIYHTIÖ KYSELY

Sähkönmyyntiyhtiöiden tämän hetkisiä kysyntäjoukseen liittyviä palveluita ja näkemyksiä kartoitettiin kyselytutkimuksella, joka toteutettiin Google Formsilla (Kyselylomake on liitteessä A). Lisäksi kyselyssä selvitettiin myyntiyhtiöiden kotiautomaatioon sekä pientuotantoon liittyviä palveluita. Osa kysymyksistä valittiin samoiksi kuin 2014 toteutetussa sähkönmyyntiyhtiö kyselyssä, joka oli osa DR-poolin tutkimusprojektikonaisuuksista: ”Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkko-yhtiöille” [7]. Samojen kysymysten vastauksilla saatiin vertailupohjaa siitä, miten myyntiyhtiöiden tarjoamat palvelut ja näkemykset ovat kehittyneet muutamassa vuodessa. Kysely lähetettiin yli 50 sähkönmyyntiyhtiölle ja kahdella kyselykierroksella saatiin eri myyntiyhtiöiltä vastauksia 13 kpl. Vastaajien joukossa on pieniä, keskikokoisia ja suuria yhtiöitä ja yhteenlaskettu asiakasmäärä on noin 0,6 miljoonaa (noin 20 % kaikista asiakkaista). Vastanneiden yhteenlaskettu vuosimyynti on noin 9000 GWh/a. Kyseessä on kuitenkin karkea arvio asiakasmäärästä ja vuosimyyntistä, koska osa vastanneista jättivät asiakasmäärä ja vuosimyynti kohtaan vastaamatta.

Sähkönmyyntiyhtiöiden vastauksissa nousee esille suuri hajonta vastanneiden kesken ja useimmissa kohdissa vastaajien välillä ei ole yhtenäistä näkemystä kysyntäjoukseen liittyvistä asioista. Suureen hajontaan voi vaikuttaa yhtiöiden koko, strategiat ja käytettävissä olevat resurssit kysyntäjoustopalveluiden tutkimiseen ja toteutukseen. Tässä luvussa käydään läpi sähkön myyntiyhtiöiden vastauksia ja verrataan niitä neljä vuotta sitten toteutettuun sähkönmyyntiyhtiökyselyyn.

5.1 Sähkönmyyntiyhtiöiden toimintaan ja asiakkaiden sähkön ostoon liittyvät vastaukset

Kyselyn alussa kartoitetaan vastanneiden yhtiöiden sähkönmyyntitoimintaa, sähkönhankinnan jakautumista ja millä markkinapaikoilla vastanneet toimivat. Kysymyksillä haluttiin selvittää vastanneiden yhtiöiden tilannetta ja toimintaa. Kuvasta 18 nähdään, että vastanneista noin 60 % kehittävät aktiivisesti uusia sähkön myyntituotteita ja palveluita sekä noin 40 % vastanneista hankkivat aktiivisesti uusia asiakkaita. Sähkönhankinta jakautuu suurimmalla osalla vastanneista niin, että omaa tuotantoa on 10-33 % ja pieni osa ostetaan OTC-markkinoilta ja loput sähköpörssistä. Yksi vastanneista hankki sähkön pääosin omalla tuotannolla ja tarvittaessa osan sähköpörssistä. Kaksi vastanneista hankki sähkönsä kokonaan sähköpörssistä ja yksi vastanneista OTC-markkinoilta 1 % omaa tuotantoa lukuun ottamatta. Vastanneista 83 % toimii elspot-markkinalla, 67 % elbas-markkinalla, kolmannes säätösähkömarkkinoilla ja neljännes reservimarkkinoilla. Lisäksi yksi vastaajista aloittaa toimintansa reservimarkkinoilla tämän vuoden puolella.

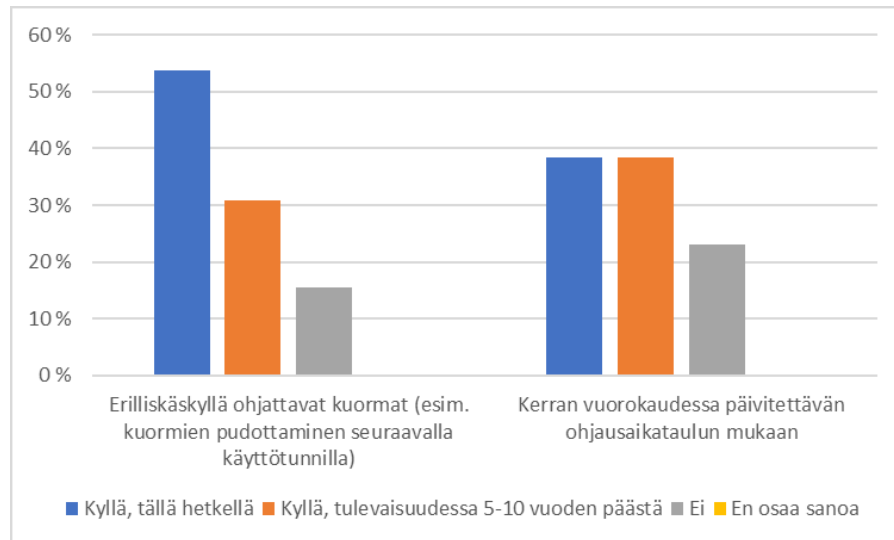


Kuva 18. Vastaukset kysymykseen ”Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten sähköntoimintanne?”.

Vastausten mukaan suurin osa pienasiakkaista määrällisesti ostaa sähkönsä 1-aikaisella tuotteella (ns. yleissähkö) ja vähän alle kolmannes ostaa sähkönsä 2-aikaisella tuotteella (ns. aikasähkö tai kausisähkö). Vastausten keskiarvo 1-aikaiselle tuotteelle on 65,9 % ja 2-aikaiselle tuotteelle 27,6 %. Vastanneista 92,3 % on jo käytössä spot-hintaan ja tuntimittaukseen perustuva tuntituote. Vain pieni osa asiakkaista kuitenkin ostaa sähkönsä tuntihinnoitteluun pohjautuvalla tuotteella ja suurin osa vastanneista arvioi määräksi 1-5 %. Spot-hintaan perustuvan myyntituotteen vaikutusta asiakkaiden kulutuskäyttäytymiseen tai tuntitehoihin kalliimpien tuntien aikana on vaikeaa arvioida, koska asiakasmäärät ovat vielä pieniä. Vastausten mukaan vaikutus on vähäistä tai sitä on vielä vaikea havaita ollenkaan ja tarkempia tutkimuksia kulutuskäyttäytymiseen ei ole vielä kannattavaa tehdä asiakasmäärien vuoksi.

5.2 Kuormien ohjaamiseen tarve ja kotiautomaatiojärjestelmiin liittyvät vastaukset

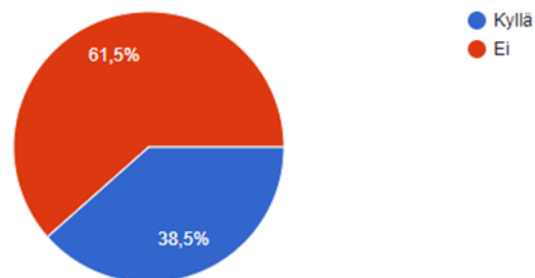
Vastaajista noin puolet näkevät tällä hetkellä tarvetta erilliskäskyllä ohjattavien kuormien ohjaamiselle ja noin 40 % vastanneista kerran vuorokaudessa päivitettävän ohjausaika- taulun mukaan ohjattaville kuormille. Noin kolmannes vastaajista näkee tarvetta kuormien ohjaamiselle tulevaisuudessa. Joukossa on myös yhtiöitä, jotka eivät näe kuormien ohjauksia tarpeellisena oman liiketoimintansa kannalta. Kuvassa 19 on esitetty vastaukset kysymykseen ”näettekö tarvetta asiakkaidenne kuormien ohjaamiselle?”.



Kuva 19. Vastaukset kysymykseen ”näettekö tarvetta asiakkaidenne kuormien ohjaamiselle”.

Kuvasta 20 nähdään, että vastanneista noin 40% tarjoaa kotitalousasiakkaille palveluita, jotka mahdollistavat tuntipohjaisen spot-tuotteen pohjalta asiakkaan kysyntäjoustopuolelta. Näitä palveluita ovat erilaiset kodinohjausjärjestelmät ja laiteratkaisut, jotka sisältävät automatiikkaa. Kaksi vastaajista kehittää näitä palveluita ja heillä on eri teknologioiden testauksia ja pilotoiteja käynnissä. Yksi vastanneista aloittaa yhteistyön älykkäitä kodinohjausjärjestelmiä tarjoavan yhtiön kanssa. Vastanneista yhdellä yhtiöllä on mahdollisuus tarjota palveluita kotitalousasiakkaille, jotka mahdollistavat kysyntäjoustopuolelta myös säätö- ja reservimarkkinoille. Myös neljällä muulla yhtiöllä on kehitteillä ratkaisut, joilla kuormia voidaan tarjota säätö- ja reservimarkkinoille.

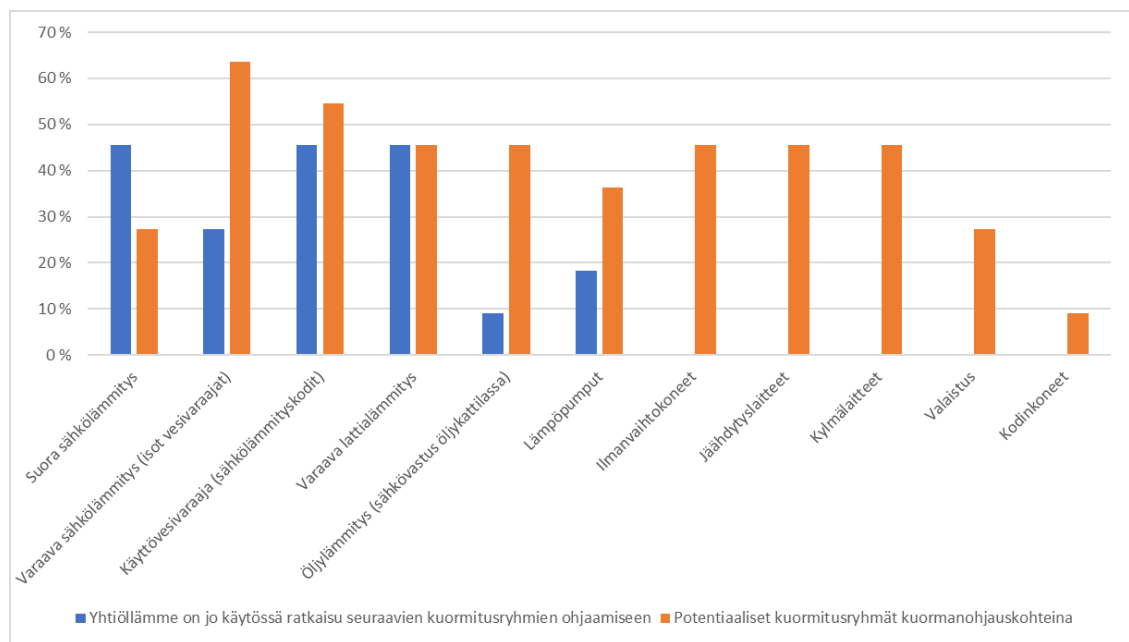
13 vastausta



Kuva 20. Vastaukset kysymykseen ” Tarjoaako yhtiönne palveluita kotitalousasiakkaille, jotka mahdollistavat tuntipohjaisen spot-tuotteen pohjalta asiakkaan kysyntäjoustopuolelta?”.

