

Esa Hirn

Kysyntäjouaston laaja näkökulma ja mahdollisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK) -tutkinto

Rakentamisen koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Päivämäärä 21.11.2015

Tekijä Otsikko	Esa Hirn Kysyntäjoustop laaja näkökulma ja mahdollisuudet
Sivumäärä Aika	62 sivua 21.11.2015
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaajat	lehtori Matti Sundgren liiketoimintajohtaja Veijo Pitkäniemi
<p>Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää palveluliiketoimintaa sähkön kysyntäjoustop ympärille. Työn painopiste on taajuusohjatuss käyttöreservissä sekä ohjattavissä kuormissä. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajattiin kotitaloudet, joten työ keskittyy sähkön kysyntäjoustop palvelu- ja liikerakennusten sekä teollisuuden näkökulmasta.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin, millaisissä markkinoissä sähkön kysyntäjoustop on olemassä ja mitä vaatimuksissä kantaverkkoyhtiö Fingrid asettaa toimijoissä sekä ohjattavissä kuormissä. Tutkimuksessä selvitettiin myös mahdollissä teknissä ratkaisussä ja järjestelmissä kysyntäjoustopomarkkinoissä palveluntarjoajan näkökulmasta.</p> <p>Opinnäytetyön aikana toteutettiin kysyntäjoustoposelvitys teollisuuden pilottikohteessä. Pilotikohteessä kartoitettiin teollisuuslaitoksen sähkölaitteistot ja etsittiin potentiaalissä sähkön kysyntäjoustopkohteissä yhteistyössä laitoksen henkilökunnan kanssa. Kartoituksen perusteella valittiin potentiaalissimmit sähkön kysyntäjoustopkohteet ja tehtiin laskelmat kysyntäjoustop ansaintamahdollisuussä. Lisässi selvitettiin teknissä ratkaisut kysyntäjoustop toteuttamissä pilottikohteessä.</p> <p>Tutkimuksen perusteella luotiin alustavat hinnoittelumallit palveluliiketoimintaa ajatellen.</p>	
Avainsanat	sähkön kysyntäjoustop, taajuusohjattu käyttöreservi, rakennusautomaatio, ohjelmoitava logiikka

Author Title	Esa Hirn Demand-side management – wide perspective and possibilities
Number of Pages Date	62 pages 21 Nov 2015
Degree	Master Of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Matti Sundgren, Senior Lecturer Veijo Pitkaniemi, Business Area Director
<p>The objective of the Master's thesis was to develop a business model for demand-side management in electricity markets with the focus on frequency controlled consumption reserves and controlled loads. The final year project concentrated on commercial and industrial buildings. Households were excluded from the study.</p> <p>The thesis studied the existing markets for demand-side management and the requirements set by the nation-wide transmission grid company Fingrid for operators and controlled loads. Furthermore, some technical solutions and systems for service providers in the demand-side management market were studied.</p> <p>The thesis was based on a pilot project that investigated demand-side management in an industrial building. In the pilot project the electrical systems of the industrial building were studied, and potential targets for demand-side management actions were discovered in cooperation with the personnel. The targets with most potential were chosen and revenue generation model calculations were done. Various technical solutions for demand-side management were also researched.</p> <p>Tentative pricing models for service providers in the demand-side management market were developed on the basis of this thesis.</p>	
Keywords	demand-side management, building automation, programmable logic controller

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkön tuotanto Suomessa	3
3	Sähköverkon jännite ja taajuus	4
4	Kysyntäjoustopon nykytilanne ja tulevaisuus Suomessa	5
4.1	Pilottiprojektit Suomessa	5
4.1.1	Pakastevaraston hyödyntäminen sähkön kysyntäjoustopossa	5
4.1.2	Pienten varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien hyödyntäminen kysyntäjoustopossa	6
4.1.3	Kauppakeskusten varavoimakoneiden ja kuormien hyödyntäminen kysyntäjoustopossa	8
5	Kysyntäjoustopon markkinapaikat ja tarvittavat sopimukset	9
6	Reservimarkkinoiden eri reservilajit	11
7	Taajuuden vakautusreservit	12
7.1	Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	12
7.2	Taajuusohjattu häiriöreservi, (FCR-D)	13
7.3	Taajuuden vakautusreservien hankinta	14
7.4	Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservien markkinapaikat	15
7.4.1	Taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoiden reservikorvaus	16
7.4.2	Taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkinoiden reservikorvaus	16
7.5	Taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinat	17
7.6	Taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinat	18
7.7	Tiedonvaihtoperiaatteet taajuusohjatussa käyttö- ja häiriöreservissä	18
8	Taajuuden palautusreservit	20
8.1	Automaattisen taajuudenhallintareservin hankinta	20
8.2	Automaattisen taajuudenhallintareservin reservikorvauksen ja tiedonvaihdon pääperiaatteet	21
8.3	Nopea häiriöreservi FRR-M	22
8.4	Säätösähkömarkkinat	24
8.5	Säätösähkömarkkinoiden tarjousten ja viestinnän pääperiaatteet	25
9	Elsport- ja Elbas-sähkömarkkinat	27

10	Kysyntäjoustopotentialit kiinteistökohteissa	28
10.1	Ilmanvaihto	31
10.2	Jäähdytys	32
10.3	Varavoima ja UPS-järjestelmät	32
10.4	Tilojen sähkölämmitykset ja käyttöveden lämmitys	32
10.5	Autolämmitykset	33
10.6	Sulanapidot	33
10.7	Valaistus	33
11	Kysyntäjoustopotentialit teollisuuskohteissa	34
11.1	Metsäteollisuus	34
11.2	Kone- ja metalliteollisuus	34
11.3	Rakennustuoteteollisuus	35
11.4	Elintarviketeollisuus	35
11.5	Kemianteollisuus	35
11.6	Kaivannaisteollisuus	35
11.7	Kasvihuoneet	36
11.8	Vedenkäsittely	36
12	Tekniset ratkaisut ja järjestelmät	37
12.1	Taajuusmittaus	37
12.2	Saia-pcd ohjelmoitava logiikka	38
12.3	Kiinteistöautomaatio	40
12.3.1	Schneiderin automaatiojärjestelmä	40
12.3.2	Siemensin automaatiojärjestelmä	40
12.3.3	Honeywellin automaatiojärjestelmä	40
12.4	Valvomojärjestelmät	41
12.5	Raportointijärjestelmä	41
13	Kysyntäjoustoselvitys pilottikohteessa	42
13.1	Voimalaitos	42
13.1.1	Termokompressori	43
13.1.2	Lauhdepumput	44
13.2	Tilojen ilmanvaihto	45
13.3	Vesilaitos	45
13.3.1	Suolanpoiston kemiallisen veden pumppu	46
13.3.2	Tasausaltaan pumppu	46
13.4	Jäteveden puhdistamo	46
13.4.1	Ilmastuskompressorit	47

13.4.2	Lietealtaan pumppu	47
13.5	Jäteveden lämmön talteenotto	48
13.6	Rullakuljettimet	48
13.7	Pienvesivoimalaitos	48
13.8	Valaistus	49
13.9	Saattolämmitykset ja sulanapidot	50
13.10	Huonetilojen jäähdtykset	50
13.11	Varavoima ja UPS-järjestelmät	50
13.12	Trukkilataamo	50
14	Kysyntäjoustop markkinapaikat, reservikorvaukset ja ohjattavat kuormat pilottikohteessa	51
14.1	Kuormien ohjausjärjestys	51
14.2	Termokompressori	53
14.3	Pienvesivoimalaitos	53
15	Hinnoittelumallien määritys	54
15.1	Hinnoittelumallit	55
15.1.1	Hyödynjakomalli	55
15.1.2	Kuukausipalveluveloitus	55
15.1.3	Aggregaattorimalli	56
16	Yhteenveto	57
	Lähteet	58

1 Johdanto

Työn taustaa

Sähkön tuotannon ja kulutuksen täytyy olla sähköverkossa yhtä suuret. Jos kulutus on tuotantoa suurempi, lähtee sähköverkon taajuus laskemaan alle 50 hertsiin. Jos taas tuotanto on kulutusta suurempi, lähtee sähköverkon taajuus nousemaan yli 50 hertsiin. (1.) Sääriippuvaisen uusiutuvan energian tuotannon sekä joustamattoman ydinvoiman määrät tulevat kasvamaan sähköverkossa. Tulevaisuudessa kysyntäjousto on yksi toimenpiteistä, jolla pyritään turvaamaan nykyisen sähkömarkkinamallin säilyminen. Kysyntäjoustolla voidaan siirtää kulutusta kulutushuippujen ja kalliiden tuntihintojen ajalta edulliseen ajankohtaan tai muokata sähkön käyttöä hetkellisesti, jotta tehotasapaino sähköverkossa säilyy. (2.)

Kysyntäjoustolla saadaan sopeutettua sähkön tuotannon ja kysynnän määrät kaikille osapuolille edullisella tavalla sekä saadaan vähennettyä huipputuotantokapasiteetin tarvetta, mikä parantaa sähköverkon toimitusvarmuutta sekä tasapainottaa sähkömarkkinoiden toimintaa. (3, s. 3.)

Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää millaisia markkinapaikkoja sähkön kysyntäjoustoille on nykyään olemassa. Lisäksi tavoitteena on selvittää mitä vaatimuksia Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid asettaa kysyntäjoustoprojektoille sekä ohjattaville kuormille. Tutkimuksessa selvitetään myös millaisilla teknisillä ratkaisulla ja järjestelmillä sähkön kysyntäjoustopaikoille voidaan osallistua.

Opinnäytetyö keskittyy erityisesti taajuusohjattuun käyttöreserviin, jossa vaadittava minimisäätö on 0,1 megawattia ja vaadittu aktivoitumisaika on kolme minuuttia. Taajuusohjatussa käyttöreservissä voidaan vaihtoehtoisesti osallistua tunti- tai vuosimarkkinoille. Sähkön kysyntäjousto on käsitelty palvelu- ja liikerakennusten sekä teollisuuden näkökulmasta, koska niissä oletetaan olevan suurin asiakaspotentiaali aggregaattorin näkökulmasta. Aggregaattori on yritys, joka muodostaa pienkulutuksesta tai sähkön tuotannosta suuremman kokonaisuuden. Suuremmalla kokonaisuudella voidaan osallistua sähkön kysyntäjoustopaikoille. (2.)

Työn toteutus

Kysyntäjoustopotentiaalien käytännön selvitykset toteutettiin teollisuuden pilottikohteessa. Pilottikohteessa selvitettiin yhteistyössä käyttöhenkilökunnan kanssa, mitä sähkön kulutuskohteita voitaisiin ottaa sähkön kysyntäjouston piiriin. Lisäksi käytännön tutkimuksessa selvitettiin soveltuvat markkinapaikat, kysyntäjoudesta saatavat reservikorvaukset sekä alustavat ohjausratkaisut sähkön kysyntäjousta ajatellen.

Opinnäytetyön perusteella luotiin alustavat hinnoittelumallit tulevaa palveluliiketoimintaa ajatellen.

2 Sähkön tuotanto Suomessa

Pöyry Management Consulting Oy:n tekemän selvityksen mukaan sähköenergia tuotetaan Suomessa pääosin ydinvoimalla, vesivoimalla sekä yhteistuotanto- ja lauhdevoimalaitoksilla (4, s. 4). Edellä mainittujen tuotantomuotojen lisäksi Suomesta on sähkönsiirtoyhteydet Ruotsiin, Viroon ja Venäjälle. Venäjän maksimituontiteho on 1 460 megawattia, Viron maksimituontiteho 1 000 megawattia ja Ruotsin maksimituontiteho on 2 700 megawattia. (4, s. 29.)

Pöyry Management Consulting Oy:n tekemästä selvityksestä selviää myös, että Suomen sähkön nimellinen tuotantokapasiteetti oli noin 15 500 megawattia vuonna 2014. Vuonna 2014 huippukulutus oli noin 14 330 megawattia tunnissa, kun samanaikainen tuotantokapasiteetti oli vain noin 11 482 megawattia tunnissa. Tuotantokapasiteetti käsittää tuulivoimalla, lauhdevoimalla, vesivoimalla, ydinvoimalla sekä lämmön ja sähkön yhteistuotannolla tuotetun sähkön, mutta ei vara- ja huippukulutuslaitoksia. Vuoden 2014 huippukulutuksen aikaan tehovaje oli lähes 3 000 megawattia, joten huippukulutuksen aikaan ollaan täysin tuontisähkön eli Ruotsin, Viron ja Venäjän sähkönsiirtoyhteyksien varassa. (4, s. 14–16.) Tuontisähkön avulla pystytään kattamaan kuitenkin nykyisellään tehovaje sähköverkossa, jos sähkönsiirtoyhteydet naapurimaihin toimivat ongelmitta (4, s. 29).

3 Sähköverkon jännite ja taajuus

Suomessa kotitalouksissa käytetään yleensä 230/400 voltin vaihtosähköä, jossa jännite värähtelee sinimuotoisena 50 kertaa sekunnin aikana eli 50 hertsin taajuudella (5).

Sähköverkon taajuus saa normaalitilanteessa vaihdella 49,9 hertsin ja 50,1 hertsin välillä. Jos sähköverkon taajuus on alle 50 hertsiä, sähkön kulutusta on sähkön tuotantoa enemmän. Taajuuden ollessa yli 50 hertsiä sähkön tuotanto on taas sähkön kulutusta suurempi. Pohjoismaiseen sähköjärjestelmään kuuluvat Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska. Pohjoismainen sähköjärjestelmä on yhdistetty yhdeksi isommaksi kokonaisuudeksi sähkön siirtoverkon kautta. Yhteiskäyttöjärjestelmässä sähkön tuotannon sekä sähkön kysynnän välistä tehotasapainoa pidetään yllä kantaverkkoyhtiöiden kesken sovittujen toimintaperiaatteiden mukaan. (1.)

Taajuuden lisäksi sähköverkossa valvotaan synkroniaikaa, jossa sallittu aikapoikkeama on maksimissaan 30 sekuntia. Kuvassa on esitetty tunnissa syntyvän aikavirheen laskenta taajuuspoikkeaman ollessa 0,1 hertsiä. Kuvasta nähdään, että 0,1 hertsin taajuuspoikkeama aiheuttaa tunnissa 7,2 sekunnin aikapoikkeaman. (6, s. 5.)

$$\Delta t = \int \frac{t - t_0}{f_0} dt$$

$$\Delta t = \int_0^{3600} \frac{0,1}{50} dt = 7,2s$$

Kuva 1. Taajuuspoikkeamasta syntyvän aikavirheen laskenta (6, s. 5).

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid vastaa Suomen sähkön tuotannon ja kysynnän välisestä tehotasapainon ylläpidosta, josta käytetään myös nimitystä tasehallinta. Tasehallintaan liittyvä valvonta tapahtuu Fingridin voimajärjestelmäkeskuksessa. Tasehallinnan tärkein tavoite Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä on ylläpitää sähköverkon taajuutta. Sähköverkon taajuus on paras sähkön tuotannon sekä sähkön kysynnän välisen tehotasapainon mittari. Sähköverkon taajuus vaihtelee vähemmän, kun tehotasapaino säilyy ja tällöin sähkönlaatukin on yleisesti parempi. (1.)

4 Kysyntäjoustop nykytilanne ja tulevaisuus Suomessa

Vuonna 2015 Suomessa kysyntäjoustop määrät ovat Elspot-markkinoilla arviolta 200–600 megawattia, säätösähkömarkkinoilla arviolta 100–300 megawattia, taajuusohjatussa häiriöreservissä 70 megawattia, nopeassa häiriöreservissä 354 megawattia ja tehoreservissä 40 megawattia. (2.)

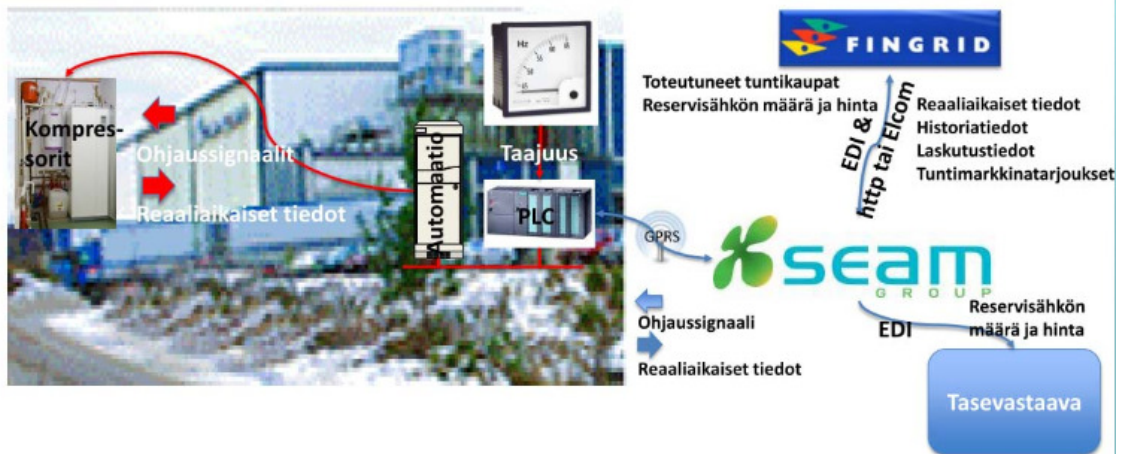
Poliittinen tahtotila tukee kysyntäjoustop yleistymistä Euroopassa. Myös tekniikan yleinen kehittyminen, kuten tuntiluettavat energiamittarit ja kiinteistöautomaattioratkaisut edistävät kysyntäjoustop ratkaisujen syntymistä. (7, s. 13.)

4.1 Pilottiprojektit Suomessa

Vuonna 2015 Suomessa oli käynnissä muutamia pilottiprojekteja liittyen sähköns kysyntäjoustop. Opinnäytetyöhön otettiin tarkasteluun palvelu- ja teollisuuskiinteistöissä käynnissä olevat pilottihankkeet. Näiden hankkeiden lisäksi Suomessa on tutkittu kotitalouksien osallistumista sähköns kysyntäjoustop, joka rajattiin työn ulkopuolelle.

4.1.1 Pakastevaraston hyödyntäminen sähköns kysyntäjoustop

KWH Freeze ja kysyntäjoustop aggregaattori SEAM Group ovat toteuttaneet pilottiprojektin pakastevaraston hyödyntämisestä taajuusohjatussa käyttöreservissä. Vantaalla sijaitsevan pakastevaraston rakennustilavuus on 400 000 m³, ja pilottikohteen maksimiteho on kolme megawattia. Pilottiprojektissa muokataan muun muassa kylmäkoneiden, höyrystimien ja lauhduttimien ohjausautomaatiota reagoimaan sähköverkon taajuusmuutoksiin ja säätämään laitteiden tehoja sähköverkon taajuusmuutoksien mukaan. (8.) Kuvassa 2 on esitetty SEAM Groupin pilottiprojektin projektikaavio.



Kuva 2. Fingrid Oyj:n, KWH Freeze Oy:n ja SEAM Groupin pilottiprojektin projektikaavio (8).