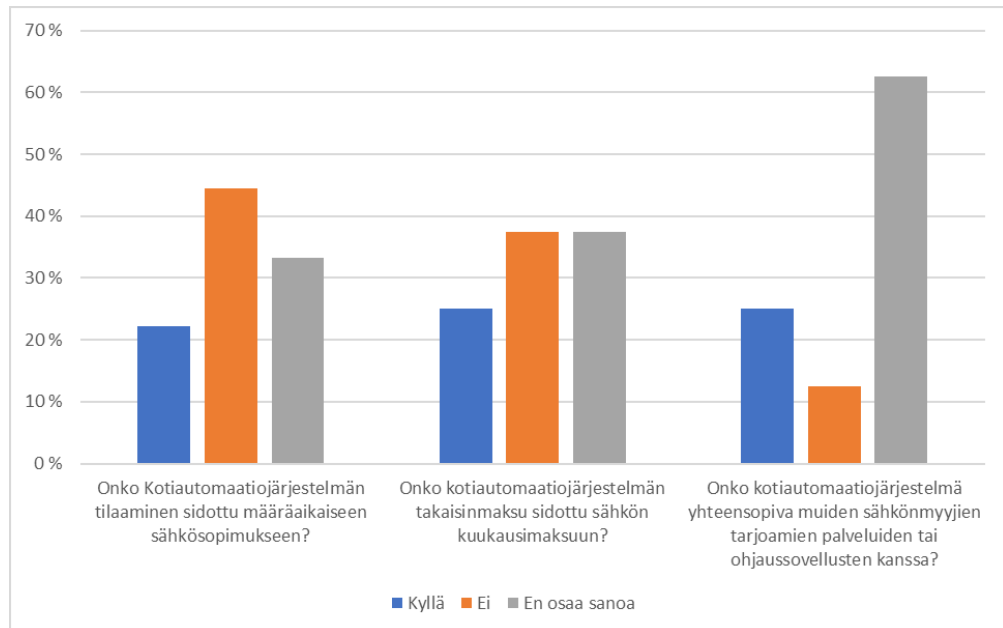
Vastauksia saatiin 11 kysymykseen ”Tarjoaako yhtiönne kotiautomaatioratkaisuja (HEMS) suoraan tai jonkin yhteistyökumppanin kautta seuraavien kuormitusten ohjaukseen? Jos ei, niin mitkä asiakkaan kuormitukset näette potentiaalisina vaihtoehtoina?”.

Potentiaalisimpina ohjattavina kuormitusryhminä pidetään suoraa sähkölämmitystä, varaavaa sähkölämmitystä (isot vesivaraajat), käyttövesivaraajaa (sähkölämmityskodit) sekä varaava lattialämmitystä. Noin puolet pitää myös öljylämmitystä (sähkövastus öljykattilassa), lämpöpumppuja, ilmanvaihtokoneita, jäähdytyslaitteita ja kylmälaitteita potentiaalisina ohjauskohteina. Kuvasta 21 nähdään, että noin 45 % vastanneista on jo kotiautomaattioratkaisu suoran sähkölämmityksen, käyttövesivaraajan ja varaavan lattialämmityksen ohjauksille. Lisäksi osa vastanneista voivat tarjota ratkaisuja varaavan sähkölämmityksen, öljylämmityksen ja lämpöpumppujen ohjauksiin. Yhdellä vastanneista on jo kotiautomaattioratkaisu käytössä, joka täyttää kuormien ohjausvaatimukset, jotka on asetettu reservimarkkinoille. Myös neljä muuta yhtiötä kehittävää ratkaisuja, jotka mahdollistavat kotiautomaation hyödyntämisen reservimarkkinoilla.



Kuva 21. Vastaukset kysymykseen ” Tarjoaako yhtiönne kotiautomaattioratkaisuja (HEMS) suoraan tai jonkin yhteistyökumppanin kautta seuraavien kuormitusten ohjaukseen? Jos ei, niin mitkä asiakkaan kuormitukset näette potentiaalisina vaihtoehtoina? ”.

Kyselyssä pyrittiin myös selvittämään, että sitouttaako kotiautomaatiojärjestelmän (HEMS) ostaminen asiakkaan tiettyyn sähkösopimukseen, kun järjestelmän tilaus tapahtuu sähkönmyyntiyhtiön tai yhteistyökumppanin kautta. Kuvasta 22 nähdään, että noin neljännes tilatuista kotiautomaatiojärjestelmistä on sidottu määräaikaiseen sähkösopimukseen tai sähkön kuukausimaksuun. Määrä voi olla myös suurempi, koska noin kolmannes vastasi, ettei osaa sanoa. Kuvasta 22 nähdään, että vastaajista yli 60 % ei osannut sanoa, onko kotiautomaatiojärjestelmä yhteensopiva muiden sähkönmyyjien tarjoamien palveluiden tai ohjaussovellusten kanssa, joten on vaikea tehdä johtopäätöksiä yhtiöiden tarjoamien kotiautomaatiojärjestelmien yhteen sopivuudesta.



Kuva 22. Vastaukset kysymykseen ” Asiakkaan sähkö sopimus kotiautomaatiojärjestelmän (HEMS) tilauksen yhteydessä.”.

Asiakkaille, joilla on jo valmiiksi asennettuna kotiautomaatiojärjestelmä, jossa on kuormien ohjausratkaisu valmiina, vain yhdellä vastanneista on mahdollisuus tarjota sähkö sopimuksia kysyntäjoustopuolelle edistämiseksi. Vastaajalla on käytössä sovellus kuormien ohjaamiseen, joka on yhteensopiva useiden eri kotiautomaatiojärjestelmien kanssa ja noin 25% vastaajista on kehittämässä ratkaisua tähän liittyen.

5.3 Kysyntäjoustopuolelle liittyvät vastaukset

Kyselyssä pyrittiin myös kartoittamaan, kuinka paljon kotitalousasiakkailta on ohjattavissa olevaa kuormaa käytössä ja ohjattavien asiakkaiden määrää. Vastauksia saatiin kahdeksan ja ohjattavissa oleva tehon määrä vaihteli 1-50 MW välillä. Ohjattavan tehon määrään vaikuttavat yhtiöiden koko ja asiakasmäärät. Yhteenlaskettu ohjattava teho on vähän yli 100 MW. Asiakkaiden määrään koskevaan kysymykseen saatiin vain muutama vastaus, joten sen tuloksia ei ole järkevää tarkastella. Tyypillinen ohjattavien kuormitusten koko on 2-5 kW luokkaa. Kuormien ohjauskäskyjen aikaviive yksittäisellä asiakkaalla on vastausten perusteella yleensä muutamia sekunteja ja yhdellä vastanneista minuutteja. Minuuttien aikaviivettä ei ole suunniteltu kysyntäjoustopuolelle, mutta kuormien ohjaus kuitenkin onnistuu.

Kyselyn yhtenä tarkoituksena on selvittää sitä, minkä suuruinen massa tarvitaan kysyntäjoustopuolelle, jotta sähkömyyntiyhtiöt lähtevät kehittämään aktiivisesti kysyntäjoustopuolelle kotitalousasiakkaille. Kysyntäjoustopuolesta kiinnostuneiden asiakkaiden määrä vaihtelee 200-2000 asiakkaan välillä ja keskiarvo on noin 850 asiakasta. Kolme vastanneista ei antanut asiakasmäärää, mutta yhtiöillä on jo tarvittava kotitalousasiakasmäärä kysyntäjoustopalveluiden kehittämiseen. Ohjattavan kuorman määrä vaihteli 1-5 MW välillä ja yhdessä vastauksista käy ilmi, että aggregoinnin tulee olla kunnossa ja kuormaa on oltava

riittävästi reservimarkkinoille. Vuotuinen nettohyöty euroina vaihteli yhtiöiden kesken. Osalla yhtiöistä riitti, että kysyntäjoustotuotteista päästään plussan puolelle ja osalla yhtiöistä hyöty vaihteli 25 000-100 000 €/a välillä. Myös osa yhtiöistä vastasi, ettei tässä vaiheessa ole vielä määritellyt tarvittavaa nettohyötyä.

Kuormanohjaus nähdään potentiaalisena työkaluna erityisesti suojautumiseen hintapiikeiltä, asiakkaiden sitouttamiseen ja uusien myyntituotteiden luomiseen. Taulukosta 4 nähdään, että vastauksissa on selvästi havaittavissa suurta hajontaa yhtiöiden välillä. Lähes kaikki vastausvaihtoehdot ovat saaneet kannatusta ja jokaisessa kohdassa osa vastaajista näkee vaihtoehdon erittäin potentiaalisena ja osa ettei vaihtoehdolla ole potentiaalia lainkaan.

Taulukko 4. *Vastaukset kysymykseen ” Kuinka potentiaalisena työkaluna näette kuormien ohjauksen ja siihen liittyvät toiminnot liiketoiminnassanne seuraaviin tarkoituksiin? (Olettaen, että infrastruktuuri mahdollistaa myyntiyhtiön toteuttamat kuormien ohjaukset)”*.

	0	1	2	3	4	5	Ka.
Suojautuminen spot-markkinoiden hintapiikeiltä (kuormien ohjaus kalliimmilta tunneilta edullisempiin tunteihin)	2	1	0	1	4	5	3,46
Ohjattavan kapasiteetin hyödyntäminen säätö- ja reservimarkkinoille	2	1	1	3	4	2	2,92
Suojauksen varmentaminen sähkön hankinnoissa (kuormien ohjaus, jos suojauksen taso on alhainen)	2	3	4	1	2	1	2,08
Kulutustaseen hallinta (Kuormien ohjaus, kun tasevirhettä on syntymässä)	1	2	1	5	2	2	2,85
Asiakkaiden sitouttaminen	2	0	2	3	4	2	3,00
Uusien myyntituotteiden luomiseen (tuotedifferointi)	1	1	2	2	5	2	3,15
Kotiautomaatiolaitteiden (HEMS) myyminen asiakkaalle	2	0	2	7	1	1	2,62

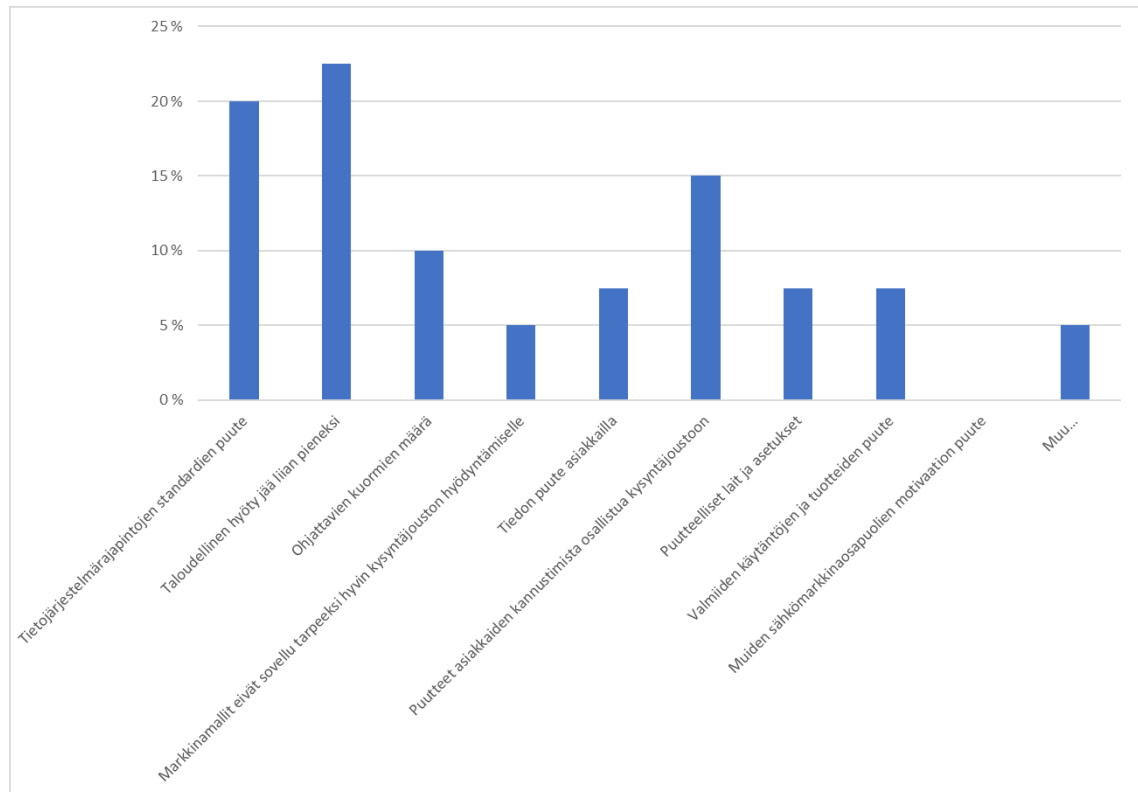
Kyselyssä haluttiin saada myös sähkönmyyntiyhtiöiden näkemystä muihin toimintaympäristönmuutoksiin. Eri yhtiöiden vastauksissa on taas havaittavissa hajontaa. Taulukosta 5 nähdään, että merkittävimmäksi asiaksi nähdään Datahub ja vähiten kannatusta on saanut määräykset koskien energiatehokkuutta ja sähkön varastointi.

Taulukko 5. *Vastaukset kysymykseen ” Kuinka merkittävänä näette seuraavat asiat yhtiönne toiminnan kannalta seuraavien 5-10 vuoden aikana?”*.

	0	1	2	3	4	5	Ka.
Asiakkaiden oma pientuotanto	0	1	4	1	3	4	3,38
Sähkön varastointi	0	3	4	1	5	0	2,62
Hintaperusteinen kysyntäjousto (asiakkaat reagoivat hintasignaaleihin)	0	2	2	3	4	2	3,15
Kuormien etäohjaukseen perustuva kysyntäjousto	1	1	2	2	4	3	3,23
Sähköautot	0	1	3	4	3	2	3,15
Datahub (keskitetty tiedonvaihto sähkömarkkinoilla)	0	0	2	3	5	4	4,08
Myyjävetoinen markkinamalli	0	1	3	2	4	3	3,38
Asiakkaiden asennemuutokset (energiansäästö, vihreät arvot)	0	3	2	2	4	2	3,00
Määräykset koskien energiatehokkuutta	1	2	1	6	3	0	2,62

Kyselyssä kartoitetaan myös sähkönmyyntiyhtiöiden näkemyksiä siitä, miten kysyntäjousto vaikuttaa yhtiön toiminnan riskeihin. Suurin osa vastaajista näkee, että kysyntäjoustolla voidaan pienentää toiminnan riskejä. Vastauksissa esille tulleita erilaisia riskejä ovat: hintariski, volyyimiriski, poliittinen riski ja kysyntäriski. Hintariski tarkoittaa tukkuhinnan aiheuttamaa riskiä, volyyimiriski sähkönhankinnan ja myynnin eron aiheuttamaa riskiä eli tasehallintaan liittyvää riskiä ja kysyntäriski asiakasmäärän epävarmuuden aiheuttamaa riskiä. Vastauksissa tuodaan esille asioita kysyntäjoustopotentialin vaikutuksesta tasehallintaan. Osa vastaajista on sitä mieltä, että kysyntäjoustopotentialilla voidaan pienentää riskiä, jos käytössä on reaaliaikainen tieto asiakkaiden kulutuksesta ja mahdollisuus ohjata kuormia. Vastauksissa on myös mainittu kysyntäjoustopotentialin lisäävän myyjän riskiä silloin, kun on monta eri toimijaa ohjaamassa kuormia, niin se sekoittaa taseita ja hankaloittaa tasehallintaa. Yksi vastaajista koki suurimpana riskinä poliittisen riskin, koska vakiintuneita tapoja ja säädäntöjä ei vielä ole, niin uskaltaako päätöksiä tehdä investoinneista, kun ei voi olla vielä varma käytettävästä teknologiasta muutaman vuoden päästä. Vastauksissa tuli myös esille, että kun joustopotentialia voidaan hyödyntää optimaalisimmalla tavalla, on mahdollista pienentää riskiä sähkömarkkinoilla ja siitä saadaan työkalu tasehallintaan. Yksi vastanneista näkee kysyntäriskin lisääntyvän, jos yhtiö ei kykene tarjoamaan kysyntäjoustopalvelua asiakkaille ohjausjärjestelmien yleistyessä.

Myyntiyhtiökyselyn mukaan suurimmat esteet kysyntäjoustopotentialin laajamittaiselle hyödyntämiselle, jotka tulisi ensisijaisesti ratkaista ovat tietojärjestelmärajapintojen standardien puute, taloudellinen hyöty jää liian pieneksi sekä puutteet asiakkaiden kannustimista osallistua kysyntäjoustopotentialiin. Loput vaihtoehdoista on saanut suhteellisen tasaisesti kannatusta lukuun ottamatta muiden sähkömarkkinaosapuolien motivaation puutetta joka ei saanut yhtään kannatusta. Kaksi vastausta saatiin myös muu vaihtoehto kohtaan ja toinen vastauksista tuo esille epätiedon siitä, että löytyykö seuraavan sukupolven mittareista enää kuormanohjausrelettä ollenkaan ja toinen muu kohtaan vastannut näkee vaihtoehdoista ainoaksi esteeksi ongelman löytää riittävästi asiakkaita kysyntäjoustopotentialin hyödyntämiseksi.



Kuva 23. Vastaukset kysymykseen ” Mitkä ovat mielestänne suurimmat esteet kysyntäjoukon laajamittaiselle hyödyntämiselle, jotka tulisi ensisijaisesti ratkaista? ”.

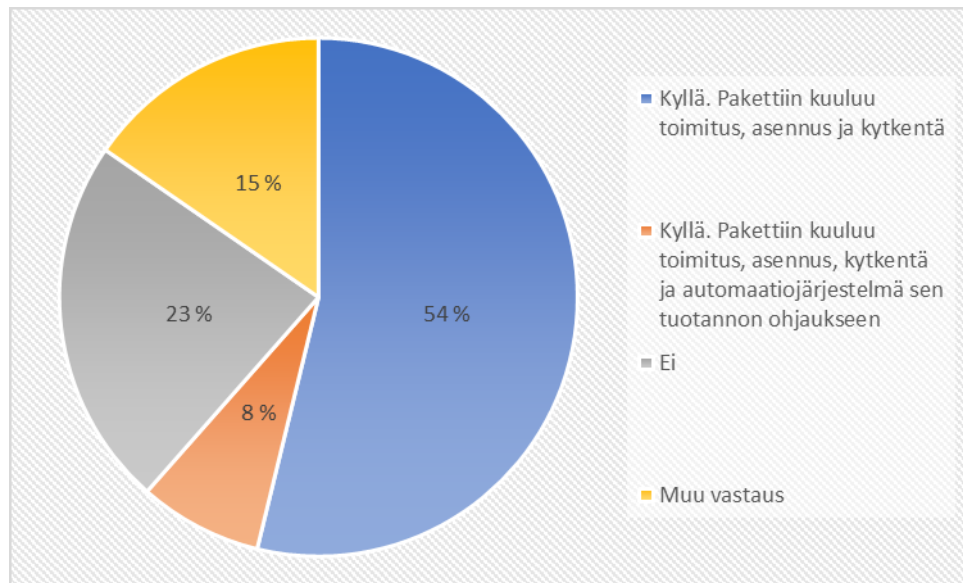
Kyselyssä tutkitaan myös kuormien ohjauksista syntyviä ristiriitoja eri toimijoiden (jakeluverkkoyhtiö, myyntiyhtiö, asiakas, kantaverkkoyhtiö ja aggregaattori) välillä. Vastauksista 58 % näkee ristiriitoja syntyvän ja 17 % ei osaa sanoa vielä tällä hetkellä. Vastauksissa tulee esille erityisesti tasevirheiden lisääntyminen ja epätieto siitä kenelle virheen kustannukset kohdistetaan, kun myyntiyhtiön kohteessa toimii kolmas osapuoli (aggregaattori). Vastauksissa tulee myös esille hyödyn ja kustannusten jako, koska kuormien ohjauksista syntyy myös tuottojen lisäksi kuluja ja ei ole selvää kuka maksaa ja kuka saa tuotot ohjauksista. Myös verkon riskien lisääntyminen laajamittaisessa spot-hintaan perustuvassa kuorman ohjauksessa tulee esille. Jakeluverkkoyhtiöllä ja myyntiyhtiöllä voivat olla samalla tunnilla eri suuntaiset intressit kuorman ohjauksessa. Lisäksi monessa vastauksessa käy ilmi, ettei itsenäisen aggregaattorin toiminnasta saa aiheutua lisäkustannuksia myyjälle.

5.4 Pientuotantoon sekä siirtotariffiin liittyvät vastaukset

Kyselytutkimuksessa kartoitetaan myös tällä hetkellä käytössä olevia sähkönsiirtotariffeja kysymyksellä ” Jos vastaatte myös alueellanne sähkönsiirrosta, minkälainen siirtotariffi teillä on käytössä sähkölämmitteisille omakotitaloille?”. Tarkoitus on selvittää, onko vastaajien toimintaalueella jo tullut käyttöön uusia siirtotariffeja, kuten tehopohjaisia siirtotariffeja, joilla voidaan tasoittaa markkinahintaohjauksen vaikutuksia tehojen kasvuun. Vastauksista ei yksikään maininnut, että heidän alueella olisi vielä käytössä tehopohjaista

siirtotariffia. Vain yksi vastaajista vastasi, että tehomaksuperusteista hinnoittelua tutkitaan ja valmistellaan parhaillaan.

Vähän yli puolet vastaajista tarjoaa aurinkovoima tuotteita, johon kuuluvat toimitus, asennus ja kytkentä. Lisäksi yksi vastaajista tarjoaa näiden lisäksi automaatiojärjestelmän sen tuotannon ohjaukseen. Muu vastaus kohtaan on vastannut kaksi yhtiötä. Toinen heistä tarjoaa mahdollisuuden vuokrata paneeleja yhtiön omasta aurinkovoimalasta ja toisella vastaajista on yhteistyökumppani, joka toimittaa aurinkopaneeleja.



Kuva 24. Vastaukset kysymykseen ”Löytyykö tuotevalikoimastanne aurinkopaneelipaketteja?”.

Pientuotannon määrään liittyvissä vastauksissa on suurta hajontaa, johon vaikuttavat myyntiyhtiöiden koko ja asiakas määrät. Pientuotantoa omistavien asiakkaiden määrä vaihteli 10 - 400 asiakkaan välillä ja yhteen laskettu asiakasmäärä 10 yhtiöllä on noin 1000 asiakasta. Vastanneiden yhteen laskettu pientuotannon kokonaismäärä on noin 3300 kW. Vastausten perusteella tyypillisin koko pientuotannolle vaihtelee 2-5 kW välillä. Kaikilla kyselyyn osallistujilla on ostosopimuksia pientuotannon ylijäämätuotantoon. Yleisimmät ostosopimukset perustuvat spot-hintaan, joista peritään marginaali kustannus. Yhdellä vastanneista on myös käytössä kiinteä hinta yhtiöltä ostetuille järjestelmille ja yksi yhtiöistä tarjoaa saman hyvityksen ylijäämästä, kuin asiakas maksaa sähköstään.