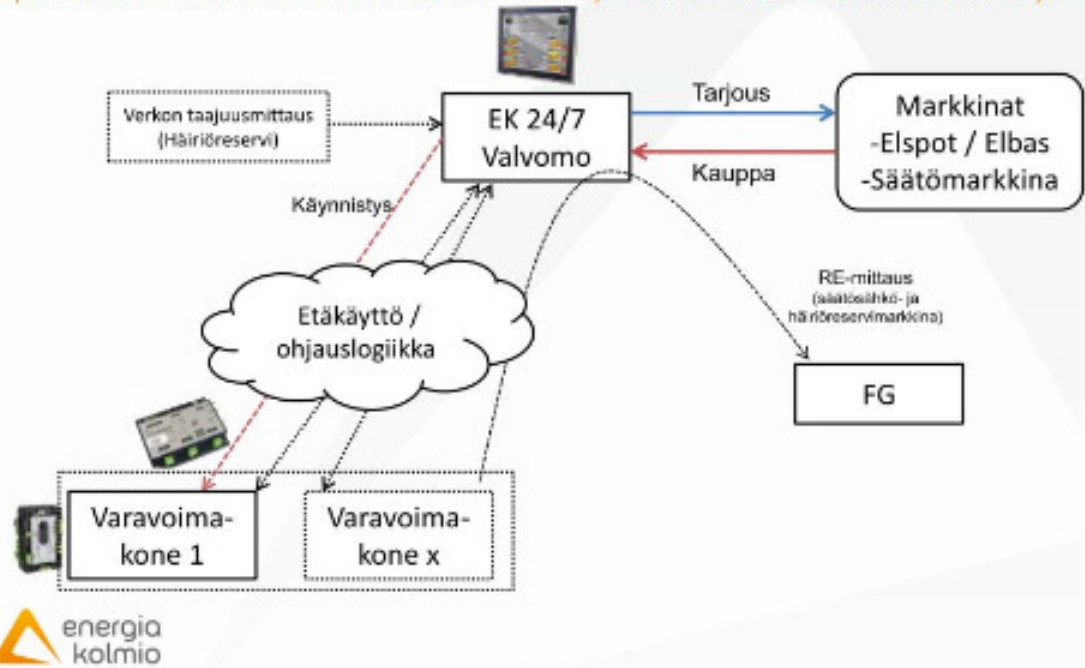
Projektikaaviosta nähdään, että SEAM Groupin pilottiprojektissa käytetään ohjelmoitavaa PLC-logiikkaa (englanniksi Programmable Logic Controller), joka toimii olemassa olevan automaation rinnalla. Taajuusmittaus on liitetty suoraan PLC logiikkaan ja yhteys PLC-logiikkaan toimii GPRS-yhteydellä. SEAM Group toimittaa reservisähkön määrän ja hinnan tasevastaavalleen EDI-sanomina. Lisäksi SEAM Group toimittaa tiedot toteutuneista tuntikaupoista, reservisähkön määrästä ja hinnasta sekä reaaliaikaiset tiedot, historiatiedot, laskutustiedot ja tuntimarkkinatarjoukset. Tiedot toimitetaan EDI-sanomina, Elcom-sanomina tai ftp-siirrolla Fingridille.

4.1.2 Pienten varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien hyödyntäminen kysyntäjoustopissa

Fingrid ja Enegia (entinen Energiakolmio) ovat toteuttaneet pilottiprojektin pienten varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien hyödyntämisestä taajuusohjatussa häiriöreservissä sekä säätösähkömarkkinoilla. Pilottiprojektissa selvitetään eri asiakkaiden ja maantieteellisesti hajautettujen puolen megawatin - yhden megawatin varavoimakoneiden sekä UPS-järjestelmien aggregoimista yhdeksi suuremmaksi kokonaisuudeksi. Aggregaattorina voidaan paremmin osallistua kysyntäjoustopon eri markkinapaikoille. Pilottiprojektissa Enegia toimii aggregaattorina. (9.) Kuvassa 3 on esitetty periaatekuva Enegian toimintamallista.

PERIAATEKUVA TOIMINTAMALLISTA

(SÄÄTÖSÄHKÖMARKKINA JA HÄIRIÖRESERVI / "SEISOVAT VARAVOIMAKONEET")



Kuva 3. Fingrid Oyj:n ja Enegian (entinen Energiakolmio) pilottiprojektin periaatekuva (9).

Periaatekuvasta nähdään, että Enegian pilottiprojektissa varavoimakoneita ohjataan etäkäyttö- ja ohjauslogiikalla. Logiikka on liitetty Enegian keskusvalvomoon. Häiriöreservin sähköverkon taajuusmittaus on myös liitetty suoraan Enegian keskusvalvomoon. Valvomosta lähetetään tarjoukset Elspot- ja Elbas-markkinoille sekä säätösähkömarkkinoille.

UPS-varmennetuissa eli akkuvarmennetuissa kohteissa kuormat ohjataan automaattisesti akkuvarmennuksen perään sähköverkon taajuuden laskiessa. Näissä kohteissa varavoimakoneet ovat vain varalla. Nopeilla varavoimakoneilla varustetuissa kohteissa on testattu, että ne käynnistyvät suoraan sähköverkon taajuuden laskiessa. Varavoimakoneiden on käynnistytävä puolen minuutin kuluessa. UPS-varmennuksella ja riittävän nopeilla varavoimakoneilla voidaan osallistua muun muassa taajuusohjattuun häiriöreserviin. Hitaammin käynnistyvillä varavoimakoneilla voidaan osallistua lähinnä säätösähkömarkkinoille. (9.)

4.1.3 Kauppakeskusten varavoimakoneiden ja kuormien hyödyntäminen kysyntäjoustopissa

S-ryhmän kysyntäjoustopin pilottiprojekti toteutetaan tällä hetkellä seitsemässä Prismassa, jotka ovat Linnainmaa ja Lielähti Tampereella, Forssa, Hämeenlinna, Riihimäki sekä Lahden Holma ja Laune. Hämeenmaan ja Pirkanmaan osuuskauppojen Prismoihin rakennettiin vuoden 2015 alkupuolella kysyntäjoustopjärjestelmät, joilla voidaan ohjata sähkölaitteita automaattisesti sähköverkon taajuusmuutosten mukaan. S-ryhmän pilottihankkeen tarkoituksena on selvittää, pystyvätkö Prismat osallistumaan kysyntäjoustopiin vähentämällä kulutusta sähkön huippukulutustilanteissa ja purkamaan ylituotantoa omiin kiinteistöihinsä. S-ryhmän pilottiprojekti liittyy hankkeeseen, jossa Fingrid etsii uusia ratkaisuja sähkön tuotannon ja kulutuksen välisen tehotasapainon ylläpitoon. (10, s. 8–9.)

S-ryhmän pilottikohteissa on isot varavoimakoneet, joita hyödynnetään vain sähkön korkeiden hintapiikkien aikana. Varavoimakoneiden lisäksi projektissa hyödynnetään kauppojen eri sähkölaitteistoja, joita ovat muun muassa ilmanvaihtokoneet, lämpöpumput, saattolämmitykset ja ulkovalaistukset. Sähkölaitteet on valittu siten, että noin puolen tunnin sammutus ei vaikuta merkittävästi olosuhteisiin. Säädot ovat täysin automaattisia, joten ne eivät aiheuta tilojen käyttäjille ylimääräistä työtä eivätkä asiakkaat havaitse säätoja lainkaan. Mittauksen perusteella lähetetään säätökäsky välityslaitteistoon, josta se välitetään taloautomaatioon. (10, s. 8–9.)

S-ryhmän hankkeen aikana on tarkoitus selvittää, mitä sähkölaitteita kauppakeskuksissa voitaisiin säätää. Lisäksi hankkeessa selvitetään, mihin tehoreservimarkkinoille ohjattavat sähkölaitteistot teknisesti parhaiten soveltuvat. Kauppakeskuksissa on monenlaisia sähkölaitteita, jotka mahdollistavat osallistumisen eri tehoreservimarkkinoille. Yksittäisestä kauppakeskuksesta voidaan ottaa ohjaukseen yksi sähkönkulutuksen osa-alue ja yhdistää ne isommaksi kokonaisuudeksi aggregoinnin avulla. Aggregoinnin jälkeen ne voidaan tarjota isompana pakettina parhaiten soveltuvalla kysyntäjoustopin markkinapaikalle. (10, s. 8–9.)

5 Kysyntäjoustop markkinapaikat ja tarvittavat sopimukset

Kysyntäjoustoplla voidaan osallistua tällä hetkellä eri tehoreservimarkkinoille sekä Elspot- ja Elbas-markkinoille. Osallistuminen käyttö- tai häiriöreserviin voi käytännössä tarkoittaa esimerkiksi muutaman sekunnin mittaista tehon vähennystä useamman kerran päivässä tai esimerkiksi tunnin katkoa kerran kymmenen vuoden aikana. Mikäli tehoa pystytään säätämään joustavasti, sähkökatkoa ei välttämättä synny lainkaan. (11.)

Kysyntäjoustop markkinapaikoille tarvitaan sopimussuhde eri osapuolten kesken. Tasevastaavat voivat osallistua säätösähkömarkkinoille tasepalvelusopimuksen avulla. Tasevastaavan taseessa oleva sähkömarkkinaosapuoli voi osallistua säätösähkömarkkinoille suoraan Fingridin kanssa tehdyn säätösähkömarkkinasopimuksen avulla. Lisäksi tasevastuusta sovitaan avoimen sähköntoimittajan kanssa. (12.)

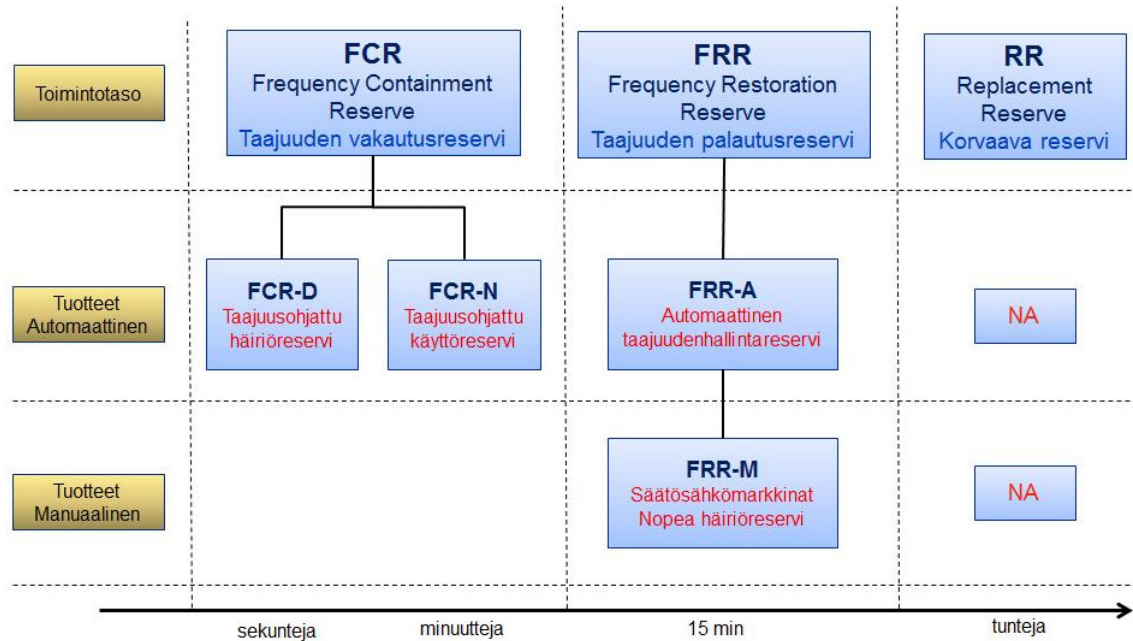
Tehoreservimarkkinoille tarvitaan aina vuosimarkkina-, tuntimarkkina- tai pitkäaikaisempi sopimus ja Elspot- ja Elbas-markkinoille sopimus Nord Pool Spotin kanssa. Sopimus pitää tehdä jokaiselle reservilajille erikseen. Kaikille edellä mainituille markkinapaikoille tehdään myös sopimus avoimen sähköntoimittajan kanssa, jossa sovitaan tasevastuusta. (12.) Taulukossa 1 on esitetty markkinapaikkojen sopimustyytit, minimisäädöt, vaaditut aktivoitumisajat sekä vuoden 2014 korvaustasot.

Taulukko 1. Markkinapaikkojen viitteelliset korvaustasot vuonna 2014 ja teknisten vaatimusten pääkohdat (11).

Markkinapaikka	Sopimustyyppi	Minimi-säätö	Vaatus- aktivoitumis- ajalle	Aktivoituu	Korvaustaso 2014 *)
Taajuusohjattu käyttöreservi	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	3 min	Jatkuvasti	15,8 €/MW,h (vuosi- markkinat) + energiyahinta
Taajuusohjattu häiriöreservi	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	5 s / 50% 30 s / 100%, kun f alle 49,9 Hz TAI 30 s, kun f alle 49,7 Hz ja 5 s, kun f alle 49,5 Hz	Useita kertoja vuoro- kaudessa	4,03 €/MW,h (vuosi- markkinat)
Taajuusohjattu häiriöreservi (on-off-malli)	Pitkäaikainen sopimus	10 MW	Välittömästi, kun f alle 49,5 Hz	N. kerran vuodessa	~0,5 €/MW,h + 580 €/MWh + aktivointi- korvaus 580 €/MW
FRR-A	Tuntimarkkinat	5 MW	Alettava 30 s kuluessa signaalin saapumisesta, oltava täysmääräisesti aktivoitunut 2 minuutissa	Useita kertoja vuorokaudessa	tuntimarkkinat + energiyahinta
Säätösähkö- markkinat	Tuntimarkkinat	10 MW	15 min	Tarjousten mukaan, useita kertoja vuoro- kaudessa	Markkina-hinta
Nopea häiriöreservi	Pitkäaikainen sopimus	10 MW	15 min	N. kerran vuodessa	~0,5 €/MW,h + 580 €/MWh
Elspot **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	12 h	-	Markkina-hinta
Elbas **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	1 h	-	Markkina-hinta
Tehoreservi ***)	Pitkäaikainen sopimus	10 MW	15 min	Harvoin	-

6 Reservimarkkinoiden eri reservilajit

Reservimarkkinat määritellään niiden käyttötarkoituksen mukaan kolmeen eri ryhmään, jotka ovat taajuuden vakautusreservit, taajuuden palautusreservit ja korvaavat reservit (13). Kuvassa 4 on esitetty eri reservimarkkinoiden reservilajit.



Kuva 4. Eri reservilajit (13).

Sähköverkon taajuuden hallinnassa käytetään jatkuvasti taajuuden vakautusreservejä. Taajuuden palautusreserveillä palautetaan sähköverkon taajuus normaalialueelle sekä vapautetaan aikaisemmin aktivoituneet taajuuden vakautusreservit takaisin normaalille alueelle. Sähköverkon häiriötilanteiden jälkeisiin mahdollisiin uusiin vikoihin varaudutaan korvaavilla reserveillä. Korvaavat reservit palauttavat aiemmin aktivoituneet taajuuden palautusreservit takaisin valmiustilaan. Pohjoismaisessa voimalajärjestelmässä korvaavia reservejä ei käytetä lainkaan. (13.)

7 Taajuuden vakautusreservit

Taajuuden vakautusreservit koostuvat taajuusohjatusta käyttöreservistä (FCR-N) ja taajuusohjatusta häiriöreservistä (FCR-D), jotka ovat sähköverkon taajuusmuutoksista aktivoituvia tehoreservejä. Taajuuden vakautusreservit ovat jatkuvasti käytössä sähköverkon taajuuden hallinnassa. Taajuusohjatuille käyttö- ja häiriöreserville on olemassa omat markkinapaikkansa. Taajuusohjattu käyttöreservi pyrkii pitämään sähköverkon taajuuden normaalialueella, joka on 49,9 hertsistä 50,1 hertsiin. Taajuusohjatuilla häiriöreservillä pyritään pitämään sähköverkon taajuus vähintään 49,5 hertsissä, kun taajuus laskee normaalialueen ulkopuolelle. (14.) Taulukossa 2 on esitetty tiivistetysti taajuuden vakautusreservien säätöjen vähimmäiskoot, aktivoitumisajat sekä muuta olennaista tietoa reserveistä. Taulukosta nähdään, että säädön vähimmäiskoko taajuusohjatussa käyttöreservissä on 0,1 megawattia ja taajuusohjatussa häiriöreservissä yksi megawatti.

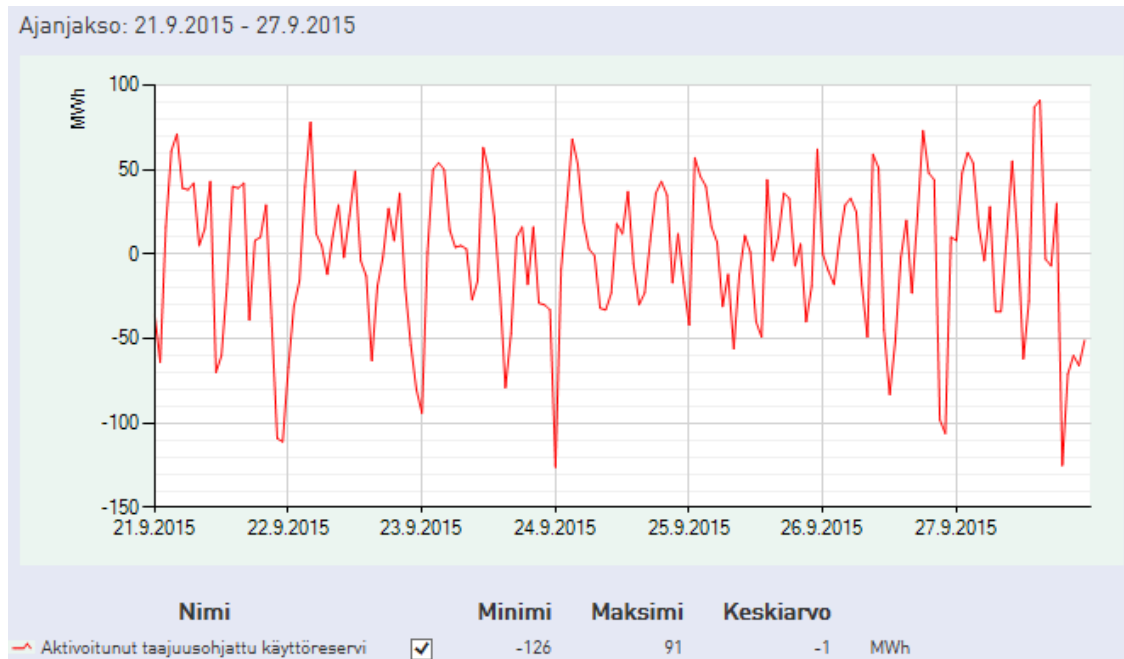
Taulukko 2. Taajuuden vakautusreservit ja niiden pääperiaatteet (14).

	Säädön vähimmäiskoko		Aktivoitumisaika	Muuta
Taajuusohjattu käyttöreservi	0,1 MW		3 min ± 0,1 Hz askelmaisella taajuusmuutoksella	Kuollut alue max ±0,05 Hz, statiikka max 6 %
	Säädön vähimmäiskoko		Aktivoitumisaika	Muuta
		Voimalaitosreservit	5 s / 50 % 30 s / 100 %, kun taajuus 49,50 Hz	
Taajuusohjattu häiriöreservi	1 MW	Relekytketyt kuormat	Välittömästi, kun taajuus 30 s ≤ 49,70 Hz tai 5 s ≤ 49,50 Hz	Kuorman saa kytkeä takaisin verkkoon, kun taajuus vähintään 49,90 Hz viisi minuuttia
		Seisovat varavoimakoneet	Säädön tulee olla aktivoitunut, kun taajuus 30 s ≤ 49,70 Hz	Koneen saa kytkeä irti verkosta, kun taajuus vähintään 49,90 Hz viisi minuuttia

7.1 Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)

Taajuusohjatusta käyttöreservistä käytetään lyhennettä FCR-N (englanniksi frequency containment reserve for normal operation). Taajuusohjattuun käyttöreserviin voi osallistua jo 0,1 megawatin eli sadan kilowatin kuormalla. Taajuusohjattua käyttöreserviä säädetään sähköverkon taajuuden perusteella jatkuvasti useita kertoja tunnissa molempiin suuntiin. Säättö pitää olla kokonaan aktivoitunut 0,1 hertsin taajuusmuutoksen seurauksena kolmen minuutin kuluessa, kun sähköverkon taajuus poikkeaa 50 hertsis-

tä. Taajuusohjatun käyttöreservin reservin pitää pystyä siis säätämään portaattomasti taajuusalueella 49,9 hertsistä 50,1 hertsiin. (15, s. 2.) Kuvassa 5 on esitetty taajuusohjatun käyttöreservin aktivoituminen yhden viikon aikana vuonna 2015.



Kuva 5. Taajuusohjatun käyttöreservin aktivoituminen syyskuun viikolla (16).