5.5 Kahden eri sähkönmyyntiyhtiökyselyn vastausten vertailua

Tässä kappaleessa vertaillaan diplomityössä toteutetun kyselytutkimuksen vastauksia aikaisemmin toteutetun kyselytutkimuksen vastauksiin. Kyselytutkimukseen valittiin osa kysymyksistä samanlaisiksi (tai samantapaisiksi), jotta saadaan vertailupohjaa siitä, miten myyntiyhtiöiden tarjoamat palvelut ja näkemykset ovat kehittyneet noin neljässä vuodessa. DR-poolin tutkimusprojektissa kartoitettiin myyntiyhtiöiden näkemyksiä kysyntä-

joustoön ja kyselytutkimus toteutettiin 2014 Webropol-kyselyllä. Kysely lähetettiin Energiategollisuus ry:n kautta järjestön sähkökauppajäsenille ja 16 yhtiötä vastasi kyselyyn. Vastanneiden yhtiöiden yhteenlaskettu asiakasmäärä karkeasti arvioiden oli 1,5 miljoonaa asiakasta. [7 s.244]

Molemmissa kyselytutkimuksissa ilmenee vastausten suuri hajonta myyntiyhtiöiden välillä ja useimmissa kysymyksissä vastaajien näkemykset eroavat paljon toisistaan. Myös kyselyjen välisessä vertailussa on huomioitava se että, näissä kahdessa tutkimuksessa kyselyyn on vastannut eri yhtiöiden edustajia, jolla saattaa olla merkitystä vastausten tuloksiin. Kahdesta eri kyselytutkimuksesta voidaan kuitenkin tehdä johtopäätöksiä ja havaita samankaltaisuuksia sekä eroavaisuuksia.

Aikaisemmassa tutkimuksessa todettiin, että spot-perusteisen tuntihinnoittelun vieminen asiakkaille nähdään keskeisimpänä tekijänä kysyntäjoustopäätöksessä [7 s.244]. Nyt toteutetussa kyselyssä vastanneista tarjoaa jo yli 60 % palveluita kotitalousasiakkaille, jotka mahdollistavat tuntipohjaisen spot-tuotteen pohjalta asiakkaan kysyntäjoustopäätöksessä sekä vastanneista kaikki yhtä lukuun ottamatta tarjoaa spot-hintaan ja tuntimittaukseen perustuvaa tuntuotetta.

Kyselyissä selvitettiin, minkä suuruinen massa tarvittaisiin kysyntäjoustopäätökselle, jotta sähkömyyntiyhtiöt lähtisivät kehittämään aktiivisesti kysyntäjoustopäätöksellä kotitalousasiakkaille. Aikaisemmin toteutetussa kyselyssä kiinnostuneiden asiakkaiden määrä ja taloudellinen hyöty vaihtelee paljon ja kriittinen massa on 100 - 10 000 asiakasta. Vuotuinen nettohyöty vaihtelee välillä 10 k€/a - 1M€/a. [7 s.246-247] Nyt tehdyssä kyselytutkimuksessa hajonta on pienentynyt ja kriittinen massa vaihtelee 200 - 2000 asiakkaan välillä. Keskiarvo asiakkaille on enää 850 asiakasta. Myös tarvittavassa nettohyödyssä on tapahtunut muutosta kyselyiden välissä. Nettohyöty vaihtelee 25 000 - 100 000 €/a ja osalle yhtiöistä riittää, että päästään plussan puolelle, eikä synny tappioita. Nykyään on havaittavissa, että nettohyötyä tärkeämmäksi nähdään, että saadaan kysyntäjoustopalveluita luotua asiakkaille.

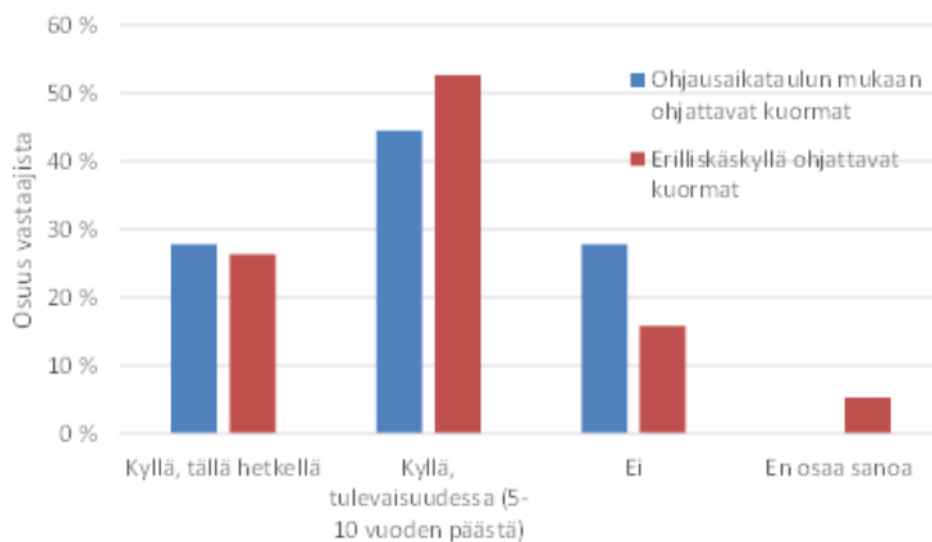
Kyselytutkimuksissa kartoitettiin suurimmat esteet kysyntäjoustopäätökselle laajamittaiselle hyödyntämiselle, jotka tulisi ensisijaisesti ratkaista. Aikaisemmin toteutetussa kyselytutkimuksessa valittiin kolme keskeisintä vastausvaihtoehtoa ja nyt tehdyssä kyselyssä ei olla rajattu vastausvaihtoehtojen määrää. Kyselyn asettelulla ei ole suurta merkitystä, sillä nyt tehdyssä kyselyssä vastaajat valitsivat keskimäärin 3,1 vaihtoehtoa. Kuvasta 25 nähdään vuonna 2014 toteutetun kyselytutkimuksen vastaukset. Molemmissa kyselytutkimuksissa keskeisimmät esteet kysyntäjoustopäätökselle ovat liian pieni taloudellinen hyöty, tietojärjestelmärajapintojen standardien puute, ohjattavan kuorman vähäinen määrä sekä motivaation puute asiakkailta vanhemmassa kyselyssä ja nyt tehdyssä kyselyssä puutteet asiakkaiden kannustimissa osallistua kysyntäjoustopäätökselle. Suurimmat erot kyselyiden välillä olevissa vastauksissa ovat, että aikaisemmin toteutetussa kyselyssä puutteelliset laitteet ja asetukset sekä tiedon puute asiakkailta eivät saaneet kannatusta, kun taas nyt tehdyssä

kyselyssä molemmat saavat 7,5 % kannatuksen. Ohjattavien kuormien määrä sai aikaisemmassa kyselyssä kannatusta 17,5 % ja nyt tehdyssä kyselyssä enää 10 %.



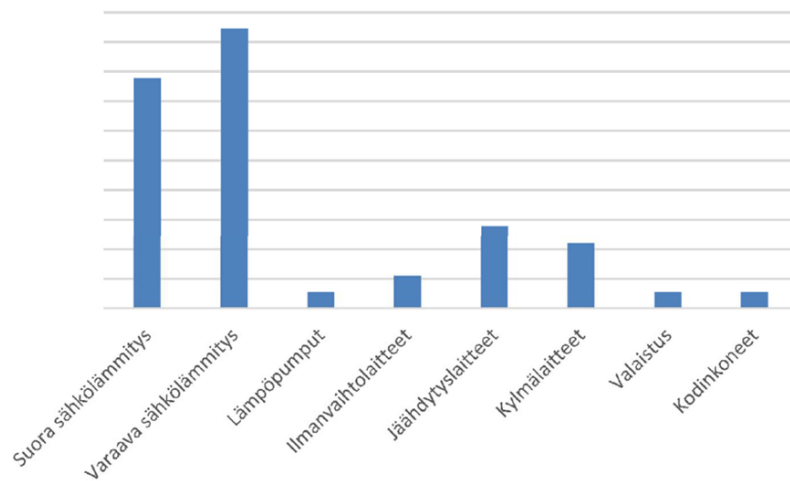
Kuva 25. Vuonna 2014 toteutetun kyselyn vastaukset kysymykseen ”Mitkä ovat mielestänne kolme keskeisintä estettä kysyntäjoustopuolelta hyödyntämiselle, jotka tulisi ensisijaisesti ratkaista?”. [7 s.250]

Kuvasta 26 nähdään, että aikaisemmin toteutetussa kyselyssä eniten nähtiin tarvetta kuormien ohjaamiselle tulevaisuudessa 5-10 vuoden päästä. Vajaa kolmannes näki kuormien ohjaamisen tarpeelliseksi neljä vuotta sitten. Nyt tehdyssä kyselyssä yli puolet vastanneista näkevät tällä hetkellä kuormien ohjauksen tarpeelliseksi erilliskäskyllä ja alle puolet kerran vuorokaudessa päivitettävän ohjausaikataulun mukaan. Kuormien ohjaamisen tarpeettomana näki suurin piirtein yhtä suuri osa vastanneista molemmissa kyselyissä.



Kuva 26. Vuonna 2014 toteutetun kyselyn vastaukset kysymykseen ”näettekö tarvetta asiakkaidenne kuormien ohjaamiselle”. [7 s.245]

Kiinnostavat kuormitusryhmät ohjauskohteina kysymys on toteutettu eri tavalla kyselyissä. Aikaisemmassa kyselyssä kysyttiin yleisesti, mitkä kuormitusryhmät nähdään kiinnostavina kuormanohjauskohteita ja tämän diplomityön kyselytutkimuksessa selvitetään kohteita, joiden ohjaukseen on jo yhtiöllä ratkaisu tai jos ei ole niin, mitkä ryhmät nähdään potentiaalisina ohjauskohteina. Aikaisemmin toteutetun kyselyn vastaukset nähdään kuvasta 27. Molemmissa kyselyissä kiinnostavimpia kohteita ovat sähkölämmitykseen liittyvät kohteet. Nyt tehtyyn kyselyyn on otettu enemmän kuormitusryhmiä tarkasteluun, joten kaikkia ohjauskohteita ei voida verrata aikaisempaan kyselyyn. Vastauksista kuitenkin nähdään, että aikaisempaan kyselyyn verrattuna lämpöpumput, ilmanvaihtokoneet, jäähdytyslaitteet, kylmälaitteet ja valaistus nähdään enemmän potentiaalisina kuormanohjauskohteina. Varsinkin lämpöpumput nähdään nykyään kiinnostavampana kohteena ja niiden ohjaamiseen on jo parilla yhtiöllä ratkaisu valmiina.



Kuva 27. Vuonna 2014 toteutetun kyselyn vastaukset kysymykseen ”mitkä kuormitusryhmät näette kiinnostavina kuormanohjauskohteina”. [7 s.246]

Molemmissa kyselytutkimuksissa nähdään kuormanohjaus potentiaalisena työkaluna erityisesti suojautumiseen spot-markkinoiden hintapiikkejä vastaan. Kuten taulukosta 6 nähdään, kyselyissä vastausten välillä on voimakasta hajontaa ja melkein kaikki vastausvaihtoehtoista on saanut kannatusta hyvinkin potentiaalisena vaihtoehtona, kun taas osa vastaajista ei ole nähnyt potentiaalia lainkaan. Keskiarvot molemmissa kyselyissä on kuitenkin suhteellisen lähellä toisiaan, joten vastauksissa ei ole tapahtunut suuria muutoksia neljässä vuodessa. Koska vastauksissa on suurta vaihtelua yhtiöiden kesken, keskiarvojen vaihtelu voi jo selittyä sillä, että molemmissa kyselytutkimuksissa on eri vastaajia joukossa.