Kuvasta nähdään, että taajuusohjatun käyttöreservin säätö on käytännössä koko ajan jatkuvaa molempiin suuntiin. Laitteiden jatkuva sammuttaminen ja käynnistäminen voivat lyhentää merkittävästi laitteiden käyttöikää, mikä pitää huomioida ohjauksia suunniteltaessa. Tämän takia taajuusmuuttajilla ohjattavat kuormat soveltuvat parhaiten taajuusohjattuun käyttöreserviin, koska niitä voidaan tarpeen vaatiessa ohjata pienemmälle tai suuremmalle laitetta merkittävästi rasittamatta. Taajuusohjatun käyttöreservin on todettu olevan potentiaalisin kysyntäjoustotuote maksetun reservikorvauksen ja kolmen minuutin aktivoitumisviiveen ansiosta. Lisäksi markkinoille voidaan osallistua jo suhteellisen pienillä ohjattavilla kuormilla.

7.2 Taajuusohjattu häiriöreservi, (FCR-D)

Taajuusohjatusta häiriöreservistä käytetään lyhennettä FCR-D (englanniksi frequency containment reserve for disturbances). Taajuusohjattuun häiriöreserviin voi osallistua yhden megawatin minimikuormalla. Ohjattavan kuorman tulee irtikykytyä välittömästi sähköverkon taajuuden ollessa 49,7 hertsiä tai sen alle puolen minuutin ajan. Kuorman

tulee myös irtikytkeytyä heti sähköverkon taajuuden ollessa 49,5 hertsiä tai sen alle viiden sekunnin ajan. (15, s. 2.)

Sähköverkon taajuuspoikkeamasta käynnistyvän varavoimakoneen ylläpitämisen taajuusohjatun häiriöreservin tulee olla kokonaan aktivoitunut taajuuden ollessa puolen minuutin ajan 49,7 hertsiä tai sen alle. Reservinhaltija saa kytkeä irtikytkeytyt kuormat takaisin sähköverkkoon sekä varavoimakoneet pois sähköverkosta sähköverkon taajuuden ollessa viiden minuutin ajan vähintään 49,9 hertsiä. (15, s. 2.)

Taajuusohjatussa häiriöreservissä käytetyn relekytketyn kuorman määrä täytyy todentaa askelvastekokeella 0,1 megawatin tarkkuudella. Relekytketyistä kuormista reservinhaltijan pitää toimittaa Fingridille testitulokset kysyntäjoustolaitteiston säätökyvyn todentamisesta sekä kysyntäjoustop ohjausjärjestelmän käyttöönottamisesta taajuusohjatussa häiriöreservissä. Lisäksi Fingridille tulee toimittaa luotettava selvitys ohjattavan kuorman takaisinkytkennästä sekä mahdollisen varavoimakoneen irtikytkeymisen käytännön toteutuksesta. Jos luotettavia testituloksia ei toimiteta Fingridille, ohjattavaa kuormaa tai varavoimakonetta ei tarvitse hyväksyä taajuusohjatun häiriöreservin ylläpitoon. (17, s. 11.)

Taajuusohjattuun häiriöreserviin voidaan osallistua yhden megawatin säädettävällä kuormalla ja se aktivoituu useita kertoja vuorokaudessa. Haasteena voidaan pitää sitä, että vaadittu aktivoitumisviive on puoli minuuttia. Lisäksi vaadittu yhden megawatin kuorma on yksittäisessä kohteessa hankala saavuttaa. Tämän takia taajuusohjattuun häiriöreserviin voidaankin osallistua lähinnä aggregaattorina, jolloin useamman kiinteistön ohjattavat kuormat kootaan yhden toimijan ohjaukseen suuremmaksi kokonaisuudeksi.

7.3 Taajuuden vakautusreservien hankinta

Fingrid hankkii taajuuden vakautusreservejä muun muassa vuosimarkkinoilta sekä päivittäisellä hankinnalla tuntimarkkinoilta. Taulukossa 3 on esitetty vuosi- ja tuntimarkkinoiden periaatteelliset erot. Taulukosta nähdään, että taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin tuntimarkkinoille voidaan osallistua kesken kalenterivuoden eikä sen edellytyksenä ole vuosimarkkinoille osallistumista. Vuosimarkkinoiden tarjouskilpailu pidetään vuosittain syksyllä seuraavalle kalenterivuodelle. Kesken vuosisopimuskauden ei ole mahdollista osallistua reservien ylläpitoon vuosimarkkinoilla. (18.)

Taulukko 3. Vuosimarkkinoiden ja tuntimarkkinoiden erot (18).

Vuosimarkkinat	Tuntimarkkinat
Tarjouskilpailu järjestetään kerran vuodessa (syksyllä).	Reservinhaltija voi osallistua tuntimarkkinoille tekemällä siitä erillisen sopimuksen Fingridin kanssa, eikä se edellytä vuosisopimuksen tekemistä.
Kesken sopimuskauden ei ole mahdollista tulla mukaan reservin ylläpitoon vuosisopimuksella.	Tuntimarkkinoille mukaantulo on mahdollista myös kesken vuoden.
Reservisuunnitelmien mukainen määrä ostetaan täysmääräisesti.	Tarvittava määrä tarjouksia käytetään hintajärjestyksessä periaatteella halvin ensin.
Reservisuunnitelmat jätettävä edellisenä päivänä <u>klo 18.00 mennessä</u> .	Tarjoukset seuraavan vuorokauden tunneille jätettävä <u>klo 18.30 mennessä</u> .
Toimijalla on velvollisuus ylläpitää vuosimarkkinoille myymäänsä reserviä vapaan kapasiteettinsa puitteissa.	Reservinhaltijat voivat päivittäin antaa tarjouksia reservikapasiteetistaan. Toimija, jolla on vuosisopimus, voi osallistua tuntimarkkinoille vain, jos on toimittanut vuosisopimuksen mukaisen reservimäärän täysimääräisesti.
Kiinteä hinta on voimassa koko vuoden. Se määräytyy kalleimman vuosimarkkinalle hyväksytyin tarjouksen mukaan.	Maksettava korvaus määräytyy kullekin tunnille erikseen kalleimman käytetyn tarjouksen mukaan.

Tuntimarkkinoiden lisäksi Fingrid hankkii osan reservivelvoitteestaan vuosimarkkinoilta avoimen tarjouskilpailun perusteella, joissa on kiinteä reservikorvaus koko vuoden. Reservit hankitaan Suomessa sijaitsevilta voimalaitoksilta sekä tehoreserviin soveltuvista säädettävistä kuormista. Reservinhaltijan tulee aina pitää sovitun mukaiset käyttö- ja häiriöreservit vapaana oman kapasiteettinsa puitteissa niillä reservejä tuottavilla voimalaitoksilla tai kuormilla, jotka on kytketty sähköjärjestelmään. Reservinhaltija saa itse valita, millä kapasiteetilla vakautusreservit milloinkin ylläpidetään. (17, s. 3–6.)

7.4 Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservien markkinapaikat

Taulukossa 4 on esitetty toteutuneet hinnat vuosina 2011–2015 sekä hankintamäärät taajuuden vakautusreserveissä. Taulukosta nähdään, että reservikorvaus taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoilla vuonna 2015 on 16,21 euroa megawatilta tunnissa ja taajuusohjatussa häiriöreservissä reservikorvaus vuonna 2015 on 4,13 euroa megawatilta tunnissa.

Taulukko 4. Toteutuneet vuosimarkkinahinnat ja hankintamäärät (19).

	FCR-N hinta [€/MW,h]	FCR-N määrä [MW]	FCR-D hinta [€/MW,h]	FCR-D määrä [MW]
2011	9,97	71	1,48	244,3
2012	11,97	72,7	2,8	346,9
2013	14,36	73,5	3,36	299,8
2014	15,8	75,4	4,03	318,7
2015	16,21	73,6	4,13	297,5

Vuosisopimuksen piirissä olevan reservinhaltijan täytyy toimittaa tuntitasoinen reservisuunnitelma Fingridille seuraavan vuorokauden reservimääristä. Reservisuunnitelma toimitetaan päivittäin kello kahdeksaatoista mennessä EDI-sanomana DELFOR-sanomamuotoa käyttäen. Jos reservisuunnitelmaa ei toimiteta kello kahdeksaatoista mennessä, niin sitä ei huomioida kantaverkon tehoreservissä. Reservisuunnitelma voi olla enintään vuosisopimuksessa sovitun reservimäärän mukainen, ja se toimitetaan aina 0,1 megawatin tarkkuudella. Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin tuntimarkkinoilla tehdyistä kaupoista ei tarvitse toimittaa vastaavaa reservisuunnitelmaa Fingridille. (17, s. 4.)

Jos mittaamalla todennettu reservikapasiteetti on reservinhaltijan toimittamaa reservisuunnitelmaa pienempi, Fingrid maksaa korvauksen vain mittaamalla todetun reservikapasiteetin mukaisesti. Toimittamatta jääneestä reservikapasiteetista reservinhaltija suorittaa Fingridille korvauksen, jonka suuruus on 50 prosenttia taajuusohjatun käyttö- tai häiriöreservin reservikorvauksesta. Ylivoimaisen esteen sattuessa ja sen poistuessa reservinhaltijan tulee ilmoittaa Fingridille, jolloin kantaverkkoyhtiö ei maksa tältä ajalta vuosisopimuksen mukaista reservikorvausta. (15, s. 4–5.)

7.4.1 Taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoiden reservikorvaus

Vuoden 2015 vuosisopimuksessa kiinteä korvaus 0,1 megawatin kuormasta taajuusohjatusta käyttöreservistä on 16,21 euroa megawatilta tunnissa, mikä tarkoittaa 0,1 megawatin ohjattavalla kuormalla vuositasolla noin 14 200 euron reservikorvausta. Kiinteän korvauksen lisäksi saa energiakorvauksen.

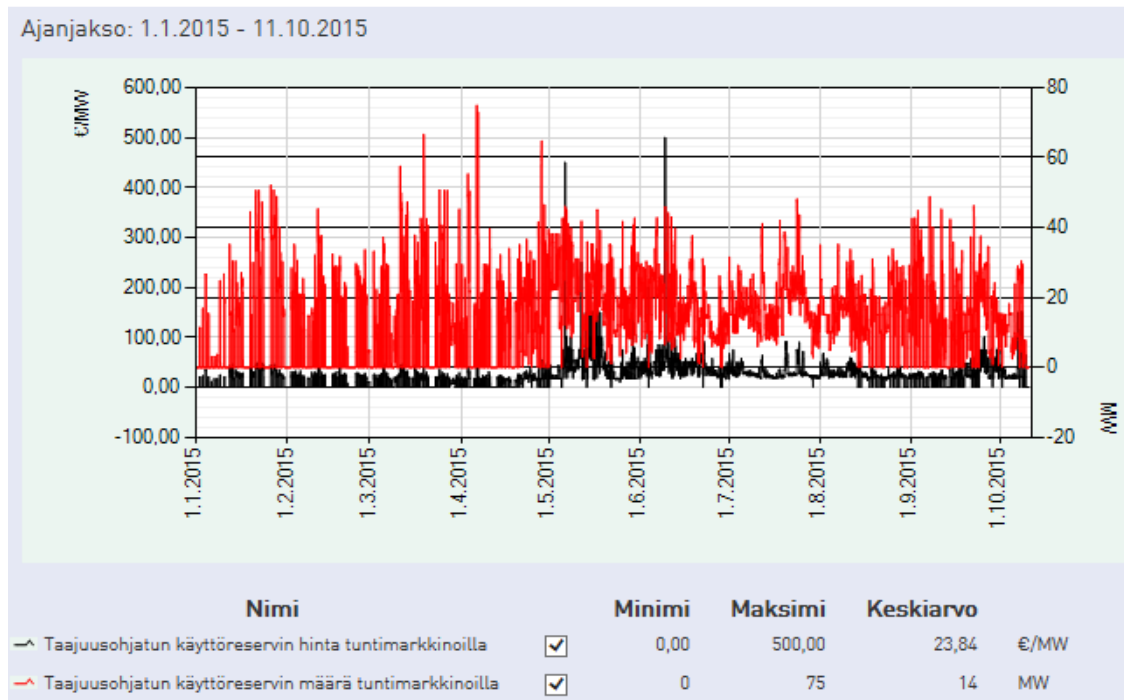
Alla on esitetty taajuusohjatun käyttöreservikorvauksen yksinkertaistettu laskentaperiaate 0,1 megawatin kuormalla ja vuoden 2015 markkinahinnalla.

$$0,1 \text{ MW} \times 8\,760 \text{ h} \times 16,21 \text{ €/MW,h} = 14\,200 \text{ €}$$

7.4.2 Taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkinoiden reservikorvaus

Taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkinoille jätetyt reservitarjoukset käsitellään aina niiden hintajärjestyksen mukaisesti. Käyttöreservin haltijalle maksetaan korvaus jokaiselle tunnille erikseen kalleimman tilatun tarjouksen mukaan. Taajuusohjatuille käyttö-

ja häiriöreserveille on omat tuntimarkkinansa. (18.) Kuvassa 6 on esitetty toteutuneet tuntikaupat taajuusohjatussa käyttöreservissä ajanjaksolla 1.1.–11.10.2015.



Kuva 6. Toteutuneet tuntikaupat, taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) (20).

Kuvasta nähdään, että aikavälillä 1.1.2015–11.10.2015 tuntimarkkinoilla on maksettu korvausta taajuusohjatussa käyttöreservistä keskimäärin 23,84 euroa megawatilta tunnissa. Hinta tuntikaupoissa on yleisesti parempi verrattuna vuosimarkkinoihin. Kysyntä taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkinoilla ei kuitenkaan ole varmaa, vaan niitä käytetään vain tarvittaessa täydentävään hankintaan.

7.5 Taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinat

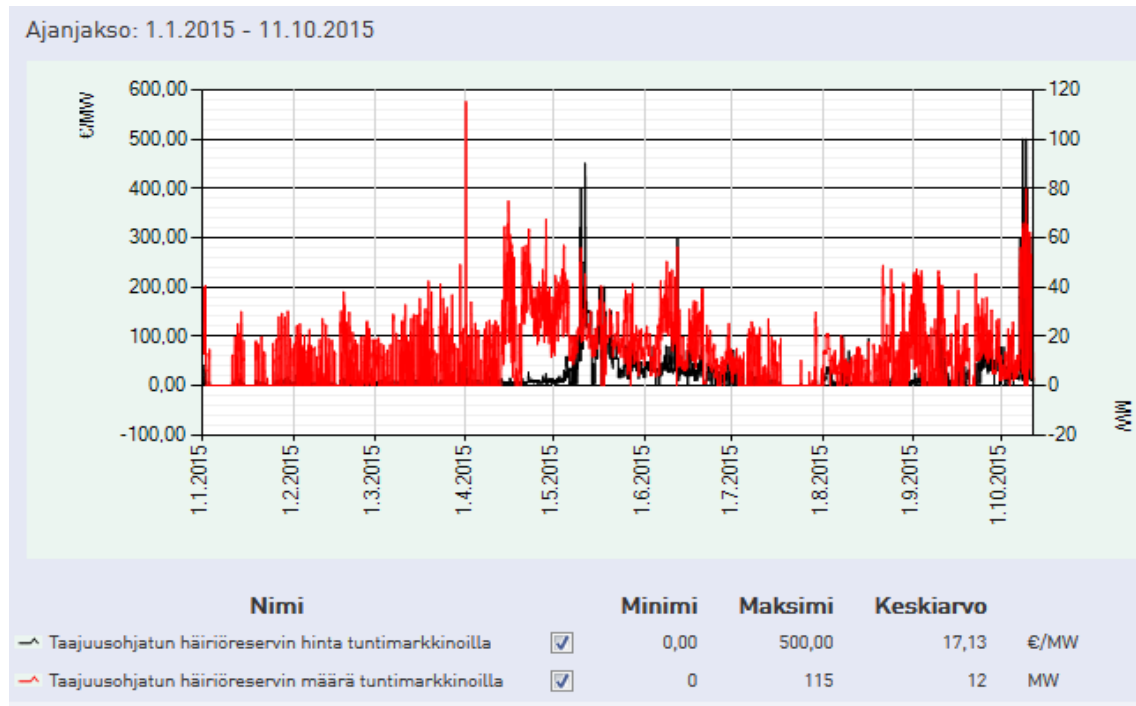
Vuoden 2015 vuosisopimuksessa kiinteä korvaus yhden megawatin minimikuormasta taajuusohjatussa häiriöreservissä on 4,13 euroa megawatilta tunnissa, mikä tarkoittaa vuositasolla noin 36 000 euron reservikorvausta.

Alla on esitetty taajuusohjatun häiriöreservin reservinkorvauksen yksinkertaistettu laskentaperiaate yhden megawatin minimikuormalla ja vuoden 2015 markkinahinnalla.

$$1 \text{ MW} \times 8\,760 \text{ h} \times 4,13 \text{ €/MW,h} = 36\,178 \text{ €}$$

7.6 Taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinat

Taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoita hyödynnetään myös tarpeen vaatiessa täydentävään hankintaan kerran vuorokaudessa. Kuvassa 7 on esitetty toteutuneet tuntikaupat taajuusohjatussa häiriöreservissä ajanjaksolla 1.1.–11.10.2015.



Kuva 7. Toteutuneet tuntikaupat, taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D) (21).

Kuvasta nähdään, että taajuusohjatussa häiriöreservissä säätöä on vain ylöspäin. Tämän ansiosta esimerkiksi varavoimakoneet voisivat soveltua hyvin tälle markkinapaikalle. Aikavälillä 1.1.2015–11.10.2015 tuntimarkkinoilla on maksettu korvausta taajuusohjatussa häiriöreservissä keskimäärin 17,13 euroa megawatilta tunnissa. Hinta taajuusohjatussa häiriöreservissä tuntimarkkinoilla on myös yleisesti parempi verrattuna vuosimarkkinoihin. Kysyntä kuitenkin taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoilla ei ole varmaa, vaan niitä käytetään vain tarvittaessa täydentävään hankintaan.

7.7 Tiedonvaihtoperiaatteet taajuusohjatussa käyttö- ja häiriöreservissä

Reservinhaltijan tulee kustannuksellaan toimittaa tiedot taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin määrästä megawatteina. Tiedot lähetetään Fingridille kolmen minuutin välein. Reaaliaikaisten mittaustietojen perusteella seurataan käyttö- ja häiriöreservien ylläpitoa

sekä taajuusohjattujen käyttö- ja häiriöreservien aktivoitumista. Reservinhaltija toimittaa kuukauden kymmenenteen päivään mennessä edelliseltä kuukaudelta reservien ylläpitoon osallistuneista reservikohteista tuntiaikasarjoina yksikkökohtaisen tuntikeskitehon, yksikkökohtaisen tuntimaksimitehon, taajuusohjatun käyttöreservin sekä taajuusohjatun häiriöreservin määrän vuosi- ja tuntimarkkinoilla. Tiedot toimitetaan EDI-sanomina MSCONS-sanomamuotoa käyttäen ja tiedot toimitetaan reservinhaltijan kustannuksella. (17, s. 4–5.)

8 Taajuuden palautusreservit

Pohjoismaisessa voimajärjestelmässä taajuuden palautusreserveinä toimivat automaattinen taajuudenhallintareservi (FRR-A), säätösähkömarkkinat ja nopea häiriöreservi (22). Taajuuden palautusreservien säätöjen vähimmäiskoot, aktivoitumisajat sekä aktivointitavat ovat esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Taajuuden palautusreservit (22).

	Säädön vähimmäiskoko	Aktivoitumisaika	Aktivointitapa
FRR-A	5 MW	2 min	automaattinen
Säätösähkömarkkinat	10 MW	max 15 min	manuaalinen
Nopea häiriöreservi	10 MW	max 15 min	manuaalinen

Taulukosta nähdään, että taajuuden palautusreserveihin voidaan osallistua viiden megawatin minimisäädöllä. Säätösähkömarkkinoille ja nopeaan häiriöreserviin vaaditaan kymmenen megawatin minimisäätö. Taajuuden palautusreserveihin voidaan osallistua lähinnä suuremmilla voimalaitoksilla tai aggregaattorina, koska markkinapaikan vaadittava minimisäätö on viisi megawattia.

8.1 Automaattisen taajuudenhallintareservin hankinta

Automaattisen taajuudenhallintareservin lyhenne on FRR-A (englanniksi Automatic Frequency Restoration Reserve). Fingrid hankki automaattista taajuudenhallintareserviä tuntimarkkinoilta, jossa reservinhaltijat pystyvät antamaan tarjouksia ylös- ja alasäätökykyisestä reservikapasiteetista. Kapasiteettikorvauksen lisäksi reservinhaltija saa energiakorvauksen toteutuneiden säätöjen mukaan. (23.)