Taulukko 6. Vuonna 2014 toteutetun kyselyn vastaukset kysymykseen ”Olettaen että infrastruktuuri mahdollistaa myyntiyhtiön toteuttamat kuormanohjaukset, kuinka potentiaalisena työkaluna näette kuormanohjauksen ja siihen läheisesti liittyvät toiminnot omassa liiketoiminnassanne seuraaviin tarkoituksiin? (0 = ei lainkaan potentiaalia ... 5 = hyvin suuri potentiaali)”. [7 s.247]

	0	1	2	3	4	5	Ka.
Suojautuminen spot-markkinoiden hintapiikkejä vastaan (kuormien siirto hintapiikkien ajalta edullisempaan aikaan)	0	2	0	4	5	7	3,83
Tuotedifferointi (uudentyyppiset myyntituotteet)	1	1	5	4	2	5	3,11
Sähkön hankintojen suojauksen varmentaminen (esim. kuormien ohjaus, kun suojauksen taso on liian matala)	1	4	1	4	7	1	2,83
Ohjattavan kapasiteetin tarjoaminen säätö- ja reservisähkömarkkinoille	2	3	1	6	4	2	2,72
Asiakkaiden sitouttaminen	3	0	5	4	4	2	2,67
Kulutustaseen hallinta (kuorman ohjaus tilanteessa, jossa on syntymässä tasevirhettä)	2	4	1	7	3	1	2,44
Kotitautomaatiolaitteiden (HEMS) myyminen tai vuokraaminen asiakkaille	3	3	5	3	2	2	2,22
Myyninedistäminen kysyntäjoukseen liittyvien vihreiden arvojen avulla	4	3	3	4	4	0	2,06
Muu, mikä	2	0	0	1	0	0	1

Kyselytutkimuksissa selvitettiin myös, miten uudet toiminnot ja mahdolliset toimintaympäristön muutokset vaikuttavat yhtiön toimintaan tulevaisuudessa. Molemmissa kyselyissä on havaittavissa vaihtelua vastaajien kesken, mutta vaihtelu on pienempää nyt tehdyssä kyselyssä. Taulukosta 7 nähdään suuri hajonta aikaisemmin toteutetun kyselyn vastauksissa. Myös uudet toiminnot ja mahdolliset toimintaympäristön muutokset nähdään enemmän merkityksellisinä yhtiön toiminnan kannalta nyt, kuin neljä vuotta sitten. Melkein kaikkien kohtien vastausten keskiarvot nousivat jonkin verran. Ainoastaan hintaperusteisen kysyntäjoukon ja energiatehokkuusmääräysten keskiarvot laskivat vähän. Suurin muutos nähdään koskevan Datahubia, jonka kannatuksen keskiarvo on aikaisemmassa kyselyssä 3,12 ja nyt tehdyssä kyselyssä 4,08.

Taulukko 7. Vuonna 2014 toteutetun kyselyn vastaukset kysymykseen ”Kuinka merkittävänä näette seuraavat uudet toiminnot / mahdolliset toimintaympäristön muutokset yhtiönne toiminnan kannalta seuraavien 10 vuoden aikana (0 = ei lainkaan merkitystä ... 5 = hyvin suuri merkitys)”. [7 s.248]

	0	1	2	3	4	5	Ka.
Hintaperusteinen kysyntäjousto (asiakkaiden reagointi hintasignaaleihin)	0	1	2	6	6	2	3,35
Datahub (sähkömarkkinoiden keskitetty tiedonvaihto)	2	1	1	5	5	3	3,12
Asiakkaiden oma (mikro)tuotanto	0	4	2	2	6	2	3
Energiatohokkuusmääräykset	1	3	1	5	6	1	2,88
Myyjävetoinen markkinamalli (nk. yhden luokun malli)	3	0	4	2	6	2	2,82
Asiakkaiden asennemuutokset (energiansäästö, vihreät arvot)	0	3	2	8	4	0	2,76
Kuormien (etä)ohjaukseen perustuva kysyntäjousto	2	1	6	2	5	1	2,59
Sähköautot	2	1	5	5	4	0	2,47
Sähkön varastointi	4	4	3	4	2	0	1,76
Muu, mikä	0	0	0	0	0	1	5

Molemmissa kyselytutkimuksissa noin 60 % vastaajista näkee kuormanohjauksista syntyvän ristiriitoja eri toimijoiden (jakeluverkkoyhtiö, kantaverkkoyhtiö, myyntiyhtiö, aggregaattori, asiakas) välillä. Aikaisemmin toteutetussa kyselytutkimuksessa nähdään ristiriitoja syntyvän verkon ohjaustarpeiden ja markkinahintaperusteisen ohjaustarpeen välillä. Myyjän tekemät kuormanohjaukset voivat aiheuttaa muutoksia verkon kuormitustilanteeseen, kun taas verkkoyhtiön tekemät kuorman ohjaukset voivat aiheuttaa myyjälle tasesähkökustannuksia. Lisäksi kuormanohjaukset voivat aiheuttaa laitteiden kulumista ja vahinkotilanteita, jolloin toimijoilla tulee olla vastuun jako selvillä. Taloudellinen riski kasvaa, kun asiakas tai aggregaattori voi optimoida kulutusta spot-hintojen julkaisemisen jälkeen, kun taas myyjä arvioi kysyntäjouston määrän ennen hintojen julkaisemista. Vastauksissa nostetaan esille se, että kysyntäjouston on oltava asiakkaille vapaaehtoista, hyödyllistä ja huomaamatonta. [7 s.252]

Nyt tehdyssä kyselytutkimuksessa vastauksissa tulee enemmän esille ristiriidat kolmannen osapuolen (itsenäinen aggregaattori) ja myyjän välillä. Erityisesti esille tulee tasevirheiden lisääntyminen ja epätieto siitä kenelle virheen kustannukset kohdistetaan, kun myyntiyhtiön kohteessa toimii itsenäinen aggregaattori. Vastauksissa ei enää nähdä ristiriitoja verkkoyhtiön tekemissä kuormanohjauksissa, koska erilaisissa tutkimuksissa kysyntäjouston toteuttaminen liitetään enemmän sähkönmyyjälle ja itsenäiselle aggregaattorille. Vastauksissa tulee myös esille verkon riskien lisääntyminen laajamittaisessa spot-hintaan perustuvassa kuorman ohjauksessa. Jakeluverkkoyhtiöllä ja myyntiyhtiöllä voivat olla myös samalla tunnilla eri suuntaiset intressit kuorman ohjaukseen. Nyt tehdyssä kyselyssä esille tulee myös hyödyn ja kustannusten jako, koska kuormien ohjauksista syntyy myös tuottojen lisäksi kuluja ja ei ole aina selvää kuka maksaa ja kuka saa tuotot ohjauksista.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää kotitalouksien mahdollisuuksia osallistua sähkönkulutuksen kysyntäjoukseen. Isot teollisuuslaitokset ja kulutukseltaan suuret julki- set toimijat ovat jo osallistuneet tehotasapainon ylläpitämiseen kysyntäjoukon avulla, mutta energiamarkkinan muutokset erityisesti tuotantopuolella, lisäävät kaikkien energia- markkinoille osallistuvien osapuolien yhteistyötä kysyntäjoukon hyödyntämisessä. Ar- viot kuormien ohjaus potentiaalista kotitalouksissa vaihtelevat lähteestä riippuen, mutta määrä on arvioitu olevan jopa 1800 MW pelkästään sähkön käytössä talon lämmityksessä (suora sähkölämmitys, vesikiertoinen varaava sähkölämmitys, varaava lattialämmitys) ja käyttöveden lämmityksessä. Jos otetaan myös öljylämmityskohteiden sähkövastuksien ohjauspotentiaali huomioon, niin teoreettinen kuormapotentiaali voi lähestyä jopa 2900 MW. [26 s.3] Näiden lisäksi ohjattavia kuormitusryhmiä ovat ilmanvaihtokoneet, jääh- dytyslaitteet, kylmälaitteet, valaistus ja kodinkoneet. Eli kotitalouksissa on merkittävä määrä vielä hyödyntämätöntä kysyntäjoustopotentiaalia.

Sähkönmyyntiyhtiöt ovat jo hyödyntäneet kysyntäjoukkoa kotitalouksissa ohjaamalla ko- din lämmitystä Elspot-markkinahintaan perustuen, mutta muilla markkinapaikoilla koti- talouksien kysyntäjoukkoressurssien hyödyntäminen on vielä vähäistä. Esimerkiksi tässä diplomityössä tehdyssä kyselytutkimuksessa vain yksi sähkönmyyntiyhtiö tarjoaa palve- luita kotitalousasiakkaille, jotka mahdollistavat kysyntäjoukon tarjoamisen reservimark- kinoille ja neljällä muulla yhtiöllä on kehitteillä palveluita kysyntäjoukon tarjoamiseksi reservimarkkinoille.

Pienempien kuluttajien ohjauskuormia aggregoivat operaattorit nähdään uutena mahdol- lisuutena kysyntäjoukon toteuttamisessa eri sähkömarkkinapaikoilla. Aggregaattorit yh- distävät kotitalouksien pienet sähkökuormat suuremmaksi kokonaisuudeksi, mikä mah- dollistaa yksittäisen sähkönkäyttäjän osallistumisen esimerkiksi reservimarkkinoille. On tärkeää, että kuluttajille voidaan perustella kysyntäjoukseen osallistumisesta syntyvät hyödyt ja kuluttaja saa siitä tarvittavan rahallisen kannusteen, jotta aggregaattorit saavat riittävän määrän kysyntäjoukokapasiteettia käyttöönsä. Kotitalouksien sähkön kysyntä- joukko ei ole vielä tarpeeksi hyvin tiedossa kuluttajilla ja monelle on vielä epäselvää mitä sähkön kysyntäjoukko tarkoittaa.