Automaattinen taajuudenhallintareservi on keskitetty taajuusohjattu reservi. Reservin aktivointi perustuu pohjoismaisen synkronialueen taajuuspoikkeamaan. Synkronialueen taajuuspoikkeamasta lasketaan tarvittava tehomuutos sähköverkon taajuuden palauttamiseksi nimellisarvoonsa sekä jo aiemmin aktivoituneiden taajuusohjattujen käyttö- ja häiriöreservien vapauttamiseksi normaalitilaan. (24, s. 1.)

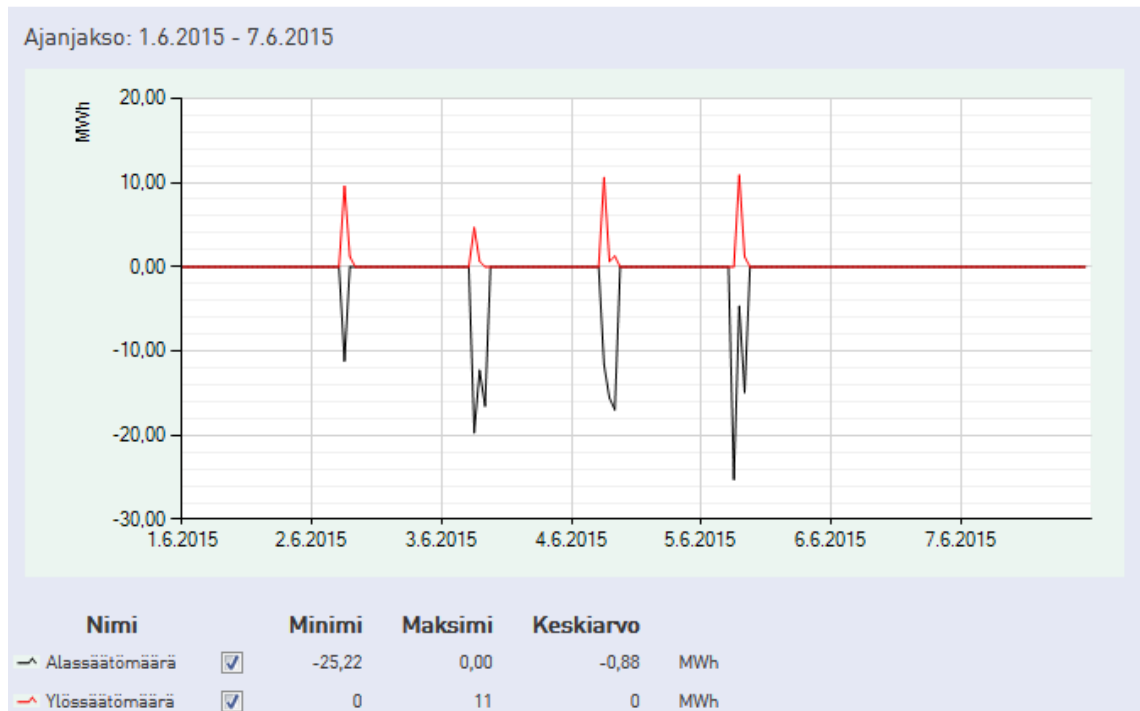
8.2 Automaattisen taajuudenhallintareservin reservikorvauksen ja tiedonvaihdon pääperiaatteet

Automaattisessa taajuudenhallintareservissä tarjouksen koko on vähintään viisi megawattia. Reservinhaltija saa jättää useita erillisiä tarjouksia, jotka eivät saa olla linkitettyjä ja jokainen tarjous käsitellään erillisenä tarjouksena. Tarjouksen tulee sisältää seuraavat tiedot, jotka ovat tuotteen nimi, kapasiteetti ylös megawatteina, kapasiteetti alas megawatteina, kapasiteetin hinta ylös, kapasiteetin hinta alas ja reservinä käytettävän kapasiteetin tuotantomuoto sekä tarjottava tunti. Tarjouksia voi jättää seuraavan vuorokauden tunneille kello seitsemään toista saakka, ja Fingrid voi tarpeen vaatiessa pyytää sitovia tarjouksia myös kahta vuorokautta ennen haluttua toimituspäivää. Jokaista käyttötuntia varten laitetaan tarjoukset hintajärjestykseen halvimmasta aloittaen. Tarvittava määrä tarjouksia käytetään ylös- ja alassäätökapasiteetille. Tarjousten saapumisjärjestys määrää niiden käytön, jos on samanhintaisia tarjouksia. Fingridin hyväksymä tarjous käytetään kokonaan ja seuraavan vuorokauden kaupat vahvistetaan päivittäin kello 18:05 mennessä. (25, s. 2–3.) Automaattisen taajuudenhallintareservinhaltija vastaa siitä, että reservin ylläpitoon osallistuva laitos täyttää säätökyvyn suhteen asetettavat vaatimukset. Säätökyvylle asetetut vaatimukset todennetaan säätökokeilla, jotka täytyy olla suoritettuna ennen sopimuksen voimaantuloa. (24, s. 3.)

Reservinhaltijan täytyy omalla kustannuksellaan toimittaa yksikkökohtaiset tiedot Fingridin osoittamaan toimituspisteeseen. Toimitettavia tietoja ovat FRR-A-kapasiteetti ylös tai alas megawatteina, aktivoinnista aiheutuva reaaliaikainen teho sekä Fingridin lähettämän aktivointisignaalin takaisinlähetys. Tietojen lähetysyksi saa olla enintään kymmenen sekuntia, ja niiden perusteella seurataan reservien ylläpitoa ja aktivoitumista. Reservinhaltijan tulee toimittaa Fingridille kustannuksellaan kuukauden kymmenenteen päivään mennessä edellisen kuukauden ajalta reservien ylläpitoon osallistuneiden laitosten osalta tuntiaikasarjoina automaattisen taajuudenhallintareservin määrän EDI-sanomana käyttäen MSCONS-sanomamuotoa. Fingrid raportoi reservinhaltijalle tunnikohtaisina tietoina seuraavalle päivälle toteutuneet kaupat sekä toteutuneiden kauppajen keskihinnat ylös- ja alassäätökapasiteetille päivittäin kello 18:10 mennessä. Lisäksi Fingrid raportoi reservinhaltijalle edellisen päivän reservienergian määrän ja hinnan. (24, s. 5.)

Kuvassa 8 on esitetty automaattisen taajuudenhallintareservin (FRR-A) aktivoituminen kesäkuun viikolla vuonna 2015. Kuvasta nähdään, että automaattinen taajuudenhallin-

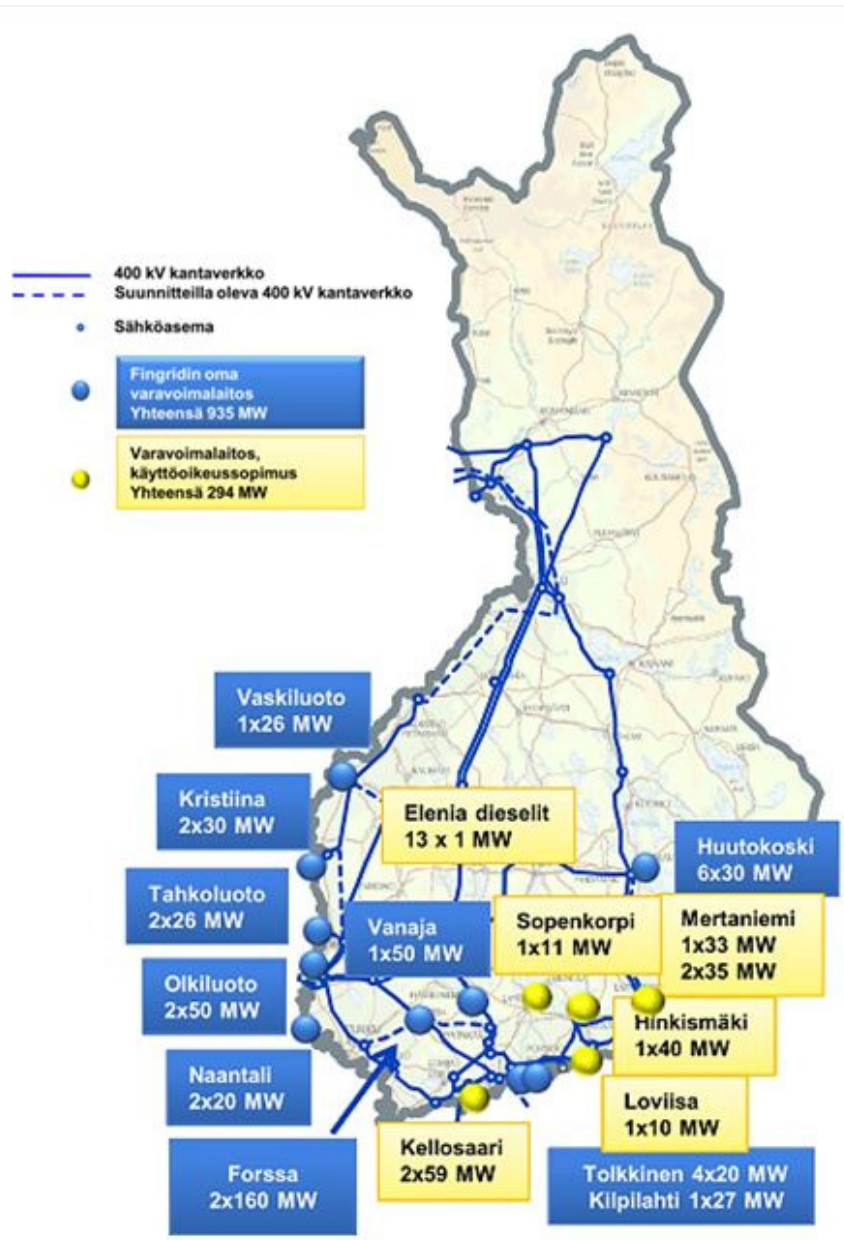
tareservi on aktivoitunut molempiin suuntiin lähes samanaikaisesti vain muutamia kertoja viikon ajanjaksolla.



Kuva 8. Automaattisen taajuudenhallintareservin aktivoituminen kesäkuun viikolla (26).

8.3 Nopea häiriöreservi FRR-M

Nopeasta häiriöreservistä käytetään lyhennettä FRR-M (englanniksi manual frequency restoration reserve). Fingrid täyttää oman veloitteensa nopeasta häiriöreservistä varavoimalaitoksillaan sekä sopimuksilla hankituilla käyttöoikeussopimuslaitoksilla. Voimalaitoksien lisäksi käytetään irtikytkettäviä kuormia. Fingridin omistamia voimalaitoksia sekä käyttöoikeussopimuslaitoksia ei hyödynnetä lainkaan kaupalliseen sähköntuotantoon, joten käyttöoikeussopimukset pyritäänkin tekemään aina vähintään kymmeneksi vuodeksi kerrallaan. Irtikytkettävistä kuormista sopimukset on tehty lähinnä puunjalostus-, kemian-, sekä metalliteollisuusyritysten kanssa. (27.) Kuvassa 9 on esitetty Fingridin omien ja käyttöoikeussopimuksilla hankittujen varavoimalaitosten sijainnit kartalla. Kuvasta nähdään, että varavoimalaitokset sijoittuvat pääosin Etelä-Suomen alueelle ja niiden tehot ovat pääosin kymmeniä megawatteja.



Kuva 9. Varavoimalaitosten sijainnit kartalla (27).

Alla on esitetty vuosikorvauksen laskentaperiaate kymmenen megawatin kuormalla ja vuoden 2015 viitteellisellä markkinahinnalla.

$$10 \text{ MW} \times 8\,760 \text{ h} \times 0,5 \text{ €/MW,h} = 43\,800 \text{ €}$$

Alla on esitetty energiakorvauksen yksinkertaistettu laskentaperiaate vuoden 2015 markkinahinnalla yhden aktivointikerran mukaan.

$$10 \text{ MW} \times 580 \text{ €/MW} = 5\,800 \text{ €}$$

Kymmenen megawatin tehoreservistä saa siis jo yhden aktivointikerran mukaan noin 50 000 euron reservikorvauksen. Nopean häiriöreservin haasteena voidaan pitää nopeaa aktivoitumisviivettä sekä vaadittavaa kymmenen megawatin minimikuormaa.

8.4 Säätosähkömarkkinat

Fingrid eli Suomen kantaverkkoyhtiö ylläpitää säätosähkömarkkinoita yhdessä Ruotsin, Norjan ja Tanskan kantaverkkoyhtiöiden kanssa. Säätosähkömarkkinoilla sähkön tuotannon sekä ohjattavien kuormien haltijat pystyvät antamaan tarjouksia omasta sääto-kykyisestä tehokapasiteetistaan. Osallistumismaksu säätosähkömarkkinoilla on vuositasolla 1 200 euroa, ja se veloitetaan kuukauden kuluessa sopimuksen voimaantulon jälkeen. Osallistumismaksua ei peritä sellaiselta markkinaosapuolelta, joka toimii samanaikaisesti myös tasevastaavana. Tarjouksen säätosähkömarkkinoilla voi jättää kaikista tehoresursseista, jotka pystyvät toteuttamaan kymmenen megawatin tehonmuutoksen 15 minuutin kuluessa Fingridin pyynnöstä. Tarjoukset on annettava viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia Fingridille. (28.) Kuvassa 10 on esitetty säätosähkömarkkinoiden yksinkertaistettu toimintaperiaate.



Kuva 10. Säätosähkömarkkinoiden toimintaperiaate (28).

Kuvasta nähdään, että säätosähkömarkkinoille voidaan jättää ylössäätö- ja alaussäätötarjouksia. Tarjouksen voi tehdä erikseen tuotannolle ja kulutukselle. Tarjous sisältää hinnan euroina ja määrän megawatteina. Tarjous jätetään jokaiselle tunnille erikseen. Ylössäädössä tuotantoa lisätään tai vaihtoehtoisesti kulutusta vähennetään. Alaussäädössä tuotantoa taas pienennetään tai vaihtoehtoisesti kulutusta lisätään. Ylössäätötarjouksista käytetään aina halvin tarjous ensin, kun taas alaussäätötarjouksista käytetään

aina kallein ensin. Jos käyttötilanteen takia tarjousta ei voida käyttää, se jätetään silloin käyttämättä. (28.)

8.5 Säättösähkömarkkinoiden tarjousten ja viestinnän pääperiaatteet

Tarjoukset säättösähkömarkkinoille pystytään jättämään tarjouksen kohteena olevaa käyttötuntia edeltävän vuorokauden alusta. Tarjouksia voidaan muuttaa tai peruuttaa 45 minuuttia ennen käyttötunnin alkua, minkä jälkeen ne ovat sitovia. Sitovia tarjouksia on mahdollista antaa puhelimitse tämän ajankohdan jälkeenkin. Tällöin ei voida kuitenkaan taata, että niitä käytettäisiin sopimuksen määrittämässä järjestyksessä. Fingrid voi tarvittaessa pyytää lisätarjouksia reservinhaltijalta, jos säättökapasiteetti uhkaa loppua kesken. (29, s. 2.)

Säättötarjous sisältää aina tehon, hinnan sekä tuotannon tai kulutuksen ja säättöresurssin nimen. Yhden säättötarjouksen minimikapasiteetti on kymmenen megawattia. Säättösähkötarjous saa koostua useammasta alle kymmenen megawatin yksiköstä, joten osallistuminen aggregaattorina on täten säättösähkömarkkinoille mahdollista. (28.)

Tilaus alas- tai ylössäädöstä tehdään aina puhelimitse. Tilauksessa Fingrid ilmoittaa tehon, säädön alkamisajankohdan sekä varmistaa sovitun tarjouksen hinnan. Asiakas varmistaa käytettävän säättöresurssin sekä säädön ajankohdan. Säädön alkamisajankohta sovitaan minuutin tarkkuudella ja säädön päättymisestä Fingrid ilmoittaa puhelimitse. Jos ilmoitusta ei tehdä puhelimitse, alas- tai ylössäädön todetaan päättyvän automaattisesti käyttötunnin lopussa. (29, s. 3.)

Jos käyttötunnin aikana selviää, ettei tarjottua alas- tai ylössäätöä pystytä esimerkiksi laitteistovian takia toteuttamaan tai se pystytään toteuttamaan vain osittain, on reservinhaltijan ilmoitettava tästä heti Fingridille. Alas- tai ylössäätö kirjataan tässä tapauksessa vain niiltä osin, kun se on oikeasti toteutunut. Reservinhaltijan velvollisuus on ilmoittaa säättösähkökaupastaan tasevastaavalleen ennen sovitun alas- tai ylössäädön alkua. (29, s. 3.)

Alla on esitetty yksinkertaistettu laskelma säätösähkömarkkinoiden toiminnasta.

Kulutuskohde on jättänyt ylössäätötarjouksen, joka on kymmenen megawatin kuorma hintaan tuhat euroa megawattitunnilta. Esimerkissä ylössäätöhinta ylitti asetetun tuhannen euron rajan kymmenen kertaa ja näiden hintojen keskiarvo oli 1 500 euroa megawattitunnilta. Tämän perusteella korvausta säädöstä maksettiin seuraavasti:

$$10 \text{ MW} \times 1\,500 \text{ €/MWh} \times 10 \text{ h} = 150\,000 \text{ €}$$

Säätösähkömarkkinoiden haasteena voidaan pitää sitä, että vähimmäiskapasiteetti on kymmenen megawattia. Säätösähkömarkkinoille voitaisiin kuitenkin osallistua aggregaattorina, jolloin useiden kiinteistöjen ohjattavat kuormat kasattaisiin yhden toimijan alle.

9 Elspot- ja Elbas-sähkömarkkinat

Sähköä myydään sähköpörssissä ja sen tukkuhinta määräytyy sähkön kysynnän sekä tarjonnan perusteella. Sähköpörssistä sähköä ostavat suuret teollisuuslaitokset ja sähkön jälleenmyyjät. Sähkön ostajat ilmoittavat sähköpörssiin, millä hinnalla ja miten paljon halutaan ostaa sähköä. Myyjät antavat vastaavasti oman tarjouksensa. Kysynnän ja tarjonnan leikkauspisteessä määräytyy sähkön tukkuhinta. Tukkuhinnassa on huomioitu kaikki sähköpörssissä olevat osto- ja myyntitarjoukset. Pohjoismaisella sähkömarkkina-alueella markkinapaikkoja ovat Elspot ja Elbas. Elspot-markkinoilla sähkön tukkuhinta määräytyy etukäteen seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille. Kulusodotuksien tai tuuliennusteiden muuttuessa äkillisesti voi sähköntarve yllättäen muuttua. Lisäksi sähköntuottajan oma sähkön tuotantolaitos voi mennä epäkuntoon, jolloin sähköä voidaan hankkia päivänsisäisiltä Elbas-markkinoilta. Elbas-markkinoilla sähkön hinta yleensä poikkeaa Elspot-markkinoista. (30, s. 11.)

Sähköntuottajien tarjouksiin vaikuttaa sähkön tuotantomuoto eli tarjouksiin vaikuttaa voimalaitosten muuttuvat kustannukset. Muuttuvia kustannuksia ovat lähinnä polttoainekustannukset. Mikäli sähkön kulutus nousee äkillisesti liian suureksi, se joudutaan tuottamaan kalliimmilla tuotantomenetelmillä. Kun sähkön kysyntä on vähäistä, sähkön hinta taas vastaavasti laskee sähköpörssissä. (30, s. 11.)

10 Kysyntäjoustopotentiaalit kiinteistökohteissa

Pöyry Management Consulting Oy:n tekemän selvityksen mukaan pienistä hajautetuista kuormista voisi tulla kysyntäjousto tulevaisuudessa. Hajautettuja kuormia ovat muun muassa sähkölämmitykset, kotitalouksien sähkönkäyttö ja palvelusektori sekä sähköautot. Näissä kohteissa kysyntäjousto on tavallisesti vain vuorokauden sisäistä kulutuksen siirtoa. Selvityksen mukaan sähköautojen vaikutuksen kysyntäjousto on näkee vasta sähköautojen yleistyessä. Sähköautojen latausta voidaan siirtää tunneilla, mutta ei yleensä vuorokaudesta toiseen. Sähköautojen akkujen purkaminen sähköverkkoon voisi tuoda kysyntäjoustopotentiaalia toiseen suuntaan, mutta näin ei oleteta selvityksen mukaan tapahtuvan merkittävästi vielä lähivuosina. (4, s. 41–42.)

Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusprojektin raportissa mainitaan, että kiinteistöjen käyttötarkoitukset, rakentamisajankohdat ja tekniset ratkaisut vaihtelevat toimitila- ja palvelurakennuksissa. Ohjattavia kuormia toimitila- ja palvelurakennuksissa löytyy muun muassa ilmanvaihdosta, jäähdytyksestä, valaistuksesta ja sulanapidoista. Taulukoihin 6 ja 7 on koottu erityyppisten kiinteistökohteiden tehoarvioita sekä arvioita niissä olevien kuormien ohjausmahdollisuuksista. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusraportin mukaan tarkastelussa olevat kiinteistötyypit muodostavat merkittävän osan sähköenergian kulutuksesta. Tarkasteluun ei ole otettu mukaan teollisuusprosesseja. (31, s. 27–29.)

Taulukossa 6 on esitetty arviot ilmanvaihdon, jäähdytyksen, valaistuksen sekä sulanapitolämmitysten käyttämistä sähkötehoista liike-, toimisto- ja opetusrakennuksissa. Taulukosta nähdään, että noin 55 prosenttia sähkötehosta kuluu valaistuksessa, noin 22 prosenttia sähkötehosta ilmanvaihdossa, noin 19 prosenttia sähkötehosta jäähdytyksissä ja noin neljä prosenttia sähkötehosta sähköisissä sulanapidoissa.

Taulukko 6. Arviot liike-, toimisto- ja opetusrakennusten sähkötehoista (31, s. 27).

	Rakennuksia, lkm	Kerrosala, m ²	Arvio sähkötehosta / MW			
			Ilmanvaihto	Jäähdytys	Valaistus	Sulapito (sähkö)
Liikerakennukset	42580	28320836	160	140	540	30
Toimistorakennukset	10907	19229947	90	160	240	20
Opetusrakennukset	8916	18104779	160	40	220	20
			410	340	1000	70

Taulukossa 7 on esitetty arvioita Suomessa olevien kiinteistöjen sähkötehoista sekä kuormien ohjausmahdollisuuksista. Taulukosta nähdään, että ilmanvaihdolla, valaistuksilla sekä kylmätilojen jäähdytyksillä ei ole merkittävää vuodenaikariippuvuutta, joten niiden ohjauksia voitaisiin hyödyntää kattavasti kysyntäjoustossa läpi vuoden. Laite- ja kiinteistöryhmittäin kuormitusten tehot ja käyttöprofiilit voivat vaihdella vuorokauden ja vuodenaikojen mukaisesti.

Taulukko 7. Arvioita Suomen sähkötehoista ja kuormista (31, s. 30).

Ohjattavat kuormatyytit	Laitetehto/ asennus-teho [MW]	Tekninen ohjaus- potentiaali	on/off	säädet-tävä	Ajankohta/vrk				Vuodenaika- riippuvuus				Jälki- huippu	
					aa	pv	il	yö	Ta	Kev	Kes	Sy	On	Ei
Ilmanvaihto (ei as.rak)	600	400	(x)	x	x	x			x	x	x	x		?
Valaistus (ei as. rak)	4000	?	(x)	x	x		x		x	x	x	x		x
Sulanapito	100				x	x	x	x	x					
Autolämmitys	1100	500	x		x			x	x					x
Jäähdytys (tilajäähdytys)						x			(x)	x	x	(x)		
Valaistus asuinrak.	1500		x											
Maalämpöpumput	250		x	(x)										
Ilmalämpöpumput	400		x											
Lisävastukset (lp)	400		x											
Katuvalaistus	207		x	osittain			x	x	XX	x	x	XX		x
Tievalaistus	47,8			osittain			x	x	XX	x	x	XX		x
Muu ulkovalaistus	?													
Kylmälaitteet ja -varastot	?													
Kasvihuoneet	300	?		x	x	x	x	x	x			x		ei
vesipumppaamot														
Sähkölämmittimet	5000	1800	x		x	x	x	x	X	x		X		x
Lämminvesivaraaja	1500	1200	x					x	X	x	x	X		x
Varaava lämmitys (sähkö)	500	350	x					x	X	x		X		x
Varaava lämmitys (vesiv), yö	700	630	x					x	X	x		X		x
Varaava lämmitys (vesiv), päivä	350	300	x		x	x	x		x	x	x	x		x
Sähkökiuas	9000	450	x					x	x	x	x	x		x

Taulukossa 8 on esitetty arviot teho-ohjauksen vaikutuksista sekä rajoitteista. Kiinteistökohteiden parhaat mahdollisuudet kysyntäjoustoon löytyvät taulukon mukaan ilmanvaihdosta, jäähdytyksestä sekä varavoimakoneista, joita voitaisiin hyödyntää erityisesti taajuusohjatuissa reserveissä. Taulukosta nähdään myös, että muun muassa ilmanvaihdon, valaistuksen, autolämmityksien ja jäähdytyksien kulutukset ovat ainakin osittain siirrettävissä tai leikattavissa.

Taulukko 8. Arviot teho-ohjauksen vaikutuksista sekä rajoitteista (31, s. 31).

Ohjattavat kuormatyypit	Ohjauksen vaikutus		Ohjauksen max.kesto				Ohjauksen estoaika /palautumisaika	ohjauksia/vrk	Lämpötilariippuvuus		Vaste ohjaukselle I = välitön, II = viivettä III = hidas	Olemassa oleva	Uusissa kohteissa ohjatta-vissa	Vaikutus käyttäjälle "näkyvätömyys"	Käyttäjän vaikutus
	Siir.	Leikk.	s	min	h	vrk			On	Ei					
Ilmanvaihto (ei as.rak)	(x)	x		x	(x)					x	II	osittain	x	ei/lievä	
Valaistus (ei as. rak)		x		x	(x)				x		I	joissain kohteissa	x	ei/lievä	
Sulanapito	x	(x)			x				x		I	osittain	x	ei	
Autolämmitys	x	(x)			x				x		I	osittain	x	ei	
Jäähdytys (tilajäähdytys)	x				x				x		II		x	ei	
Valaistus asuinrak.													x	lievä	
Maalämpöpumput				x			2 h	5	x		II		x	ei	
Ilmalämpöpumput				x			2 h	5	x		I		x	ei	
Lisävastukset (lp)					x		2 h	5	x		I		x	ei	
Katuvalaistus		x		x						x	II		x	lievää haittaa	
Tievalaistus		x		x						x	II		x	lievää haittaa	
Muu ulkovalaistus				x						x			x		
Kylmälaitteet ja -varastot				x	(x)					x			(x)		
Kasvihuoneet		siir			x				3	x	I	osittain	on	ei haittaa	
vesipumppaamot															
Sähkölämmittimet	x			x			2 h	5	x		I	On	x	lievää haittaa	
Lämminvesivaraaja	x				x		2 h	5			I	On	x	ei haittaa	
Varaava lämmitys (sähkö)	x				x		2 h	5	x		I	On	x	ei haittaa	
Varaava lämmitys (vesiv), yö	x				x		2 h	5	x		I	On	x	ei haittaa	
Varaava lämmitys (vesiv), päivä	x				x		2 h	5	x		I	On	x	ei haittaa	
Sähkökiuas	x			x			1 h	3		x	I	On	On	lievä haitta	Takaisin-kytk. käsin

10.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon osuus koko kiinteistön energiankulutuksesta on tyypillisesti reilu kolmasosa. Kiinteistöissä ilmanvaihtoa ohjataan pääasiassa taajuusmuuttajilla ja rakennusautomaatiolla, minkä ansiosta hetkellinen tehon säätö on jo helposti toteutettavissa nykyisillä ohjausjärjestelmillä. Vanhimmissa kiinteistöissä ilmanvaihtoa voidaan vielä ohjata yksikkösäätimillä ja erillisillä kellokytkimillä.

10.2 Jäähdytys

Kiinteistökohteiden jäähdytykset koostuvat muun muassa ilmanvaihdon jäähdytyksestä sekä sähkötilojen ja palvelinhuoneiden jäähdytyksistä. Jäähdytyskoneiden tehot voivat vaihdella muutamasta kilowatista jopa yli sataan kilowattiin. Vanhoissa kiinteistöissä jäähdytyskoneet ovat tyypillisesti paikallisesti ohjattavia. Uusissa kiinteistöissä jäähdytysjärjestelmät liitetään rakennusautomaatiojärjestelmään, mikä mahdollistaisi niiden hyödyntämisen sähkön kysyntäjousto. Jäähdytyksen hetkellinen vähentäminen ei vaikuta merkittävästi tilojen olosuhteisiin.

10.3 Varavoima ja UPS-järjestelmät

Isommat kiinteistöt on varustettu paikallisilla varavoimakoneilla, jotka käynnistyvät täyteen kuormaan jopa 30 sekunnissa. Yksittäisten varavoimakoneiden tehot voivat olla useita satoja kilowatteja. Lisäksi isoissa kiinteistöissä on myös UPS-järjestelmiä eli akkuvarmennuksia, joissa ohjattavia kuormia voitaisiin tarpeen mukaan ohjata akkukäytölle.

Varavoimalaitokset jaetaan automaatiotason mukaan kolmeen ryhmään, jotka ovat käsikäyttöiset, automaattiset ja huipunleikkausvalmiudelle varustetut automaattiset varavoimalaitokset. Yli 50 kilovolttiampeerin varavoimakoneet ovat yleensä täysin automaattisia. Varavoimakoneet on varustettava automaattisilla tahdistuslaitteistoilla, jotka mahdollistavat sähköjärjestelmien hetkellisen rinnankäynnin. Automaattisen tahdistuslaitteiston avulla voidaan poistaa käynnistyksestä ja pysäytyksestä aiheutuvat jännitekatkot. (32, s. 112.)

10.4 Tilojen sähkölämmitykset ja käyttöveden lämmitys

Sähkölämmitteisissä rakennuksissa lämmitys tapahtuu tyypillisesti sähkölämmittimillä ja lattialämmityksillä. Käyttövesi tuotetaan sähkölämmitteisissä rakennuksissa sähkövastuksilla varustetuilla lämminvesivaraajilla. Tilojen sähkölämmityskuormia voitaisiin hyödyntää sähkön kysyntäjoustoissa sähkökeskuksissa olevien kontaktorien avulla.

10.5 Autolämmitykset

Autolämmityksiä ohjataan tyypillisesti kellokytkimillä tai rakennusautomaatiolla ulkolämpötilan ja aikaohjelman mukaan. Mikäli autolämmitykset on liitetty rakennusautomaation, niitä voitaisiin hyödyntää kysyntäjoustossa.

10.6 Sulanapidot

Kiinteistökohteiden sulanapidot koostuvat muun muassa kattokaivojen lämmityksistä, räystäskourujen lämmityksistä ja luiskanlämmityksistä. Kattokaivojen lämmityksien tehot ovat tyypillisesti alle yhden kilowatin suuruusluokkaa. Räystäskourulämmitykset ovat tyypillisesti muutamasta kilowatista yli kymmeneen kilowattiin. Kattokaivojen ja räystäskourujen lämmityksiä ohjataan uusissa kiinteistöissä rakennusautomaatiolla ulkolämpötilan mukaan ja vanhemmissa kiinteistöissä yksittäisten ulkotermostaattien avulla. Luiskanlämmityksien tehot voivat olla useita kymmeniä kilowatteja, ja niitä ohjataan tyypillisesti ulkotermostaatilla tai rakennusautomaatiolla ulkolämpötilan mukaan. Sulanapidot toimivat tyypillisesti on/off- eli päälle/pois-periaatteella. Sulanapitoja voitaisiin tarvittaessa hyödyntää kysyntäjoustossa talvikaudella, mikäli ne olisivat valmiiksi rakennusautomaatiolla ohjattuja. Vanhoissa kiinteistöissä sulanapitolämmityksiä ohjataan kuitenkin tyypillisesti useilla erillisillä ulkotermostaateilla.

10.7 Valaistus

Valaistus on yksi suurimmista sähköenergian kulutuskohteista kiinteistökohteissa. Sen tyypillinen osuus sähköenergiankulutuksesta on noin 25–50 prosenttia. Valaistuksien ohjaukset ovat vanhemmissa kiinteistöissä tyypillisesti rakennettu kytkin- tai painonapiohjauksilla. Nykyään uusissa kiinteistöissä valaistuksia ohjataan muun muassa kiinteistöautomaation aikaohjelmilla, liike- ja läsnäolotunnistimilla sekä luonnonvalon mukaan. Nykyaikaiset ohjausmahdollisuudet mahdollistavat myös valaistuksen hyödyntämisen kysyntäjoustop tarpeisiin. Esimerkiksi osa ulkovalaistuksesta voitaisiin sammuttaa tarpeen vaatiessa.

11 Kysyntäjoustopotentiaalit teollisuuskohteissa

Suurteollisuudesta sähkön kysyntäjousto on tähän mennessä osallistuneet lähinnä metsä-, metalli- ja kemianteollisuus, jotka ovat toimineet tehoreservinä jo kauan (2). Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan pienen tai keskisuuren teollisuuden osalta tulee tulevaisuudessa löytymään uutta kysyntäjoustopotentiaalia. Selvityksen mukaan kysyntäjouston laajempi hyödyntäminen edellyttäisi kysyntäjoustoprosessien täydellistä automatisointia. (4, s. 41.)

11.1 Metsäteollisuus

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan metsäteollisuuden säädettäviä kuormia on jo nykyään hyödynnetty kysyntäjoustopotentiaaleissa säätösähkömarkkinoilla ja nopean häiriöreservin ylläpidossa. Selvityksen mukaan mekaanisen massan valmistusprosessi on potentiaalisin sähkön kysyntäjoustopotentiaalin hyödynnettävien välivarastojen ansiosta. Metsäteollisuuden sivuprosessien soveltuvuutta sähkön kysyntäjousto ei ole juurikaan selvitetty, joten niistä on mahdollista saada tulevaisuudessa uusia merkittäviä kysyntäjoustopotentiaaleja. (33, s. 9.)

11.2 Kone- ja metalliteollisuus

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan kone- ja metalliteollisuuden yritysten sähkön kulutus koostuu pääasiassa sulatus- ja sähköuunien käytöstä, joiden kulutukset ovat suuruudeltaan keskisuuria. Sulatus- ja sähköuunien kulutukset ovat kuitenkin katkonaisia. Kone- ja metalliteollisuuden yrityksissä parhaiten kysyntäjousto soveltuvat sulatusuunit, joita voidaan säätää kohtuullisen nopeasti. Sähkön kysyntäjoustopotentiaalia rajoittaa kuitenkin se, että säädöt joudutaan tekemään yleensä manuaalisesti. Selvityksen mukaan prosesseja ei haluta muuttaa, jos siitä ei saada huomattavia taloudellisia korvauksia. Kysyntäjoustopotentiaalin toteuttaminen kone- ja metalliteollisuuden kohteissa voikin olla haastavaa, koska sähkön kysyntäjoustopotentiaalit eivät ole välttämättä riittävän suuria. (33, s. 11.)

11.3 Rakennustuoteteollisuus

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan rakennustuoteteollisuuden yrityksissä kysyntäjousto on parhaiten soveltuvia kuormia ovat sementin valmistusprosessit ja kiviainestuotannon murskauslaitteet. Osallistuminen kysyntäjousto on rakennustuoteteollisuuden yrityksissä ei kuitenkaan vaikuta kannattavalta, koska ohjattavat kuormat ovat pieniä. (33, s. 11.)

11.4 Elintarviketeollisuus

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan elintarviketeollisuuden yrityksissä sähkön kulutus koostuu pääasiassa jäähdytyksestä, pakastamoista, tuotteiden valmistuksesta sekä ilmanvaihdosta. Elintarviketeollisuudessa parhaiten kysyntäjousto on soveltuvia kuormia ovat kylmälaitokset ja kylmävarastot sekä lämpöpumput. Laitteiden tehot ovat pieniä, mutta erinomaisen säädettävyytensä ansiosta ne sopivat kuitenkin erinomaisesti kysyntäjousto on. (33, s. 12.)

11.5 Kemianteollisuus

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan kemianteollisuus on yksi Suomen suurimpia sähkönkäyttäjiä. Mahdollisuus osallistua sähkön kysyntäjousto on vaihtelee yrityksittäin, koska pääprosessit kemianteollisuudessa ovat hyvin erilaisia. Suurin potentiaali kemianteollisuudessa liittyy elektrolyyttiprosessiin, joiden sähkötehot ovat kymmeniä megawatteja. Selvityksen mukaan tuotantoprosessissa voidaan hyödyntää välivarastoja, joilla tuotantoa säädellään. Elektrolyysiprosesseja hyödynnetäänkin jo nykyään sähkön kysyntäjousto on. (33, s. 10.)

11.6 Kaivannaisteollisuus

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan kaivannaisteollisuudessa sähkön käyttö koostuu pääosin malmien käsittelystä, jalostuksesta sekä vesien hallinnasta. Kaivannaisteollisuuden yrityksissä suurimmat kysyntäjoustopotentiaalit liittyvät jauhinmyllyihin, mutta jauhinmyllyjen sammuttaminen ja käynnistäminen eivät ole kuitenkaan täysin joustavia. Kaivannaisteollisuuden prosessit eivät vielä nykyään osallistu sähkön kysyntäjousto on. (33, s. 10.)

11.7 Kasvihuoneet

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan kasvihuoneiden sähkönkulutus koostuu pääosin valaistuksesta, jota käytetään kasvien valaistukseen. Selvityksen mukaan valotusaikaa voidaan tarvittaessa siirtää, joten valaistusta voitaisiin hyödyntää kysyntäjoustossa. Vihannes-, tomaatti- ja kurkkuviljelmillä on suurin kysyntäjoustopotentiaali, koska valaistustehot ovat jopa yli 300 wattia neliömetrillä. (33, s. 13.)

Kasvihuoneiden valaistuksessa käytetään tyypillisesti suurpainenatriumvalaisimia, joiden yksittäiset tehot voivat olla 400 wattia. Yksittäisten kasvihuoneiden valaistuskuormat voivat olla hyvinkin 20 kilowatista 30 kilowattiin ja paljon valoa vaativissa kasvihuoneissa jopa 80–90 kilowattia.

11.8 Vedenkäsittely

Pöyry Management Consulting Oy:n selvityksen mukaan pumput ja kompressorit sopivat erityisen hyvin sähkön kysyntäjoustoan, koska ne ovat yleensä helposti säädettävissä sekä automaatio on tyypillisesti hyvällä tasolla. Selvityksen mukaan vedenkäsittelyssä laitteiden tehot ovat suhteellisen pieniä, mutta hyvän ja nopean säädettävyyden ansiosta erityisesti jätevedenpuhdistamot olisivat potentiaalisia kohteita. Näiden lisäksi vedenpumppaamot ja vesitornit voisivat olla potentiaalisia kysyntäjoustopotentiaalisia kohteita, koska niihin voidaan pumpata vettä tarpeen vaatiessa. (33, s. 13.)

Isojen puhdasvesipumppujen tehot voivat olla tyypillisesti suuruusluokaltaan 100 kilowatista 200 kilowattiin, ja niitä ohjataan yleensä jo taajuusmuuttajilla. Yksittäisen puhdasvesipumpun käyttöaika voi olla useita tunteja päivässä. Lisäksi käytetään muun muassa dispersiopumppuja, välialtaan pumppuja ja huuhteluvesipumppuja, joiden tehot ovat tyypillisesti 30 kilowatista 60 kilowattiin. Näitäkin pumppuja ohjataan tyypillisesti jo taajuusmuuttajien avulla. Dispersiovesipumppuja käytetään useita tunteja päivässä. Jätevedenkäsittelyssä käytetään muun muassa ilmastuskompressoreita, joiden tehot ovat tyypillisesti 50 kilowatista 100 kilowattiin. Ilmastuskompressorit ovat prosessin normaalitilanteessa toiminnassa koko ajan. Jätevedenkäsittelyn pumppaukset ovat teholtaan tyypillisesti kymmenestä kilowatista 40 kilowattiin. Pumppuja ja kompressoreita voidaan ohjata kattavasti keskitetyn prosessiautomaation avulla.