Eri markkinapaikoille on asetettu erilaisia vaatimuksia ja nämä asettavat teknisiä haasteita kysyntäjoukon hyödyntämiselle. Yleisesti voidaan todeta, että mitä suuremmat vaati- mukset markkinapaikka asettaa kysyntäjoukolle, sitä suurempi taloudellinen hyöty siitä saadaan. Eli mitä enemmän kysyntäjoukkoressursseja on käytettävissä ja mitä joustavam- min ja reaaliaikaisemmin niitä voidaan ohjata, sitä suurempi taloudellinen potentiaali oh- jauksista on mahdollista saada. Puhtaasti sähkönhintaan perustuvasta kysyntäjoukosta

saatu tuottopotentiali on vain murto-osa reservimarkkinoilta saataviin tuottoihin. Esimerkiksi DR-poolin tutkimusprojektikonaisuudessa: ”Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille” simuloitiin ja tutkittiin, että taajuusohjatun häiriöreservin markkina tarjoaa 17-kertaisen tuottopotentialin elspot-markkinaan verrattuna ja säätösähkömarkkinan potentiaaliin verrattuna noin 2,5 kertaisen tuoton [7 s.72]. Tulos on teoreettinen, eikä ota huomioon kaikkia käytännön haasteita, mutta antaa hyvän kuvan tuottopotentialin eroista. Nykyinen AMR-teknologia mahdollistaa sähkölämmityslaitteiden ja lämminvesivaraajien yksinkertaiset kuormanohjaukset, mutta ne eivät ole riittäviä toteuttamaan nopeita ohjauksia, joten AMR mittarit eivät sovellu sellaisenaan kantaverkkoyhtiön reservimarkkinoille. AMR-mittarit eivät myöskään sellaisenaan mahdollista kaksisuuntaista tiedonsiirtoa eli tieto ohjattavissa olevasta tehosta jää puuttumaan. Pienasiakkaiden kuormien ohjauksen hyödyntäminen reservimarkkinoilla edellyttää kehittyneempiä järjestelmiä, kuten kodin energiahallintajärjestelmää. Kotiautomaatiojärjestelmien osuus asuinrakennuksissa on vielä pieni, mutta ne lisääntyvät jatkuvasti. Erilaisia kotiautomaatiojärjestelmiä on jo nykyisin paljon tarjolla ja niiden kehitys on erittäin nopeaa, mutta standardoimattomat toiminnot ja rajapinnat asettavat haasteita niiden hyödyntämiselle. Kotiautomaatiojärjestelmien laajamittaista yleistymistä kotitalouksissa voidaan pitää kysyntäjoustopotentialin edellytyksenä tällä hetkellä.

Kotiautomaatiojärjestelmien teknologinen kehitys on vielä siinä vaiheessa, jossa markkinoille tulee uusia toimijoita jatkuvasti. Uudet toimijat tuovat erilaisia automaatiojärjestelmiä markkinoille ja järjestelmissä on käytössä toisistaan poikkeavia ratkaisuja ohjauksen toteuttamiselle. Kun uusia ratkaisuja saapuu markkinoille jatkuvasti, syntyy ongelmia, miten saadaan erilaiset ja eri valmistajien kotiautomaatioratkaisut yhteensopiviksi keskenään. Osa järjestelmien toimittajista voivat myös lopettaa toimintansa kilpailun lisääntymisessä, ja jos järjestelmä ei ole yhteensopiva muiden valmistajien laitteiden kanssa, syntyy ongelmaksi järjestelmän laajennettavuus ja huoltotoimenpiteet järjestelmän vikaantuessa. On vielä epäselvää, minkälaiset automaatioratkaisut saavuttavat suurimman markkinaosuuden. Osa asiakkaista ostaa järjestelmän parantaakseen asuinmukavuutta ja osa taas pienentääkseen energiakustannuksia. Osa asiakkaista arvostaa näitä molempia yhtä paljon. Itse asennetuissa ratkaisuissa ei ole esimerkiksi mahdollisuutta ohjata sähkölämmityskuormia, sillä Suomessa sähkölämmityskytkentöjä saavat tehdä vain sähköalan ammattilainen. Itse asennettavien automaatioratkaisujen leviäminen voi hidastaa kodin energiahallintajärjestelmien leviämistä tai automaatioratkaisuja, joissa kuormien ohjaus on mahdollista toteuttaa. Uudet toimijat myös lisäävät kilpailua entisestään, mikä lisää kuluttajien tietämystä kotiautomaatiojärjestelmistä ja niiden hyödyistä sekä kilpailun ansiosta kustannukset laskevat asiakkailla. Kotiautomaatiojärjestelmien yleistymistä edesauttaa myös se, että monet sähkönmyyntiyhtiöt myyvät kodin energiahallintajärjestelmiä ja niihin liittyviä palveluita suoraan tai yhteistyökumppanin välityksellä. Kyselytutkimuksessa noin 45 % vastanneista tarjoaa jo kotiautomaatioratkaisun suoran sähkölämmityksen, käyttövesivaraajan ja varaavan lattialämmityksen ohjauksille.

Kotiautomaatiojärjestelmien leviämistä lisää myös pientuotannon yleistyminen kotitalouksissa. Pientuotannon yhteydessä asiakas hankkii myös yleensä automaatiojärjestelmän tuotannon optimoimiseksi. Kyselytutkimukseen vastanneista sähkönmyyntiyhtiöistä yli puolet tarjoavat aurinkovoima tuotteita, johon kuuluvat toimitus, asennus ja kytkentä. Yksi vastanneista tarjoaa näiden lisäksi automaatiotarkaisun tuotannon ohjaukseen. Vastanneilla 10 yhtiöllä on noin 1000 asiakasta, jotka omistavat pientuotantoa.

Kuluttajan ostopäätökseen vaikuttaa kotiautomaatiojärjestelmän hankinnassa järjestelmän rahoitus. Automaatiojärjestelmissä on vielä korkea hinta, joten järjestelmien toimittajilla on oltava eri rahoitus vaihtoehtoja, kuten kertamaksu, kuukausimaksu tai jos järjestelmän toimittajana toimii sähkönmyyntiyhtiö, niin maksun sitouttaminen määräaikaiseen sähkönsopimukseen tai sähkön kuukausimaksuun. Kodin energiahallintajärjestelmien markkinoinnissa asiakkaille tulee tiedottaa, että järjestelmistä saa hakea myös kotitalousvähennyksiä. Sähkönmyyntiyhtiö kyselyyn vastanneista noin 20 % yhtiöistä sitoutti tilauksen määräaikaiseen sähkönsopimukseen ja noin 25 % yhtiöistä sähkön kuukausimaksuun.

Kysyntäjoustopon hyödyntämistä kotitalouksissa on tutkittu jo erilaisilla pilottiprojekteilla ja tulokset ovat olleet positiivisia. Tässä diplomityössä tarkasteltiin Fingridin pilottiprojektia tarkemmin. Pilotissa tutkittiin Theren kehittämää kodin energiahallintajärjestelmää ja sen hyödyntämistä kysyntäjoustopon markkinalla. Ohjattavana kuormana toimi suora sähkölämmitys, varaava lattialämmitys, käyttövesivaraaja ja ilmalämpöpumppu. Projektissa tutkittiin myös millaiset eri kotitaloudet sopivat häiriöreservi- ja säätösähkö-markkinalle. Pilotista saadut tulokset olivat positiivisia ja keskeiset kysyntäjoustopon vaatimukset sähkömarkkinoille käytettävästä ohjaustekniikasta, kuormien ohjausten luotettavuudesta ja kuormanohjauksen vasteajasta täytyivät. Piloti toteutettiin noin neljä vuotta sitten ja jo silloin Theren energiahallintatarkaisut varmennettiin toimivaksi ratkaisuksi kuormien ohjauksissa. Pilotissa olleiden kuormanohjausten perusteella suoran sähkölämmityksen ja käyttövesivaraajan kuormia voidaan tarjota melkein 100 % tarkkuudella häiriöreservi- ja säätösähkömarkkinalle.

Pilotissa kysyntäjoustopon osallistuvien omakotitalojen määrä jäi epäselväksi, mutta se oli kuitenkin suhteellisen pieni, koska siinä joustopon kapasiteettia oli tarjolla vain kymmeniä kilowatteja. Todennäköisyys kuormanohjausten onnistumiselle oli 100%, joka johtui todennäköisesti juuri tutkittavien kohteiden pienestä määrästä sekä testeissä olleista tiukoista tarjoussäännöistä. Isoissa volyymeissa esiintyy aina kohteita, joihin ei saada yhteyttä tai joiden internetyhteys on heikko. Nämä kohteet on saatava karsittua valvonnalla ja jätettävä pois tarjouksista automaattisesti. Todennäköisyystason määrittäminen kuormanohjauksille tulee toteuttaa keräämällä mittausdataa useammilla kuormatyypeillä ja suuremmilla ohjattavien kohteiden määrillä. Todellisuudessa eri sähkömarkkinapaikat asettavat suuriakin kapasiteettivaatimuksia ja esimerkiksi pilotissa mukana ollut taajuusohjattu häiriöreservi asettaa 1 MW kapasiteettivaatimuksen. Myös pilotin maantieteellinen kattavuus jäi pieneksi ja siinä keskityttiin lähinnä pääkaupunkiseudulla sijaitseviin

kohteisiin, mikä saattaa vaikuttaa pieniin vasteaikoihin. Suurin ongelma kotitalouksien kysyntäjoustopon hyödyntämisessä eri sähkömarkkinapaikoilla on se, että saataisiin aggregoitua tarvittavan suuri kapasiteetti käyttöön. Tekniset puitteet ovat jo riittävät, mutta vielä toistaiseksi liiketoimintamalli kotitalouden kysyntäjoustopon ympärillä on liian pieni. Riittäviä kannustimia kysyntäjoustopon ei kuluttajalle ole ja siihen tarvittavat automaatiojärjestelmät ovat kannustimiin verrattuna kalliita.

Pilotissa tutkittiin vain Theren kehittämää kodin energiahallintajärjestelmää ja sen ohjaukseen käytettävää operaattorin käyttöliittymää. Kun suurempi määrä kotitalouksia osallistuu kysyntäjoustopon, tulee aggregaattoreiden ratkaista ongelmat kuormien ohjaukseen liittyen, kun kotitalouksissa on käytössä eri valmistajien energiahallintajärjestelmiä tai laajempia kotiautomaatiojärjestelmiä. Onko esimerkiksi ohjaukseen käytettävät aggregaattorin käyttöliittymät yhteensopivia näiden järjestelmien kanssa. Eri laitevalmistajien järjestelmissä ja aggregaattoreiden käyttämissä käyttöliittymissä saattaa olla suuriakin eroja käytettävässä ohjaustekniikassa, kuormien ohjauksen luotettavuudessa ja kuormanohjauksen vasteajoissa. Ohjauksen nopeuksissa saattaa olla myös eroja tapauskohtaisesti ja kysyntäjoustopon toteutetaan nopeilla ja hitaammilla ohjauksilla kotitalouksissa, mikä lisää haasteita aggregaattoreille. Lisäksi on tärkeää sopia yhteiset käytännöt tilanteissa, kun itsenäisen aggregaattorin kuormien ohjaus vaikuttaa sähkönmyyjän sähkötaseeseen. Vielä on epäselvää, kenelle tasevirheen kustannukset kohdistetaan ja ketä saa suurimman hyödyn kuormien ohjauksista. Erilaisten kotiautomaatiojärjestelmien yhteensopivuutta keskenään sekä yhteensopivuutta aggregaattoreiden käyttämien käyttöliittymien kanssa vaatii lisää tutkimusta.

Kun kysyntäjoustopon aletaan toteuttamaan laajamittaisesti kotitalouksissa, on tärkeää selvittää, kuinka suuri vaikutus markkinahintapohjaisella ohjauksella on tehohippuihin. Tehopohjaisilla siirtotariffeilla on mahdollista tasoittaa markkinahintaan perustuvan ohjauksen vaikutuksia tehojen kasvuun. Tehopohjainen hinnoittelu voi olla jopa edellytyksenä järjestelmän kokonaistehokkuuden toteutumiseen, jotta markkinahintapohjaisen ohjauksen hyödyt eivät eliminoidu verkon kapasiteettitarpeen kasvusta johtuvien korkeampien siirtomaksujen takia. Pienellä osalla verkkoyhtiöistä on jo käytössä tehopohjainen hinnoittelumalli käytössä ja sillä luodaan kannuste asiakkaalle tarkkailla kuormia markkinahintoihin sekä tehon kulutukseen perustuen. Kyselytutkimuksessa selvitettiin yhtiöiden käytössä olevia sähkönsiirtotariffeja, jos yhtiöt (konsernissa oleva verkkoyhtiö) vastaavat myös sähkönsiirrosta alueellansa. Vastaajista ei yksikään maininnut, että heidän alueella olisi vielä käytössä tehopohjaista siirtotariffia. Vain yksi vastaajista vastasi, että tehomaksuperusteista hinnoittelua tutkitaan ja valmistellaan parhaillaan.