12 Tekniset ratkaisut ja järjestelmät

Täysin valmista ohjausratkaisua tai ohjausjärjestelmää sähkön kysyntäjoustopuolelle ei vielä ole, vaan lähes kaikkia järjestelmiä joudutaan räätälöimään tapauskohtaisesti. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty erityisesti taajuusohjatun käyttöreservin ohjaukseen eli kuormanohjaukseen sähköverkon taajuuden muutosten perusteella.

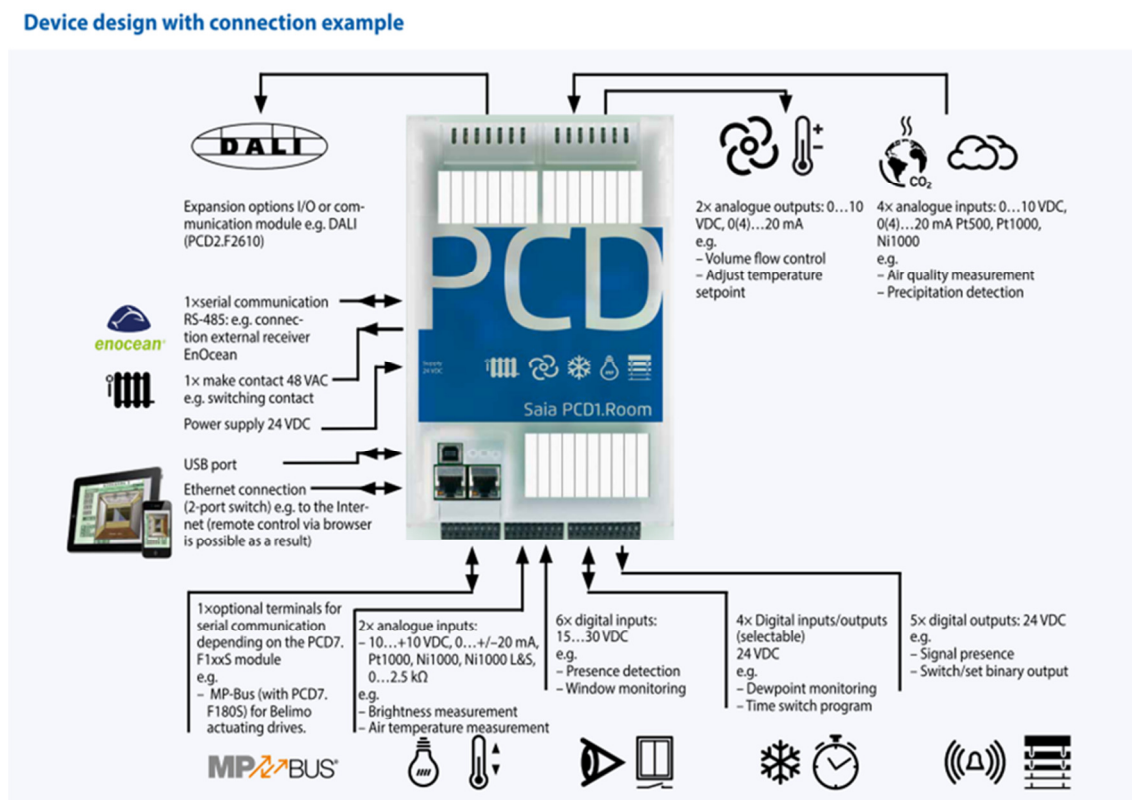
Kysyntäjoustopuolelle ohjausjärjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi PLC-logiikalla eli ohjelmoitavalla logiikalla tai kiinteistöjen nykyisillä automaatiojärjestelmillä. Ohjelmoitavaan logiikkaan tai automaatiojärjestelmään liitetään taajuusmittaus esimerkiksi Modbus-liitännän kautta, joka mittaa jatkuvasti sähköverkon taajuutta. Kysyntäjoustopuolelle toteutukseen voidaan käyttää erillisiä sähkön alamittauksia. Valvomojärjestelmällä voidaan hoitaa tarvittavat kysyntäjoustopuolelle ohjaukset, tietojen analysointi sekä raportointi kolmen minuutin välein csv-muodossa Fingridille. Tuntiaikasarjojen kerääminen, kysyntäjoustopuolelle tilastojen ja koosteiden, kuukausiraportoinnin sekä tuotantoennusteiden ylläpito ja raportointi onnistuvat esimerkiksi Rejlersin UtilityWeb -raportointijärjestelmässä. Tiedot raportointijärjestelmästä lähetetään Fingridille EDI-sanomina.

12.1 Taajuusmittaus

Taajuusmittaus voidaan asentaa mihin pisteeseen tahansa kiinteistössä. Fingridin oletus on, että sähköverkon taajuus on sama koko sähköverkossa. Tarkkuudelle ei ole asetettu tiettyjä vaatimuksia, mutta sen pitää pystyä Fingridin mukaan vähintään 0,01 hertsin tarkkuuden erotteluun. Taajuusmittaus voidaan liittää kysyntäjoustopuolelle ohjauslaitteeseen esimerkiksi Modbus-liitännän kautta. Taajuusmittaukseksi sopivat esimerkiksi sähkönlaatumittarit Eltroma MTM-4403, Socomec Diris A40 tai PowerLogic PM800, jotka täyttävät Fingridin vaatimuksen.

12.2 Saia-pcd ohjelmoitava logiikka

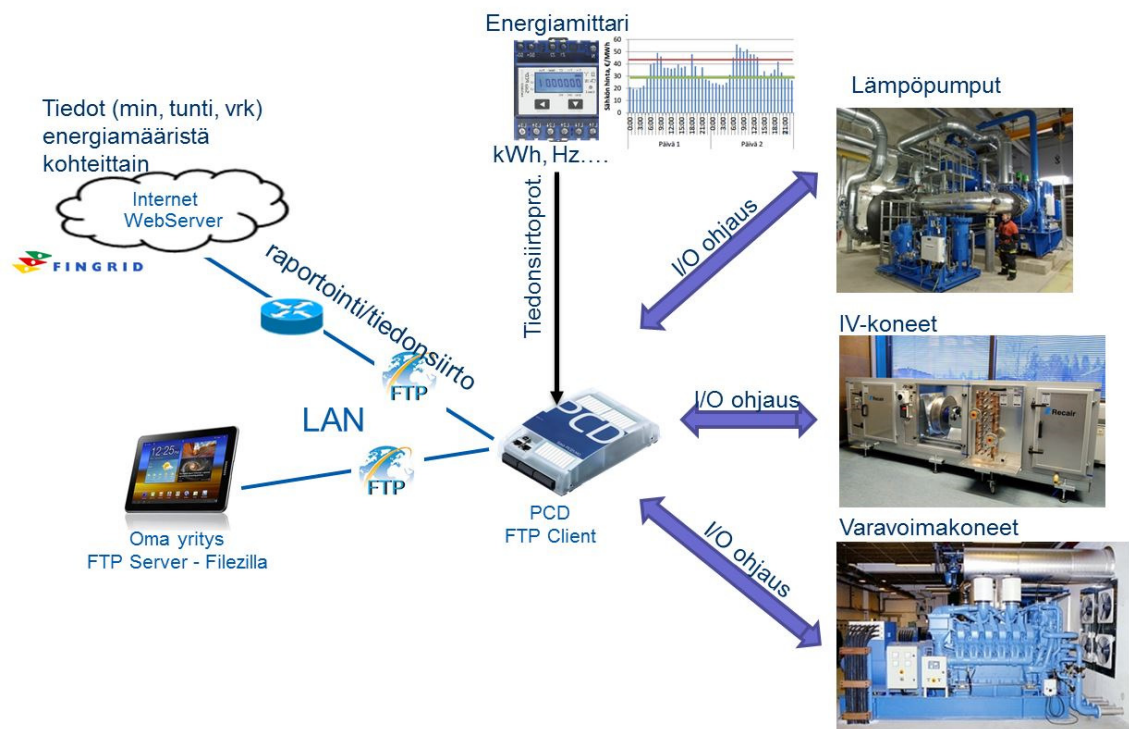
Energel Oy:n esittämäksi logiikkaratkaisuksi soveltuisi esimerkiksi Saian PCD1.M2110R1-ohjelmoitava logiikka. Logiikka sisältää vakiona seuraavat analogiset ja digitaaliset lähdöt sekä tulot: 2xAO, 6xAI, 6xDI, 4xDO ja 4 DI. Logiikkaan tarvitaan lisäksi PCD7.F150 -lisäkortti Modbus-liitäntää varten. Modbus-liitännän kautta sähköverkon taajuusmittaus saadaan kytkettyä ohjelmoitavaan logiikkaan. Lisäksi tarvitaan PCD2.W610AO -lähtökortti, jolla voidaan lisätä analogisten lähtöjen määrää logiikalla. Virtalähteeksi ohjelmoitavalle logiikalle soveltuu Caburin 230VAC/24VDC -virtalähde. Ohjauslogiikan arvonlisäveroton hinta ilman asennusta, taajuusmittausta ja ohjelmointia on noin tuhat euroa. Kuvassa 11 on esitetty Saian PCD1.M2110R1 -ohjelmoitava logiikka sekä logiikan liitännät.



Kuva 11. Saia PCD1.M2110R1 ohjelmoitava logiikka (34, s. 62).

Kysyntäjoustop ohjausratkaisu koostuu taajuusmittauksesta (Eltroma MT4403) ja ohjelmoitavasta logiikasta (Saia PCD1.M2110R1) lisäkortteineen ja virtalähteineen. Saian ohjelmoitavan logiikan tapauksessa taajuusmittaus voitaisiin toteuttaa Eltroman MT4403 -verkkoanalysaattorilla, jonka toimivuus Saian logiikan kanssa on jo todennettu käytännössä. Pilottikohteen tapauksessa voitaisiin hyödyntää myös nykyistä Soco-

mec Diris A40 -sähkönlaatumittaria. Taajuusmittaus on kytkettävissä suoraan muun muassa Saian ohjelmitavaan logiikkaan Modbus-liitynnän kautta. Taajuusmittaus (Eltroma) mittaa jatkuvasti sähköverkon taajuutta ja ohjelmitava logiikka (Saia PCD) säättää kuormia ohjelmoidun mukaisesti. Ohjelmitavan logiikkaan ohjelmoidaan eri tilanteiden mukaiset taajuusmuuttajien nopeusohjeet ja sillä ohjataan suoraan esimerkiksi ilmanvaihdon puhaltimien tai pumppujen taajuusmuuttajien nopeusohjeita. Ohjauksien todentamiseen käytetään erillisiä etäluettavia kWh-mittareita ja valvomosovellusta. Kuvassa 12 on esitetty käytännön toteutus Saian ohjelmitavalla logiikalla.



Kuva 12. Sähkön kysyntäjoustopalvelu Saian logiikalla (35).

Energel Oy:n mukaan ohjelmitava logiikka on varustettu webserver-ominaisuudella, eli se toimii itsenäisesti web-palvelimena. Logiikka on mahdollista varustaa myös valvomolla, ja se tallentaa halutut tiedot erilliseen lokitiedostoon. Ohjelmitava logiikka lähettää raportointitiedot automaattisesti Fingridin vaatimuksen mukaisesti kolmen minuutin välein. Raportointitiedot lähetetään csv-muodossa, ja sen sisältö on määritettävissä täysin vapaasti. Logiikka vaatii kiinteän internet-yhteyden, jotta sen valvomo-ominaisuudet toimisivat ongelmitta. Logiikka on myös mahdollista varustaa erillisellä GPRS-modeemilla, mutta tällöin valvomo-ominaisuudet eivät ole sujuvasti käytettävissä.

12.3 Kiinteistöautomaatio

Nykyisin kiinteistöautomaatiolla ohjataan suoraan lähes kaikkia kiinteistöteknisiä laitteita, muun muassa valaistuksia, ilmanvaihtoa, sulanapitoja, jäähdytyksiä, autolämmityksiä sekä lämmitysverkostoa, mikä mahdollistaisi kiinteistöautomaation hyödyntämisen kattavasti kysyntäjoustopuolella.

12.3.1 Schneiderin automaatiojärjestelmä

Osaa pilottikohteen ilmanvaihdosta ohjataan Schneider Electricin automaatiojärjestelmällä. Taajuusmittaukseen soveltuisi Schneider Electricin mukaan esimerkiksi PowerLogic PM800-sarjan mittarit. Väyläliitännänä mittarissa on Modbus. Säädön todentaminen voidaan toteuttaa Schneider Electricin mukaan esimerkiksi iEM3150-energiamittarilla, joka on mahdollista sijoittaa taajuusmuuttajan eteen. Pätöteho voitaisiin lukea väylästä ja ohjauksen tilatieto päätellä esimerkiksi vaihevirroista.

12.3.2 Siemensin automaatiojärjestelmä

Siemensin mukaan taajuusmittaukseen soveltuisivat esimerkiksi Siemens Sentron PAC- tai SICAM-sarjojen tuotteet. Soveltuvia mittareita Siemensin mukaan ovat PAC1500, 3100, 3200 tai 4200 tai SICAM P50, P850 tai MMU. Samalla mittarilla voitaisiin Siemensin mukaan mitata myös kuorman teho, jota tarvitaan kysyntäjoustopuolella todentamiseen.

12.3.3 Honeywellin automaatiojärjestelmä

Pilottikohteessa osaa ilmanvaihdosta ohjataan Honeywell Alcont kiinteistöautomaatiojärjestelmällä. Honeywellin mukaan automaatiojärjestelmään taajuusmittaukseen sopisi Socomec Diris A40 profibus -liitännällä. Pilottikohteen sähkökeskuksista osa on jo varustettu Honeywellin suosittamalla taajuusmittauksella Socomec Diris A40, mutta niitä ei ole liitetty keskitetysti kiinteistöautomaatiojärjestelmään. Kuvassa 13 on esitetty Socomed Diris A40 -sähkönlaatumittari. Honeywellin mukaan suoraan kiinteistöautomaatioon voitaisiin ohjelmoida eri tasoja nopeus- ja taajuusohjeelle.



Kuva 13. Socomed Diris A40 sähkökeskuksessa

12.4 Valvomojärjestelmät

Valvomojärjestelmän avulla voitaisiin todentaa sähkön kysyntäjoustoan liittyvät ohjaukset, jolloin palvelusta saataisiin täysin läpinäkyvä asiakkaan suuntaan. Valvomo-ohjelmistojen hinnoittelu on tyypillisesti sidottu tag-määrään eli automaation pistemäärään. Hinnoittelu menee karkeasti siten, että 2 000 tagia maksaa noin 3 000 euroa ja rajoittamaton käyttö maksaa noin 8 000 euroa. Valvomo vaatii tyypillisesti myös oman palvelimen. Vaihtoehtoisia valvomo-ohjelmistoja ovat muun muassa Inductive Automation Ignition, Siemens Simatic WinCC ja Indusoft Web Studio. Valvomojärjestelmästä hoidettaisiin kysyntäjousto-ohjaukset, tietojen analysointi sekä raportointi Fingridille kolmen minuutin välein.

12.5 Raportointijärjestelmä

Tarvittavat tuntisarjat voitaisiin koota esimerkiksi Rejlersin UtilityWeb -raportointijärjestelmään. Lisäksi kysyntäjoustoan tilastot ja koosteet voidaan luoda raportointijärjestelmällä. Tuotantoennusteiden ylläpito ja raportointi kerran vuorokaudessa toteutetaan myös Rejlersin UtilityWeb -raportointijärjestelmällä. Tiedot raportointijärjestelmästä voidaan lähettää Fingridille EDI-sanomina.

13 Kysyntäjoustoselvitys pilottikohteessa

Toukokuussa 2015 käynnistettiin teollisuuden pilottikohteessa sähkön kysyntäjoustoselvitys. Pilottiprojekti aloitettiin tehtaan kysyntäjoustopotentiaalien esikartoituksella, jossa pohdittiin toimialan mahdollisia kysyntäjoustopotentiaaleja. Esikartoituksen perusteella suurimmat kysyntäjoustopotentiaalit arvioitiin olevan pumppauksissa, termokompressorissa, voimalaitoksella sekä tilojen ilmanvaihdossa.

Pilottiprojekti jatkui työpajalla, joka pidettiin teollisuuskohteessa. Työpajaan osallistuivat voimalaitoksen käyttöhenkilökunta, tuotannon esimies, automaatiopäällikkö sekä tehdaspalvelupäällikkö. Työpajassa potentiaalisimmiksi kysyntäjoustopotentiaaleiksi osoittautuivat voimalaitos, jäteveden puhdistamo, jäteveden lämmön talteenotto, tilojen ilmanvaihto ja mahdollinen pienvesivoimalaitos. Tuotannossa ei oletettu merkittävää potentiaalia taajuusohjattuun kysyntäjoustopotentiaaliin liittyen, mutta tarkasteluun otettiin mukaan kuitenkin rullakuljettimet.

Pilottiprojekti jatkui kysyntäjoustoselvityksellä, joka toteutettiin keskiviikkona 17.6.2015. Ensimmäisen tehdasselvityksen aikaan kartoitettiin voimalaitos, jätevedenpuhdistamo, vesilaitos sekä tilojen ilmanvaihto. Toinen teollisuuskierron toteutettiin perjantaina 14.8.2015. Toisen tehdasselvityksen aikaan kartoitettiin konesalin, viimeistelyhallin, konttorin ja varastojen ilmanvaihdot sekä tuotannosta rullakuljettimet.

13.1 Voimalaitos

Pilottikohteessa on sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos eli CHP-voimalaitos (Combined Heat Power). Voimalaitoksella tuotetaan prosessin tarvitsema lämmitys- höyry, teollisuusrakennusten lämpö, kaukolämpöä läheiselle taajamalle sekä tuotetaan osa tehtaan tarvitsemasta sähköstä. Lämmön tuotanto on voimalaitoksella kuitenkin ensisijalla.

Voimalaitoksella on käytössä kaksi turbiinia. Pienempi turbiini on käytössä arviolta noin 8 400 tuntia vuodessa ja isompi turbiini noin 2–6 kuukautta sähkön hinnan mukaan. Käyttöhenkilökunnan mukaan reduktioajolla sähkön tuotantoa saadaan pienennettyä tai suurennettua tarpeen mukaan. Reduktion kautta ajetaan höyryä enemmän, jolloin sähkön tuotanto laskee. Kun reduktion kautta ajetaan höyryä vähemmän, sähkön tuo-

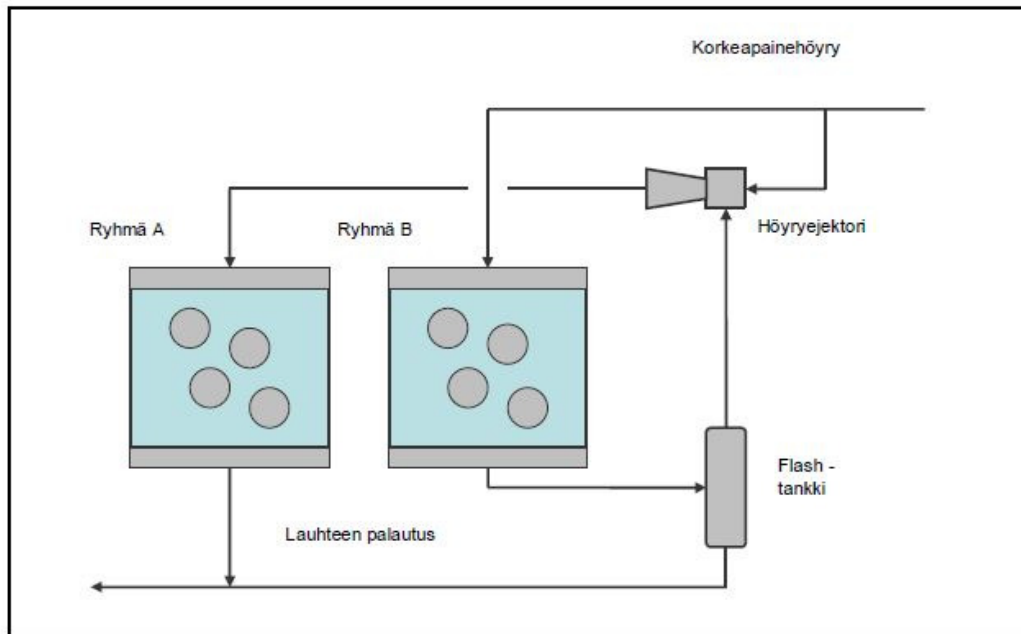
tanto vastaavasti nousee. Tällä tavoin hetkellissääto olisi mahdollista, mikäli voimalaitoksen ohjausautomaatio olisi riittävällä tasolla.