Tietojärjestelmien tiedonsiirtorajapinnat ja standardointi on yksi keskeisimmistä haasteista kehittäessä laajamittaista kysynnän joustopon toiminnallisuutta. Viestiliikenteen tulee perustua selkeisiin standardoituihin sanomiin. Standardointiin liittyvät merkittävimmät haasteet ovat tiedonsiirtoprotokollien ja järjestelmien tietomallien määrittelyt. Eri osa-

alueet, kuten sähkönjakeluautomaatio, sähköpörssi, kiinteistöautomaatio, ja sähkön pien-
tuotantolaitteistot ovat haastavia saada toimimaan yhteisenä toimivana kokonaisuutena.
Kysyntäjouaston edistämiseksi tarvitaan siis selkeät yhteisesti sovitut tekniset vaatimukset
ja rajapinnat eri toimijoille ja kohteille. Älykkäiden sähköverkkojen sekä kiinteistöissä
olevien älykkäiden verkkojen integraatio on kehittymässä nopeasti myös standardointita-
solla. [7 s. 226] Eri standardien kehittymistä tulee seurata tarkasti ja on erityisen tärkeää
estää tilanne, jossa käyttöön otettu standardi korvataan myöhemmin toisella standardilla
tai se on yhteensopimaton, jonkin muun standardin kanssa. Tietoturvaan ja yksityisyyden
suojaan on kiinnitettävä erityisesti huomiota, koska sähkölaitteiston ja taloteknisten jär-
jestelmien liittäminen ulkoiseen verkkoon aiheuttaa aina riskejä.

Cozifyn markkinatutkimuksessa kotiautomaatiota omistavien kotitalouksien määrä on 22
%. Mukana tutkimuksessa olivat turvallisuuteen, energiatehokkuuteen, valaistukseen ja
kodinkoneiden hallintaan liittyvät tuotteet ja järjestelmät. [57] Markkinatutkimuksessa ei
otettu kantaa mikä on energiatehokkuuteen liittyvien järjestelmien osuus kokonaismää-
rystä, mutta todennäköisesti osuus on vielä suhteellisen pieni. Kodin energiahallintajär-
jestelmien laajempaan yleistymiseen menee todennäköisesti vielä monia vuosia. Järjes-
telmien yleistymistä saattaa kuitenkin vauhdittaa hintojen suuri putoaminen. Esimerkiksi
There Corporation Oy on julkaisemassa uutta asiakaslaitetta ThereGate 3.0 ja sen valmis-
tuskustannus on saatu pienennettyä noin kymmenesosaan tämän hetkisistä tuotteista [56].
Jää nähtäväksi, kuinka paljon se vaikuttaa loppuasiakkaiden hinnoissa, koska There Cor-
poration toimittaa järjestelmiään vain jälleenmyyjille. Vaikka järjestelmien hinnat laske-
vat jää kotitalousasiakkaille maksettavaksi suhteellisen kalliit järjestelmien asennuskus-
tannukset joka tapauksessa.

Kysyntäjouaston hyödyntäminen kotitalouksissa lisääntyy vähitellen, mutta kehitys on
vielä suhteellisen hidasta. Tilanteeseen, jossa valtaosa kotitalouksista kuuluu kysyntä-
jouaston piiriin ja voivat tarjota kuormiaan reservimarkkinoille voi mennä vielä monia
vuosia, jos ei jotain merkittävää tapahdu lähivuosina. Jos verrataan esimerkiksi tässä
työssä tehtyä kyselytutkimusta ja neljä vuotta sitten tehtyä kyselyä sähkönmyyntiyhtiöille
on edistystä vuosien välillä tapahtunut vähän. Kaikki sähkönmyyntiyhtiöt eivät ole kiin-
nostuneita kysyntäjoustopalveluista. Lähivuosina voi käydä niin, että suurimmat sähkön-
myyntiyhtiöt kehittävät kysyntäjoustopalveluita aktiivisesti ja pienemmät yhtiöt eivät
pysy kehityksen perässä. Tällöin suuret yhtiöt voivat tarjota asiakkaille parempia palve-
luita kysyntäjoustoan liittyen, joista asiakkaat myös hyötyvät ja pienet yhtiöt menettävät
samalla asiakkaita. On muistettava se seikka, että kotitalousasiakkaat myyvät kysyntä-
joustoaan sähkömarkkinoille, ei toisin päin, ja siksi kotitalouksien tulee saada myös siitä
hyötyä.

Kysyntäjouaston hyödyntäminen kotitalouksissa edellyttää, että kotitalousasiakkaat koke-
vat kysyntäjoustopalvelusta saamansa hyödyt riittäviksi. Kuluttajalle ei voida asettaa lisäkustan-
nuksia kysyntäjoustoan osallistumattomuudesta, joten keinot kysyntäjouaston edistä-
miseksi ovat tiedon lisääminen kysyntäjoustopalveluista ja rahallinen kannustin. On

vielä epäselvää, kuinka suuria nämä rahalliset kannustimet tai muutokset hinnoittelurakenteissa tulee olla ja odottavatko kuluttajat suurempia taloudellisia hyötyjä kuin sähköyhtiöt ovat valmiita maksamaan. Kuluttajien osallistumismotivaatioon vaikuttaa myös, jos osallistuminen vaatii muutosta omaan toimintaan tai se vaikuttaa edes vähän asumismukavuuteen. Kuluttajien motivoiminen kysyntäjouston vaatii vielä jatkotutkimusta.

LÄHTEET

- [1] Nordic power flow. Statnett -kotisivut [Viitattu 16.1.2018] Saatavissa: <http://www.statnett.no/en/Market-and-operations/Data-from-the-power-system/Nordic-power-flow/>
- [2] Partanen, J., Viljainen, S., Lassila, J., Honkapuro, S., Salovaara, K., Annala, S., Makkonen, M. 2016. Sähkömarkkinat - opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- [3] Day-ahead market. Nord Pool -kotisivut [Viitattu 16.1.2018] Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/>
- [4] Bidding areas. Nord Pool -kotisivut [Viitattu 16.1.2018] Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Bidding-areas/>
- [5] Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala, P. 2015. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. Julkaisematon käsikirjoitus. Tampereen teknillinen yliopisto, Teollisuustalouden laitos.
- [6] Intraday market. Nord Pool -kotisivut [Viitattu 16.1.2018] Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Intraday-market/>
- [7] Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J., Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiölle (DR pooli).
- [8] Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 16.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/>
- [9] Fingrid Oyj. Liite 1. Säätosähkömarkkinoiden säännöt. saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/saatosahkomarkkinasopimus-liite-1.--saatosahkomarkkinat.pdf>
- [10] Fingrid Oyj. Liite 2. Säätökapasiteettimarkkinoiden säännöt. saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/saatosahkomarkkinasopimus-liite-2.--saatokapasiteettimarkkinat.pdf>
- [11] Tasepalvelut. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 17.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/palvelut/tasepalvelut/>

- [12] Kulutustase. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 17.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/palvelut/tasepalvelut/tasemallin-kuvaus/kulutustase/>
- [13] Tuotantotase. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 17.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/palvelut/tasepalvelut/tasemallin-kuvaus/tuotantotase/>
- [14] Kaksi- ja yksihinta-järjestelmä. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 17.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/palvelut/tasepalvelut/tasemallin-kuvaus/kaksi--ja-yksihinta-jarjestelma/>
- [15] Reservit ja säätösähkö. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 17.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>
- [16] Fingrid Oyj. Liite 2 Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosi- sekä tunti-markkinasopimukseen. saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/liite220-20taajuusohjattujen20reservien20yllapidon20sovellusohje202018.pdf>
- [17] Fingrid Oyj. Liite 1 Automaattisen taajuudenhallintareservin sovellusohje. saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/liite20120-20automaattisen20taajuudenhallintareservin20sovellusohje.pdf>
- [18] Automaattinen taajuudenhallintareservi. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 19.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>
- [19] Fingrid Oyj. Liite Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet.pdf>
- [20] Riku Huttusen energiakolumni: Mistä tehoa sähkömarkkinoille?. Työ- ja elinkeinoministeriö -kotisivut. [Viitattu 21.1.2018] Saatavissa: http://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/riku-huttusen-energiakolumni-mista-tehoa-sahkomarkkinoille-
- [21] Säättövoima. Energiateollisuus -kotisivut. [Viitattu 21.1.2018] Saatavissa: https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/toimivat_markkinat/saatovoima
- [22] Kysyntäjousto. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 21.1.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/>
- [23] Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää. Väkiraportti.

- [24] Älykkään sähköjärjestelmän oltava taloudellisesti houkutteleva kuluttajille ja alan toimijoille. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 13.3.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2017/alykkaan-sahkojarjestelman-oltava-taloudellisesti-houkutteleva-kuluttajille-ja-alan-toimijoille/>
- [25] Kysyntäjouaston projektit. Fingrid Oyj -kotisivut. [Viitattu 15.3.2018] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/kysyntajouaston-projektit/>
- [26] Palola, I. 2016. Kysynnäjouaston pilottiprojekti. Pilottiprojektin loppuraportti. There Corporation.
- [27] Hietaoja, J. 2015. Varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla. Pilottiprojektin loppuraportti – julkinen versio. Enegia Consulting Oy.
- [28] Häkli, J. 2015. Pakkasvaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi. Pilottiprojektin loppuraportti. SEAM Group Oy.
- [29] S-ryhmän kysyntäjoustoprojekti ”HertSi”. 2015. Pilottiprojektin loppuraportti. Suomen Osuuskauppojen Keskuskunta.
- [30] Lähde, P., Karirinne, S., Rantamäki, S., Teräsvirta, A. 2012. Aurinkoenergiajärjestelmien integrointi rakennuksiin ja kiinteistöautomaatioon. Raportti. Satakunnan ammattikorkeakoulu.
- [31] Z-Wave ja Z-Wave Plus teknologiat. Fiksutekniikka Oy -kotisivut [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: <https://fiksukoti.fi/news/1/z-wave-ja-z-wave-plus-teknologiat>
- [32] About Z-Wave Technology. Z-Wave Alliance -kotisivut. [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: https://zwavealliance.org/about_z-wave_technology/
- [33] Z-Wave For OEMs & Developers. Z-Wave Alliance -kotisivut. [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: <https://z-wavealliance.org/z-wave-oems-developers/>
- [34] ZigBee for developers. Zigbee Alliance -kotisivut. [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/>
- [35] ZigBee 3.0. Zigbee Alliance -kotisivut. [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/>
- [36] M-Bus mittariluentajärjestelmä. 2009. Suunnitteluohjeet. Saint-Gobain Pipe Systems Oy. Saatavissa: <http://www.veteli.fi/wp-content/uploads/2017/12/L400.pdf>

- [37] Automaatio 1, ELEC-C1210. 2014. Automaation kenttäväylät – opetusmoniste. Aalto yliopisto. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/293729/mod_resource/content/1/ELEC-C1210_4.1_automaation_kenttavaylat.pdf
- [38] Modbus. Schneider Electric -kotisivut. [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: <https://www.schneider-electric.fi/fi/product-range-presentation/574-modbus/>
- [39] Modbus FAQ. Modbus Organization -kotisivut. [Viitattu 7.4.2018] Saatavissa: <http://www.modbus.org/faq.php>
- [40] Kansainvälinen KNX-standardi. KNX Finland Ry -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <http://knx.fi/index.php?k=224571>
- [41] KNX-standardi. KNX Finland Ry -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <http://knx.fi/index.php?k=220446>
- [42] KNX urakoitsijalle. KNX Finland Ry -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <http://knx.fi/index.php?k=220452>
- [43] Home. There Corporation Oy -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <https://www.therecorporation.com/#start>
- [44] For home owners. There Corporation Oy -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <https://www.therecorporation.com/home-energy-management-for-home-owners/>
- [45] ThereGate TG800 User Guide. 2010. There Corporation Oy. Saatavissa: <https://fccid.io/X35-TG800Z/User-Manual/USER-MANUAL-1266293>
- [46] Energiansäästöistä kysytyä. Fortum Oyj -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/asiakaspalvelu/usein-kysytyt-kysymykset>
- [47] Fortum Fiksu sähkölämmittäjälle suora sähkölämmitys. 2015. Käyttöohje. Fortum Oyj. Saatavissa: https://www.fortum.com/countries/fi/sitecollectiondocuments/energiatehokkuus/fortum%20fiksu%20sa%CC%88hko%CC%88la%CC%88mitta%CC%88ja%CC%88lle%20suora%20-%20ka%CC%88ytto%CC%88ohje%20v0_8.pdf
- [48] Fortum Fiksu öljylämmittäjälle. 2013. Käyttöohje. Fortum Oyj. Saatavissa: <http://docplayer.fi/1621577-Fortum-fiksu-oljylammittajalle.html>
- [49] Toimintaperiaate. OptiWatti Oy -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <https://www.optiwatti.fi/saasta-sahkolammityksessa/toimintaperiaate/>

- [50] Modbus-600. 2017. Käyttöohje. Ouman Oy. Saatavissa: http://ouman.fi/documentbank/MODBUS-600_manual_fi.pdf?x57655
- [51] EH-net. Esite. Ouman Oy. Saatavissa: http://ouman.fi/documentbank/EH-net_brochure_fi.pdf?x57655
- [52] TCR-10. Dataesite. Ouman Oy. Saatavissa: http://ouman.fi/documentbank/TCR-10_data_brochure_fi.pdf?x57655
- [53] Ouman-Plus. Esite. Ouman Oy. Saatavissa: http://ouman.fi/documentbank/OUMAN-PLUS_brochure_fi.pdf?x57655
- [54] Cozify Hub. Cozify Oy -kotisivut. [Viitattu 8.4.2018] Saatavissa: <https://www.cozify.fi/collections/devices/products/cozify-hub>
- [55] Market Insights. There Corporation Oy -kotisivut. [Viitattu 20.4.2018] Saatavissa: <https://www.therecorporation.com/theren-uusi-laitesukupolvi-ja-sahkonkysyntajousto-nyt-myynnissa/>
- [56] OptiWatin hinta. OptiWatti Oy -kotisivut. [Viitattu 20.4.2018] Saatavissa: <https://www.optiwatti.fi/hinta/>
- [57] Vihavainen, A. 2014. Markkinatutkimuksen satoa. Blogi kirjoitus. Cozify Oy. [Viitattu 20.4.2018] Saatavissa: <http://blogi.cozify.fi/2014/11/kurkistus-markkinatutkimus.html>

LIITE A: SÄHKÖNMYyntIYHTIÖ KYSELYN KYSYMYKSET

Vastaajan nimi

Vastaajan tehtävänimike

Yritys/organisaatio

Yhtiön asiakasmäärä yhteensä

Yhtiön keskimääräinen vuosimyynti (GWh/a)

1. Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten sähkömyyntitoimintanne?

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Toimimme toimitusvelvollisena myyjänä omalla jakelualueella
- Meillä on asiakkaita oman alueen ulkopuolella, mutta emme hanki aktiivisesti uusia asiakkaita
- Hankimme aktiivisesti uusia asiakkaita
- Kehitämme aktiivisesti uusia sähkön myyntituotteita / palveluita
- Muu: _____

2. Miten sähkön hankintanne jakaantuu?

(Keskimääräiset osuudet hankinnasta: oma tuotanto, OTC, sähköpörssi, ...)

3. Millä markkinapaikoilla yhtiönne toimii?

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Elspot
- Elbas
- Säättösähkömarkkinat
- Reservimarkkinat
- Muu: _____

4. Onko yhtiöllänne tällä hetkellä käytössä spot-hintaan ja tuntimittaukseen perustuva tuntituote?

Merkitse vain yksi soikio.

- Kyllä
- Ei

5. Miten suuri osuus (%) pienasiakkaista ostaa sähkönsä 1-aikaisella tuotteella (ns. yleissähkö)?

2-aikaisella tuotteella (ns. aikasähkö tai kausisähkö)?

Tuntihinnoitteluun pohjautuvalla tuotteella?

Muulla tuotteella (mikä?)

6. Jos käytössänne on spot-hintaan perustuva myyntituote niin arvioikaa, miten se on vaikuttanut asiakkaidenne kulutuskäyttäytymiseen ja miten paljon hinnoittelu on vaikuttanut tuntitehoihin kalliimpien tuntien aikana?

7. Näettekö tarvetta asiakkaidenne kuormien ohjaamiselle?

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

	Kyllä, tällä hetkellä	Kyllä, tulevaisuudessa 5-10 vuoden päästä	Ei	En osaa sanoa
Erilliskäskyllä ohjattavat kuormat (esim. kuormien pudottaminen seuraavalla käyttötunnilla)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kerran vuorokaudessa päivitettävän ohjausajataulun mukaan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Tarjoaako yhtiönne palveluita kotitalousasiakkaille, jotka mahdollistavat tuntipohjaisen spot-tuotteen pohjalta asiakkaan kysyntäjoustop?

Merkitse vain yksi salkio.

Kyllä

Ei

Jos vastasitte kyllä, niin millaisia palveluita yhtiönne tarjoaa?

9. Tarjoaako yhtiönne palveluita kotitalousasiakkaille, jotka mahdollistavat kysyntäjoustop tarjoamisen säätö- ja reservimarkkinoille?

(Olettaen, että asiakkaalla on mahdollisuus kuormanohjaukseen ja kuormanohjaus täyttää markkinapaikalle asetetut vaatimukset.)

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Kyllä, reservimarkkinoille
- kyllä, säätösähkömarkkinalle
- Ei
- Muu: _____

10. Tarjoaako yhtiönne kotiautomaattioratkaisuja (HEMS) suoraan tai jonkin yhteistyökumppanin kautta seuraavien kuormitusten ohjaukseen? Jos ei, niin mitkä asiakkaan kuormitukset näette potentiaalisina vaihtoehtoina?

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

	Yhtiöllämme on jo käytössä ratkaisu seuraavien kuormitusryhmien ohjaamiseen	Potentiaaliset kuormitusryhmät kuormanohjauskohteina
Suora sähkölämmitys	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varaava sähkölämmitys (isot vesivaraajat)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Käyttövesivaraaja (sähkölämmityskodit)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varaava lattialämmitys	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Öljylämmitys (sähkövastus öljykattilassa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lämpöpumput	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihtokoneet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jäähdytyslaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kylmälaitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Valaistus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kodinkoneet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Täyttävätkö yhtiönne tarjoamat kotiautomaattioratkaisut (HEMS) kuormien ohjauksen vaatimukset, jotka on asetettu reservimarkkinoille?

Esimerkiksi voidaan kuormanohjaus toteuttaa riittävän nopeasti ja onko kuormanohjausten onnistumisen todennäköisyys riittävä.

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa
- Muu: _____

12. Asiakkaan sähkösopimus kotiautomaatiojärjestelmän (HEMS) tilauksen yhteydessä.

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
Onko Kotiautomaatiojärjestelmän tilaaminen sidottu määräaikaiseen sähkösopimukseen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Onko kotiautomaatiojärjestelmän takaisinmaksu sidottu sähkön kuukausimaksuun?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Onko kotiautomaatiojärjestelmä yhteensopiva muiden sähkönmyyjien tarjoamien palveluiden tai ohjaussovellusten kanssa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Mikä on kriittinen piste kysyntäjousteille, jotta yhtiönne lähtisi kehittämään aktiivisesti kysyntäjouste tuotteita. Kysyntäjouste palveluista kiinnostuneiden kotitalousasiakkaiden määrä?

Ohjattavan kuorman määrä, MW?

Vuotuinen nettohyöty, € (lisätulot – lisäkustannukset)?

17. Kuinka merkittävänä näette seuraavat asiat yhtiönne toiminnan kannalta seuraavien 5-10 vuoden aikana?

0 = ei merkitystä ... 5 = erittäin suuri merkitys
Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

	0	1	2	3	4	5
Asiakkaiden oma pien tuotanto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sähkön varastointi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hintaperusteinen kysyntäjouste (asiakkaat reagoivat hintasignaaleihin)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kuomien etäohjaukseen perustuva kysyntäjouste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sähköautot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Datahub (keskitetty tiedonvaihto sähkömarkkinoilla)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Myyjävetoinen markkinamalli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asiakkaiden asennemuutokset (energiansäästö, vihreät arvot)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Määräykset koskien energiatehokkuutta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

18. Miten näette kysyntäjousteon vaikuttavan toimintanne riskeihin?

Hintariski (tukkuhinnan vaihtelut), kysyntäriski (asiakasmäärän epävarmuus), volyyimiriski (sähkön hankinnan ja myynnin ero), ...

19. Mitkä ovat mielestänne suurimmat esteet kysyntäjousteon laajamittaiselle hyödyntämiselle, jotka tulisi ensisijaisesti ratkaista?

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Tietojärjestelmärajapintojen standardien puute
- Taloudellinen hyöty jää liian pieneksi
- Ohjattavien kuomien määrä
- Markkinamallit eivät sovellu tarpeeksi hyvin kysyntäjousteon hyödyntämiselle
- Tiedon puute asiakkailta
- Puutteet asiakkaiden kannustimista osallistua kysyntäjousteon
- Puutteelliset lait ja asetukset
- Valmiiden käytäntöjen ja tuotteiden puute
- Muiden sähkömarkkinaosapuolien motivaation puute
- Muu: _____

20. Näettekö, että asiakkaiden kuormien ohjauksesta syntyy ristiriitoja eri toimijoiden välillä?

(Jakeluverkkoyhtiö, myyntiyhtiö, asiakas, kantaverkkoyhtiö ja aggregaattori.)

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

Jos vastasitte kyllä, niin millaisia ristiriitoja ja minkä toimijoiden välillä

21. Jos vastaatte myös alueellanne sähkönsiirrosta, minkälainen siirtotariffi teillä on käytössä sähkölämmitteisille omakotitaloille?

22. Löytyykö tuotevalikoimastanne aurinkopaneelipaketteja?

Merkitse vain yksi soikio.

- Kyllä. Pakettiin kuuluu toimitus, asennus ja kytkentä
- Kyllä. Pakettiin kuuluu toimitus, asennus, kytkentä ja automaatiojärjestelmä sen tuotannon ohjaukseen
- Ei
- Muu: _____

23. Yhtiönne pientuotantoa omistavien asiakkaiden määrä, n. kpl?

Pientuotannon kokonaismäärä, n. kW?

Tyypillinen pientuotannon koko, n. kW/as.?

24. Onko yhtiöllänne pientuotantoa koskevan ylijäämätuotannon ostosopimuksia asiakkaidenne kanssa?

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- Kyllä
- Ei

Jos vastasitte kyllä, niin millaisia ostosopimuksia yhtiönne tarjoaa?

Vapaa sana; palautetta ja kommentteja kysymyksistä tai asioista, jotka haluatte tuoda esille kysymyksiin liittyen.

|