Voimalaitoksen hyödyntäminen kysyntäjoustopissa on erittäin haastavaa, koska voimalaitoksella ei ole nykyisellään riittävää ohjausautomaatiota olemassa, vaan säädöt hoidetaan manuaalisesti. Lisäksi voimalaitokselle ei haluta lisätä monimutkaisia epäsuoria säätöpiirejä tehtaan käynnin kannalta kriittisiin reduktioihin. Automaation lisääminen voimalaitokseen maksaisi arviolta satoja tuhansia euroja eikä täten ole perusteltavissa kysyntäjoustopista saatavilla korvauksilla.

13.1.1 Termokompressorit

Höyryejektorista käytetään metsäteollisuudessa nimitystä termokompressorit, joka on yksi yleisesti käytetyistä lämpöpumppumenetelmistä. Höyryejektorilla matalapaineisen höyryn painetaso saadaan nostettua paremmin teollisuuden hyötykäyttöön soveltuvaan prosessihöyryn painetasoon. Höyryejektorilla saadaan nostettua matalapaineisen höyryn painetta johtamalla ejektoriin korkeapaineista höyryä. Höyryejektorin termodynaaminen hyötysuhde on noin kolmasosa, mitä voitaisiin saavuttaa mekaanisella kompressorilla. Termokompressorin eli höyryejektorin etuna voidaan pitää kuitenkin sen edullista hankintahintaa. Höyryejektorit soveltuukin kaikista parhaiten lämpöpumppusovelluksiin, joita käytetään vain lyhyen aikaa. Termokompressorit on yleisesti käytössä useissa metsäteollisuuden kohteissa. (36, s. 9.) Kuvassa 14 on esitetty termokompressorin toimintaperiaate jatkuvassa käytössä.

Termokompressor



Kuva 14. Termokompressorin toimintaperiaate jatkuvassa käytössä (36, s. 9).

Käyttöhenkilökunnan mukaan pienellä turbiinilla termokompressorin avulla voidaan lisätä sähkön tuotantoa maksimissaan 0,5 megawattia. Isolla turbiinilla termokompressorin avulla voidaan lisätä sähkön tuotantoa maksimissaan 0,9 megawattia. Termokompressorin ohjaus tapahtuu Honeywell Alcont -automaatiojärjestelmällä, ja se olisi käytännössä ohjattavissa kolmen minuutin sisällä alas- tai ylöspäin. Termokompressorilla olisi säädettävää kapasiteettia hyödynnettävissä arviolta noin 250 kilowattia syyskuusta maaliskuuhun asti.

13.1.2 Lauhdepumput

Voimalaitoksella on kaksi kappaletta lauhdepumppuja ja niiden nimellistehot ovat 11 kilowattia eli lauhdepumppujen kokonaisteho on 22 kilowattia. Voimalaitoksella olevat lauhdepumput ovat käytössä läpi vuoden, ja ne ovat suorakäyttöisiä. Lauhdepumput olisivat käyttöhenkilökunnan mukaan sammutettavissa hetkeksi, mutta se voisi aiheuttaa paineiskuja pumpuille ja putkistolle sekä aiheuttaa täten prosessin heilumista.

13.2 Tilojen ilmanvaihto

Paperikonesalien 1 ja 2 ilmanvaihdossa on neljä kappaletta raitisilmapuhaltimia, joiden yksittäiset puhallinkohtaiset nimellistehot ovat 37 kilowattia. Laitteiston kokonaisteho on siis yhteensä noin 148 kilowattia. Raitisilmapuhaltimia ohjataan Vaconin taajuusmuuttajilla ja Honeywell Alcont -automaatiojärjestelmällä.

Lisäksi muita potentiaalisia puhaltimia ovat LTO1:n tuuletusilmapuhallin, jonka nimellisteho on 45 kilowattia. LTO1:n tuuletusilmapuhallinta ohjataan Honeywell Alcont -automaatiojärjestelmällä. Muita potentiaalia puhaltimia ovat konttorin tuloilmapuhallin (nimellisteho 18,5 kilowattia), konttorin poistoilmapuhallin (nimellisteho 11 kilowattia), paperikonesali 3:n tuloilmapuhallin (nimellisteho 15 kilowattia) ja paperivaraston tuloilmapuhallin (nimellisteho 15 kilowattia). Näitä puhaltimia ohjataan Schneider Electricin -automaatiojärjestelmällä. Edellä mainitut puhaltimet ovat suorakäyttöisiä. Puhaltimiin täytyisi asentaa taajuusmuuttajat, jotta niitä voitaisiin hyödyntää sähkön kysyntäjoustossa. Kysyntäjoustokartoituksen yhteydessä käytiin läpi myös muiden tilojen ilmanvaihtoa. Näissä puhallinkohtaiset nimellistehot olivat 1,5 kilowatin ja 7,5 kilowatin väliltä.

Ilmanvaihto on käytettävissä läpi vuoden. Ilmanvaihtoa voitaisiin suuren rakennustilavuuden ansiosta ajaa hetkellisesti pienemmälle tai isommalle olosuhteita merkittävästi heikentämättä. Ilmanvaihdon hyödyntämistä rajoittaa kuitenkin se, että kaikkia ilmanvaihtokoneita ei ole varustettu taajuusmuuttajilla. Suurin potentiaali liittyy kuitenkin paperikonesalien ilmanvaihtoon, jota on varustettu jo taajuusmuuttajilla ja liitetty keskitettyyn automaatiojärjestelmään. Ilmanvaihtoa voitaisiin ohjata nykyisillä Honeywell Alcont- tai Schneider Electric -automaatiojärjestelmillä tai vaihtoehtoisesti erillisellä ohjelmoitavalla logiikalla.

13.3 Vesilaitos

Vesilaitoksen ohjattavat kuormat on liitetty Siemens Simatic WinCC -automaatiojärjestelmään ja ne on varustettu jo taajuusmuuttajilla. Vesilaitoksen kuormia voitaisiin ohjata nykyisellä Siemensin automaatiojärjestelmällä tai erillisellä ohjelmoitavalla logiikalla.

13.3.1 Suolanpoiston kemiallisen veden pumppu

Suolanpoiston kemiallisen veden pumpun nimellisteho on 75 kilowattia, ja se on varustettu Vaconin taajuusmuuttajalla. Suolanpoiston kemiallisen veden pumpulla voidaan käyttöhenkilökunnan mukaan pumpata hetkellisesti enemmän tai vähemmän, jos se on prosessin puitteissa mahdollista. Prosessin normaalioloissa pumppua voitaisiin hyödyntää sähkön kysyntäjoustopuolella. Kuvassa 15 on esitetty suolanpoiston kemiallisen veden pumppu, joka olisi hyödynnettävissä sähkön kysyntäjoustopuolella.



Kuva 15. Suolanpoiston kemiallisen veden pumppu

13.3.2 Tasausaltaan pumppu

Tasausaltaan pumpun nimellisteho on 15 kilowattia. Pumppu on käytössä koko ajan ja sitä voidaan käyttöhenkilökunnan mukaan normaalioloissa hetkellisesti pienentää tai pumpata enemmän. Tasausaltaan pumppu on varustettu ABB:n taajuusmuuttajalla.

13.4 Jäteveden puhdistamo

Jätevedenpuhdistamon laitteet on liitetty nykyisellään Siemens Simatic WinCC -automaatiojärjestelmään, mikä mahdollistaisi ilmastuskompressoreiden ja pumppauksien ohjaukset kattavasti myös nykyisen automaatiojärjestelmän kautta.

13.4.1 Ilmastuskompressorit

Jätevedenpuhdistamolla ovat ilmastuskompressorit 1 ja 3, jotka on varustettu ABB:n taajuusmuuttajilla. Ilmastuskompressorin 1 nimellisteho on 55 kilowattia ja ilmastuskompressorin 3 nimellisteho on 37 kilowattia. Ilmastuskompressori 2 on suoraikäyttöinen, ja sen nimellisteho on 37 kilowattia. Ilmastuskompressorit 1, 2 ja 3 ovat käytettävissä läpi vuoden, ja niiden tehoja voidaan käyttöhenkilökunnan mukaan prosessin normaalitilanteessa hetkellisesti pienentää tai suurentaa. Ilmastuskompressorien 1 ja 3 todettiin soveltuvan hyvin kysyntäjoustoon, koska ne on jo varustettu taajuusmuuttajilla. Myös ilmastuskompressoria 2 voitaisiin hyödyntää kysyntäjoustossa, mikäli se olisi varustettu taajuusmuuttajalla. Kuvassa 16 on esitetty jäteveden puhdistamon ilmastuskompressori.



Kuva 16. Ilmastuskompressori

13.4.2 Lieteltaan pumppu

Lieteltaan pumppu on suoraikäyttöinen, ja sen nimellisteho on 43 kilowattia. Lieteltaan pumppu on käytössä läpi vuoden, mutta pumppua ei voida käyttöhenkilökunnan mukaan sammuttaa tai sillä ei voi pumpata hetkellisesti enempää. Tästä syystä lietealtaan pumpun ei todettu soveltuvan sähkön kysyntäjoustoon.

13.5 Jäteveden lämmön talteenotto

Jäteveden lämmön talteenoton pumpun teho pilottikohteessa on noin 110 kilowattia. Lämmön talteenoton pumppu on varustettu Vaconin taajuusmuuttajalla. Lämmön talteenotto on käytettävissä syyskuun puolivälistä toukokuun puoliväliin ja sitä voitaisiin hetkellisesti vähentää arviolta noin kymmenen prosenttia. Jäteveden lämmön talteenotto olisi käyttöhenkilökunnan mukaan hyödynnettävissä osan vuodesta sähkön kysyntäjousto.

13.6 Rullakuljettimet

Tuotannossa ainut sähkön kysyntäjoustopohde oletettiin olevan työpajan perusteella rullakuljettimet. Rullakuljettimia käytetään paperirullien siirtämiseen kiinteistön sisällä. Pilottikohteessa rullakuljettimien kokonaistehon on arvioitu olevan noin sata kilowattia. Rullakuljettimia ohjataan manuaalisesti, ja lisäksi niiden käyttö on vain satunnaista. Tämän takia rullakuljettimien ei oletettu soveltuvan sähkön kysyntäjousto.

13.7 Pienvesivoimalaitos

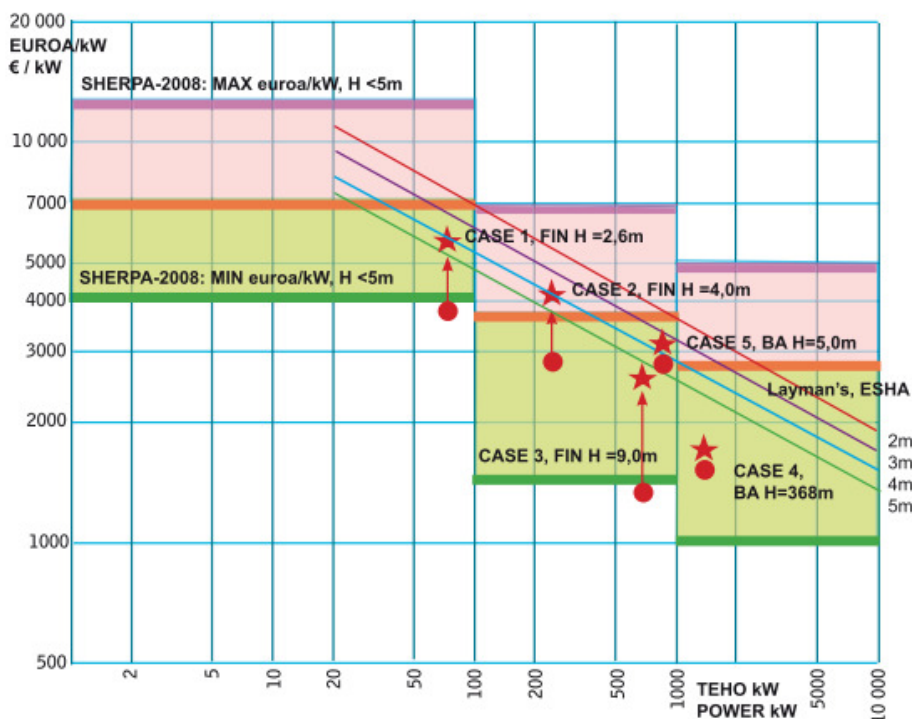
Pienvesivoimalaoppaan mukaan vesivoimalaitoksessa virtaavan veden liike-energiaa muutetaan mekaaniseksi energiaksi ja siitä generaattorien avulla sähköenergiaksi (37, s. 27). Vesivoimalaitoksen kustannustekijöitä ovat laitoksen koko, putouskorkeus, laitoksen sijaintialueen järvisyys sekä padon ja tulvaluukkujen kustannukset (37, s. 12).

Oppaan mukaan teho määritellään alla olevalla laskukaavalla:

$$\text{Teho, kW} = \text{Tehokerroin} \times \text{Virtaama (m}^3\text{/s)} \times \text{putouskorkeus (m)} \quad (37, \text{ s. } 10.)$$

Investointikustannusten lisäksi tulevat vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä muut ylläpitokulut. Alle yhden megawatin laitoksissa käyttö- ja kunnossapitokustannusten suuruus on tyypillisesti noin 8–12 euroa megawattitunnilta (37, s. 13). Kuvassa 17 on esitetty pienvesivoimalaitoksien investointikustannukset.

Pienvesivoimaloiden investointikustannukset (€ / kW nimellisteho) Small Hydro Investment costs (cost level December 2008)



Kuva 17. Pienvesivoimalaitoksen investointikustannukset (37, s. 13).

Pilottikohteeseen olisi mahdollista hankkia pienvesivoimalaitos. 200 kilowatin pienvesivoimalaitoksella saatava reservikorvaus vuosimarkkinoilla olisi noin 18 674 euroa vuodessa, mikäli se olisi kahdeksan kuukautta käytettävissä. 250 kilowatin vesivoimalaitoksella saatava reservikorvaus vuosimarkkinoilla olisi taas 23 342 euroa vuodessa, kun vesivoimalaitos olisi käytettävissä arviolta kahdeksan kuukautta vuodesta. Mikäli pienvesivoimalaitoksen investointikustannus olisi noin 300 000 euroa, niin suoraksi takaisinmaksuajaksi tulisi 250 kilowatin pienvesivoimalaitoksella noin 12,9 vuotta ja 200 kilowatin pienvesivoimalaitoksella noin 16 vuotta.

$$0,2 \text{ MW} \times 5\,760 \text{ h/a} \times 16,21 \text{ €/MW,h} = 18\,674 \text{ €/vuosi}$$

$$0,25 \text{ MW} \times 5\,760 \text{ h/a} \times 16,21 \text{ €/MW,h} = 23\,342 \text{ €/vuosi}$$

13.8 Valaistus

Valaistuksen liittäminen kysyntäjoustopiiriin on nykyisillä ohjausjärjestelmillä haastavaa, koska valaistusta ohjataan vain muutamasta pisteestä periaatteella päälle/pois

eikä keskitettyä ohjausta ole. Valaistus on jaettu vaiheittain, joten osa valaistuksesta voitaisiin tiputtaa teoriassa hetkellisesti pois. Valaistuksen jatkuva sytyttäminen ja sammuttaminen lyhentävät merkittävästi kuitenkin valaistuksen käyttöikää sekä aiheuttaa merkittävän työturvallisuusriskin. Pilottikohteessa valaistuksen ei todettu soveltuvan sähkön kysyntäjousto.

13.9 Saattolämmitykset ja sulanapidot

Kiinteistössä on ränninsulatuksia, siltalämmityksiä, ritilälämmityksiä ja luiskanlämmityksiä, joita ohjataan useilla paikallisilla ulkotermostaateilla ulkolämpötilan mukaan. Lämmitykset on toteutettu itsesäätyvillä lämmityskaapeleilla ja ne on hajautettu ympäri laitosta. Pilottikohteessa lastaussillan lämmityksen kokonaisteho on yli 30 kilowattia, ja sitä ohjataan useilla erillisillä termostaateilla. Sulanapitojen hyödyntäminen sähkön kysyntäjousto nykyisillä hajautetuilla ohjausjärjestelmillä on haastavaa. Lisäksi kuormat ovat hyödynnettävissä vain talvikaudella.

13.10 Huonetilojen jäähdytykset

Kiinteistössä on useita huonetilojen jäähdytyksiä, mutta ne ovat kaikki paikallisesti ohjattavissa. Lisäksi kiinteistössä on sähkötilojen jäähdytykset, joiden kokonaisteho on lähes 50 kilowattia. Jäähdytyksiä ei ole liitetty keskitetysti automaatiojärjestelmään. Pilottikohteessa kannattaisi harkita jäähdytysten liittämistä keskitettyyn kiinteistöautomaatiojärjestelmään. jolloin niitä voitaisiin hyödyntää kysyntäjousto.

13.11 Varavoima ja UPS-järjestelmät

Pilottikohteessa ei ole merkittäviä varavoima- tai UPS-järjestelmiä. UPS-järjestelmät koostuvat yksittäisistä pienistä yksiköistä. Varavoimakoneiden tai UPS-järjestelmien osalta ei todettu olevan sähkön kysyntäjoustopotentiaalia.

13.12 Trukkilataamo

Kiinteistössä on yksittäisiä trukkien latauspisteitä. Trukkien latauspisteitä ei ole liitetty keskitettyyn ohjausjärjestelmään, vaan niitä ohjataan vain paikallisesti. Trukkien latauksessa ei oletettu olevan merkittävää potentiaalia kysyntäjousto liittyen.

14 Kysyntäjoustop markkinapaikat, reservikorvaukset ja ohjattavat kuormat pilottikohteessa

Pilottikohteen tapauksessa säädettävät kuormat jäävät reilusti alle yhden megawatin, joten potentiaaliset markkinapaikat ovat Elspot- ja Elbas-markkinat sekä taajuusohjatun käyttöreservin tunti- ja vuosimarkkinat. Pilottikohteen teoreettinen säätöpotentiaali alas- ja ylöspäin on 0,1–0,2 megawattia, joten taajuusohjattuun käyttöreserviin voitaisiin osallistua teoreettisesti 0,1 megawatin tai 0,2 megawatin kuormalla.

14.1 Kuormien ohjausjärjestys

Skenaario 1: Ilmanvaihdon ja vesilaitoksen kuormien ohjaus, 100 kilowatin säätöpotentiaali taajuusohjatussa käyttöreservissä

Kuormia voitaisiin ohjata seuraavassa järjestyksessä:

1. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 1
2. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 1
3. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 2
4. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 2
5. Suolanpoiston kemial. veden pumppu
6. Ilmastuskompressori 1
7. Ilmastuskompressori 3

Teoreettisesti kuormilla 1–5 voitaisiin jo päästä sadan kilowatin säätöpotentiaaliin alas- ja ylöspäin. Kuormilla 1–7 saataisiin todennäköisesti yli sadan kilowatin alas- ja ylös-säätömahdollisuus, josta saatava reservikorvaus taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoilla olisi noin 14 200 euroa vuodessa. Skenaariossa 1 kaikki ohjattavat kuormat on jo varustettu taajuusmuuttajilla, joten merkittäviä investointikustannuksia ei synny. Investointi koostuu ohjauslogiikoista, ohjauslogiikoiden asennuksesta sekä ohjelmoinnista.

Skenaario 2: Ilmanvaihdon ohjaus, 100 kilowatin säätöpotentiaali taajuusohjatussa käyttöreservissä

Kuormia voitaisiin ohjata seuraavassa järjestyksessä:

1. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 1
2. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 1
3. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 2
4. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 2
5. LTO1:n tuuletusilmapuhallin
6. Konttorin tuloilmapuhallin
7. Konttorin poistoilmapuhallin
8. Paperikonesali 3, tuloilmapuhallin
9. Paperivaraston tuloilmapuhallin

Teoreettisesti kuormilla 1–6 voitaisiin päästä sadan kilowatin säätöpotentiaaliin alas- ja ylöspäin. Kuormilla 1–9 saataisiin todennäköisesti yli sadan kilowatin alas- ja ylössäättömahdollisuus, josta saatava reservikorvaus taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoilla olisi noin 14 200 euroa vuodessa.

Skenaariossa 2 taajuusmuuttajat tulisi lisätä kuormiin 5–9. Taajuusmuuttajien investointikustannukseksi arvioidaan noin 20 000–30 000 euroa ilman mahdollisia työ- ja kaapelointikustannuksia. Lisäkustannuksia tulee ohjauslogiikoista, ohjauslogiikoiden asennuksesta sekä ohjelmoinnista. Skenaariossa 2 järjestelmästä tulee monimutkaisempi kuin skenaariossa 1. Investointikustannuksia nostaa taajuusmuuttajien lisääminen. Ilmanvaihdon ohjaaminen ei kuitenkaan aiheuttaisi lainkaan haittaa prosessille.

Skenaario 3: Ilmanvaihdon ja vesilaitoksien kuormien ohjaus, 200 kilowatin säätöpotentiaali taajuusohjatussa käyttöreservissä

Kuormia voitaisiin ohjata seuraavassa järjestyksessä:

1. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 1
2. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 1
3. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 2
4. Raitisilmapuhallin, paperikonesali 2
5. LTO1:n tuuletusilmapuhallin
6. Konttorin tuloilmapuhallin
7. Konttorin poistoilmapuhallin
8. Paperikonesali 3, tuloilmapuhallin
9. Paperivaraston tuloilmapuhallin
10. Suolanpoiston kemial. veden pumppu
11. Ilmastuskompressori 1
12. Ilmastuskompressori 3
13. Ilmastuskompressori 2

Kuormilla 1–13 saataisiin teoreettisesti yli 200 kilowatin alas- ja ylössäätömahdollisuus, josta saatava reservikorvaus taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoilla olisi noin 28 400 euroa vuodessa. Skenaariossa 3 taajuusmuuttajat tulisi lisätä kuormiin 5–9 ja 13. Taajuusmuuttajien investointikustannukseksi arvioidaan noin 30 000–40 000 euroa ilman mahdollisia työ- ja kaapelointikustannuksia. Lisäkustannuksia tulee ohjauslogiikoista, ohjauslogiikoiden asennuksesta sekä ohjelmoinnista. Skenaariossa 3 ohjausjärjestelmästä tulee verrattain liian monimutkainen ja kallis saatavaan tuottoon nähden.

14.2 Termokompressori

Termokompressorilla voitaisiin osallistua taajuusohjattuun käyttöreservin vuosimarkkinoille. Jos termokompressori voitaisiin hyödyntää syyskuusta maaliskuuhun 250 kilowatin teholla, siitä saatava reservikorvaus taajuusohjatussa käyttöreservissä olisi noin 20 263 euroa vuodessa alla olevan laskentaperusteiden mukaisesti. Termokompressoria kannattaa kuitenkin hyödyntää ennemmin sähkön tuotannossa, koska sieltä saatava tuottoennuste on parempi.

$$0,25 \text{ MW} \times 5\,000 \text{ h/a} \times 16,21 \text{ €/MW,h} = 20\,263 \text{ €/vuosi}$$

14.3 Pienvesivoimalaitos

Kahden sadan kilowatin pienvesivoimalaitoksella saatava korvaus vuosimarkkinoilla olisi noin 18 674 euroa vuodessa, mikäli se olisi 5 760 tuntia vuodesta käytettävissä. 250 kilowatin vesivoimalaitoksella saatava korvaus vuosimarkkinoilla olisi taas 23 342 euroa vuodessa, mikäli se olisi koko 5 760 tuntia vuodesta käytettävissä. Tuotto on laskettu seuraavien laskentaperusteiden mukaisesti.

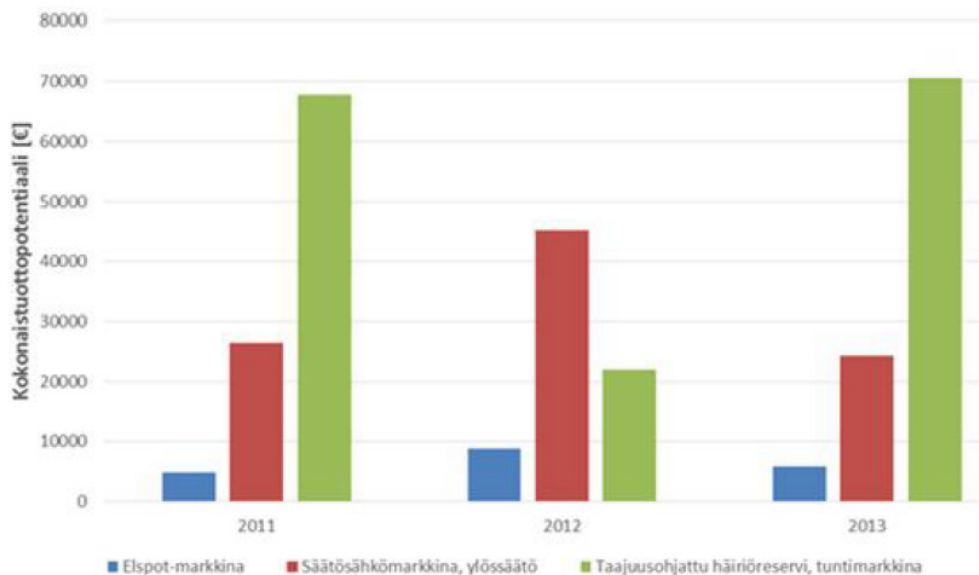
$$0,2 \text{ MW} \times 5\,760 \text{ h/a} \times 16,21 \text{ €/MW,h} = 18\,674 \text{ €/vuosi}$$

$$0,25 \text{ MW} \times 5\,760 \text{ h/a} \times 16,21 \text{ €/MW,h} = 23\,342 \text{ €/vuosi}$$

Mikäli pienvesivoimalaitoksen investointikustannus olisi noin 300 000 euroa, suoraksi takaisinmaksuajaksi tulisi 250 kilowatin pienvesivoimalaitoksella noin 12,9 vuotta ja 200 kilowatin pienvesivoimalaitoksella suoraksi takaisinmaksuajaksi tulisi noin 16 vuotta. Pienvesivoimalaitos soveltuisi erinomaisesti taajuusohjattuihin reserveihin.

15 Hinnoittelumallien määrittäminen

Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusraportissa todetaan, että kysyntäjoustopotentialin kannattavuuden on todettu olevan parempi reaaliaikaisemmillä kysyntäjoustopotentialilla (31, s. 32). Kuvassa 18 on esitetty yhden megawatin kuormanohjauskapasiteetin tuottopotentialista vuosina 2011–2013.



Kuva 18. Esimerkki yhden megawatin kuormanohjauskapasiteetin tuottopotentialista vuosina 2011–2013 (31, s. 32).

Kuvasta nähdään, että taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoiden tuottopotentiali on suurin. Tuottopotentiali oli Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusraportin mukaan noin 17-kertainen perinteiseen Elspot-markkinaan verrattuna ja säättösähkömarkkinoiden teoreettinen maksimituottopotentiali oli lähes seitsemänkertainen Elspot-markkinaan nähden. (31, s. 31.) Taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoilla kysyntä ei ole kuitenkaan varmaa, vaan tuntimarkkinoita käytetään täydentävään hankintaan. Viime vuosina taajuusohjatusta häiriöreserveistä maksetut reservikorvaukset ovat nousseet, mikä nostaa tehoreservimarkkinoiden kiinnostavuutta entisestään.

15.1 Hinnoittelumallit

Ennen palvelusopimuksen tekoa asiakkaan kohteessa joudutaan tekemään sähkön kysyntäjoustoselvitys, jossa selvitetään sähkön kysyntäjoustopotentiaalit ja potentiaaliset kysyntäjoustopotentialit. Lisäksi tehdään alustavat investointi- ja tuottolaskelmat.

15.1.1 Hyödynjakomalli

Yksi hinnoitteluperiaate voisi olla hyödynjakomalli, jossa kysyntäjoustopotentialit saavat tuotot jaetaan palveluntarjoajan ja asiakkaan kesken sovituissa suhteissa. Asiakkaan ainoaksi tehtäväksi jää tehoreservisopimuksen laadinta Fingridin kanssa, jota tällä hetkellä ulkopuolinen toimija, kuten aggregaattori ei pysty asiakkaan puolesta tekemään.

Palveluntarjoaja voisi veloittaa tietyn prosentuaalisen osuuden saadusta vuosittaisesta tehoreservikorvauksesta. Palveluntarjoajan osuudella katetaan kaikki ohjausjärjestelmien alkuinvestoinnit kohteessa. Lisäksi sillä katettaisiin kysyntäjoustopotentialien sekä sopimusten ja markkinatarjousten valmisteluista aiheutuvat työkustannukset. Näiden lisäksi palvelumaksulla katetaan kysyntäjoustopalvelun perustamisesta, valvonnasta, ylläpidosta sekä raportoinnista aiheutuvat ylläpito- ja työkustannukset. Hyödynjakomallissa sopimus olisi aina määräaikainen.

15.1.2 Kuukausipalveluveloitus

Toinen hinnoitteluperiaate voisi olla kuukausipalveluveloitus, jossa olisi kiinteä hinta kuukausittain. Kuukausittaisella palvelumaksulla katettaisiin kysyntäjoustopalvelun valvonnasta, ylläpidosta ja raportoinnista aiheutuvat kustannukset. Kuukausipalveluveloituksessa alkuinvestoinnit ja kysyntäjoustopotentialien selvitys veloitettaisiin asiakkaalta erikseen. Alkuinvestoinnit koostuvat sähköverkon taajuusmittauksesta, ohjauslogiikasta, ohjauslogiikan ohjelmoinnista sekä valvomon ja raportoinnin perustamisesta. Kuukausipalveluveloituksen etuna on se, että asiakas tietää tarkkaan, mitä palvelu maksaa kuukausittain.

15.1.3 Aggregaattorimalli

Kolmas hinnoitteluperiaate olisi niin sanottu aggregaattorimalli, jossa ohjattavia kuormia kerättäisiin useista eri kiinteistökohteista ja useilta eri asiakkailta. Kysyntäjoustosta saatavat tuotot jyvitetäisiin sovitussa suhteessa eri asiakkaiden sekä aggregaattorien kesken. Aggregaattorimallin etuna on se, että sen avulla voitaisiin osallistua useille eri markkinapaikoille. Tässä mallissa Rejlers toimisi aggregaattorina.

16 Yhteenveto

Kysyntäjoustopuolteen haasteena voidaan tällä hetkellä pitää sitä, että täysin valmiita sähköpuolteen kysyntäjoustopuolteen ohjausratkaisuja ei ole vielä olemassa. Järjestelmät joudutaan enemmän tai vähemmän räätälöimään asiakkaiden ja järjestelmien mukaan, mikä lisää merkittävästi investointikustannuksia. Uudiskiinteistöissä voidaan huomioda kysyntäjoustopuolteen tarpeet jo suunnitteluvaiheessa, jolloin investointikustannukset laskevat merkittävästi.

Pilottikohteessa haasteeksi tuli myös se, että ohjattavat kuormat on hajautettu ympäri laitosta useilla erillisillä automaatiojärjestelmillä. Lisäksi useat potentiaaliset kuormat ovat vain paikallisesti ohjattavia sekä ohjattavista kuormista puuttuivat taajuusmuuttajat. Tämä nostaa merkittävästi sähköpuolteen kysyntäjoustopuolteen järjestelmän investointikustannuksia sekä täten kysyntäjoustopuolteen kannattavuutta. Pilottikohteen perusteella voidaan todeta, että parhaiten kysyntäjoustopuolteen soveltuvia kuormia ovat jo taajuusmuuttajilla varustetut ilmanvaihdon puhaltimet ja pumppaukset.

Myös taajuusohjatussa käyttöreservissä haasteeksi on osoittautunut se, että ylöspäin säädettävää 0,1 megawatin kuormaa on haastava saada kasaan yksittäisessä käyttöpaikassa. Aggregaattorina kuitenkin osallistuminen eri kysyntäjoustopuolteen markkinoille on mahdollista, kun ohjattavia kuormia kootaan suuremmaksi kokonaisuudeksi.

Kokemusta eri ohjausjärjestelmistä ja ohjattavista kuormista saadaan, kun kysyntäjoustopuolteen järjestelmät yleistyvät kiinteistöissä. Lisäksi käynnissä olevat pilottiprojektit lisäävät tietämystä sähköpuolteen kysyntäjoustopuolteen.

Tulevaisuudessa sähköpuolteen kysyntäjoustopalvelua voidaan tarjota muiden mittaus- ja energiatehokkuuspalveluiden yhteydessä. Kysyntäjoustopuolteen selvitys sopisikin erityisen hyvin Motiva-mallisen energiakatselmuksen yhteydessä tehtäväksi.

Lähteet

- 1 Taajuuden ylläpito sähköjärjestelmässä. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCtaajuuden_yllapito.aspx>. Luettu 18.5.2015.
- 2 Kysyntäjousto. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto>. Luettu 29.3.2015.
- 3 Sähkön kysyntäjousto suurten loppuasiakasryhmien kannalta. 2007. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <www.energia.fi/sites/default/files/kysyntajoustoraportti_et.pdf>. Luettu 9.4.2015.
- 4 Suomen sähkötehon riittävyys ja kapasiteettirakenteen kehitys vuoteen 2030. 2015. Verkkodokumentti. Pöyry Management Consulting Oy. <www.tem.fi/files/42026/Kapasiteetin_riittavyys_raportti_final.pdf>. Luettu 2.5.2015.
- 5 Sähkön suuret. 2015. Verkkodokumentti. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK. <www.stek.fi/Perustietoa_sahkosta/fi_FI/Sahkon_suuret>. Luettu 11.8.2015.
- 6 Partanen Jarmo. 2014. Verkkodokumentti. Lappeenranta University of Technology. Sähkönsiirtotekniikka, Tehon ja taajuuden säätö. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0600/luennot/tehon_ja_taajuuden_sato.pdf>. Luettu 7.11.2015.
- 7 Jäppinen, Jonne. 2014. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. Tilannekatsaus varavoimailaitoksiin, nopeaan häiriöreserviin sekä kysyntäjousto. <www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kayttotoimikunta/2014/21.5.2014/Tilannekatsaus_varavoimailaitoksiin_nopeaan_hairioreserviin_kysyntajousto.pdf>. Luettu 2.5.2015.
- 8 Pakastevaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Kysyntajousto/Pakastevarasto.pdf>. Luettu 2.5.2015.

- 9 Pienten varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien hyödyntäminen taajuusohjattuina häiriöreservinä sekä säätösähkömarkkinoilla. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <[www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Kysyntajousto/Pienet varavoimakoneet.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Kysyntajousto/Pienet_varavoimakoneet.pdf)>. Luettu 2.5.2015
- 10 Fingridin asiakaslehti 2/2015. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <view.24mags.com/publication/libris/cbb98549fba85f733561b55e18d6ba55#/page=1>. Luettu 14.8.2015.
- 11 Markkinapaikat. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/Markkinapaikat>. Luettu 29.3.2015.
- 12 Tarvittavat sopimukset. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/Tarvittavat_sopimukset>. Luettu 20.5.2015.
- 13 Reservilajit. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservilajit>. Luettu 22.5.2015.
- 14 Taajuuden vakautusreservit. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservilajit/Taajuuden_vakautusreservit>. Luettu 20.5.2015.
- 15 Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosisopimus. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <[www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2014/Taajuusohjattujen reservien vuosisopimus 2015_pohja.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2014/Taajuusohjattujen_reservien_vuosisopimus_2015_pohja.pdf)>. Luettu 20.5.2015.
- 16 Aktivoitunut taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N). 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/aktivreservi/Sivut/Aktivoitunut-taajuusohjattu>. Luettu 13.10.2015.
- 17 Taajuusohjattujen reservien ylläpidon sovellusohje 1.1.2015 alkaen. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <[www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2014/Liite2 - Taajuusohjattujen reservien ylläpidon sovellusohje 2015.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2014/Liite2-Taajuusohjattujen_reservien_yllapidon_sovellusohje_2015.pdf)>. Luettu 20.5.2015.

- 18 Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservien_hankinta/taajuusohjattu_kaytto_ja_hairioreservi>. Luettu 20.5.2015.
- 19 Vuosimarkkinahinnat. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/toteutuneettuntikaupat/vuosihinnat>. Luettu 26.4.2015.
- 20 Toteutuneet tuntikaupat, taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N). 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/toteutuneettuntikaupat/Sivut/Kayttoreservi.aspx>. Luettu 13.10.2015.
- 21 Toteutuneet tuntikaupat, taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D). 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/toteutuneettuntikaupat/Sivut/Hairioreservi.aspx>. Luettu 13.10.2015.
- 22 Taajuuden palautusreservit. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservilajit/Taajuuden_palautusreservit>. Luettu 20.5.2015.
- 23 Automaattinen taajuudenhallintareservi (FRR-A). 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservien_hankinta/automaattinen_tajuudenhallintareservi>. Luettu 20.5.2015.
- 24 Automaattisen taajuudenhallintareservin sovellusohje. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2015/Liite_1_Automaattisen_tajuudenhallintareservin_sovellusohje.pdf>. Luettu 20.5.2015.
- 25 Automaattinen taajuudenhallintareservi, FRR-A sopimus. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2015/FRR-A_sopimus_2015_pohja.pdf>. Luettu 22.5.2015.
- 26 Aktivoitunut automaattinen taajuudenhallintareservi (FRR-A). 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/aktivireservi/Sivut/Aktivoitu-automaattinen-tajuudenhallintareserv>. Luettu 12.8.2015.

- 27 Nopea häiriöreservi. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservien_hankinta/Nopea_hairioreservi>. Luettu 20.5.2015.
- 28 Säättö sähkömarkkinat. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/tasepalvelut/tasehallinta/saatosahkomarkkinat>. Luettu 2.5.2015.
- 29 Säättö sähkömarkkinasopimus. 2015. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2015/Saattosaahkomarkkinasopimus_2015_POHJA.pdf>. Luettu 2.5.2015.
- 30 Hyvä tietää sähkömarkkinoista. 2015. Verkkodokumentti. Energiateollisuus Ry ja Fingrid Oyj. <www.energia.fi/sites/default/files/sahkomarkkinoista_esite.pdf>. Luettu 17.5.2015.
- 31 Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkko-yhtiöille. 2015. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto. <vaasanseutu.fi/app/uploads/sites/7/2015/08/Kysynnän-jousto.pdf>. Luettu. 2.5.2015.
- 32 Paikallisten energiaressurssien hallinta hajautetuissa järjestelmissä. 2005. Verkkodokumentti. VTT. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2284.pdf>. Luettu 7.11.2015
- 33 Sähkön kysyntäjoustopotentiaalin kartoitus Suomessa. 2014. Verkkodokumentti. Pöyry Management Consulting Oy. <www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Kysyntajousto/Fingrid_Julkinen_raportti_kysyntajousto_16062014.pdf>. Luettu 2.4.2015.
- 34 SBC System catalogue. 2015. Verkkodokumentti. <www.sbc-support.com/uploads/tx_srcproducts/26-215_EN12a_SBC-Catalogue_mini.pdf>. Luettu 16.6.2015.
- 35 Fuss Philipp. 16.6.2015. Powerpoint-esitys. Energel Oy. Sähkön kysyntäjousto.
- 36 Raiko Markku, Mäki-Mantila Erkki. 2005. Verkkodokumentti. Lämpöpumput ja niiden vaikutus sähköntuotantoon. <[ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/12b74ae4d1122aac22565fa003211a6/af4def19d4779f1ac22570b60041fdb6/\\$FILE/84642005.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/12b74ae4d1122aac22565fa003211a6/af4def19d4779f1ac22570b60041fdb6/$FILE/84642005.pdf)>. Luettu 10.5.2015.

- 37 Pienvesivoimaaopas. 2014. Verkkodokumentti. Pienvesivoimalaitos Ry. <pienvesivoimayhdistys.com/wp-content/uploads/2014/05/Pienvesivoimaaopas.pdf>. Luettu 21.5.2015.