

# **Rakennusautomaation liittäminen kysynnän joustoon BACnet/WS- rajapinnalla**

Antti Rantalainen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

Tekijä(t) Rantalainen, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 39	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Rakennusautomaation liittäminen kysynnän joustoon BACnet/WS-rajapinnalla</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Teppo Flyktman, Sirpa Hukari		
Toimeksiantaja(t) Assemblin Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö oli projektiluontoinen hanke, joka toteutettiin osana Helsingin kaupungin MySmartLife-hanketta yhdessä Assemblin Oy:n rakennusautomaatiourakoinnin yksikön ja automaation huoltoyksikön kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa BACnet web service-rajapinnan lisäys sekä kysyntäjoustopalveluksen ohjelmointi ja käyttöönotto Viikin ympäristötalon nykyiseen TREND-rakennusautomaatiojärjestelmään. Kysyntäjoustopalveluksen painesäädön ohjelmat toteutettiin ympäristötalon neljään ilmanvaihtokoneeseen sekä kysyntäjoustopalveluksen lämmityskäyrän muutokset lämmönjakopaketin ilmanvaihto- ja patteriverkostoon.</p> <p>Viikin ympäristötaloon tein rakennusautomaatiojärjestelmän ohjelmien päivityksen kysyntäjoustopalvelustolle sopivaksi ja BACnet-rajapinnan ohjelmoinnin, kun taas BACnet-rajapinnan sekä ohjelmien käyttöönoton hoiti huoltoyksikkö.</p> <p>Opinnäytetyöni päätavoitteena oli saada aikaan toimiva kysyntäjoustopalvelus, jota hyödynnetään Viikin ympäristötalon etäkäytössä ja jota ulkoiset osapuolet, kuten esimerkiksi Teknologian Tutkimuskeskus VTT ja Helsingin Energia, voivat seurata, hallita sekä raportoida kiinteistön omistajalle ja käyttäjille. Tavoitteisiin päästiin, sillä kysyntäjoustopalveluksen ohjelmat ja BACnet-rajapinta saatiin otettua käyttöön.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksia hyödynnetään tulevaisuudessa energiatehokkaammassa rakentamisessa, rakennusautomaatiojärjestelmien suunnittelussa ja kiinteistöhuollossa. Kysyntäjoustopalveluksen hyödyistä saatuja tuloksia ei opinnäytetyössä käsitellä, koska järjestelmä ei ole ollut käytössä tarpeeksi kauan.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kysynnän jousto, sähkömarkkinat, rakennusautomaatio		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Rantalainen, Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019
	Number of pages 39	Language of publication: Finnish
	Permission for web publication: x	
Title of publication <b>Connecting building automation to demand response with BACnet/WS interface</b>		
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Teppo Flyktman, Sirpa Hukari		
Assigned by Assemblin Oy		
Abstract  <p>The thesis was a project, which was executed as part of the City of Helsinki's MySmartLife project together with Assemblin Oy's building automation contracting unit and automation service unit.</p> <p>The purpose of the thesis was to implement the addition of the BACnet web service interface and program and deploy the demand response application to the current building automation system of Viikki environmental house. In the environmental house, the demand response applications were executed to four air conditioning units and in the air conditioning- and radiator network of the heat distribution package.</p> <p>The upgrade of the Viikki's environmental house building automation system programs to suit the demand response and BACnet interface programming was assigned to the author, while the maintenance unit handled the upgrade of the BACnet interface and the programs.</p> <p>The main goal of the thesis was to create a functional demand response application for Viikki's environmental house that can monitor, manage remotely and report to the property owner and users in external parties such as VTT Technical Research Center of Finland and Helsinki Energetics Helen. The goals were achieved because the demand for response applications and the BACnet interface was upgraded.</p> <p>The results of the thesis will be utilized in more energy-efficient construction, building automation system design and property maintenance. The results of the demand response are not included in the thesis because the system has not been in use long enough.</p>		
Keywords/tags (subjects) Demand response, electricity market, building automation		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>Sanasto ja lyhenteet .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Sähkömarkkinat Suomessa .....</b>	<b>6</b>
2.1 Sähköpörssi.....	6
2.1.1 Elspot- ja Elbas-markkinat .....	7
2.1.2 Sähköenergian hinnan muodostuminen .....	8
2.2 Tehotasapainon hallinta.....	9
2.3 Säättö sähkömarkkinat .....	9
2.4 Reservit.....	11
2.4.1 Taajuusohjattu käyttöreservi FCR-N.....	12
2.4.2 Taajuusohjattu häiriöreservi FCR-D.....	12
2.4.3 Automaattinen taajuudenhallintareservi aFRR.....	13
2.4.4 Nopea häiriöreservi mFRR.....	13
<b>3 Kysyntäjousto.....</b>	<b>14</b>
3.1 Kysyntäjouaston periaate.....	14
3.2 Aggregaattorit .....	15
3.3 Kysynnän jouston markkinapaikat .....	16
3.4 Kysynnän jouston hyödyt eri toimijoille.....	18
3.5 Kaukolämmön kysyntäjousto .....	19
<b>4 Rakennus osana kysynnän jousto .....</b>	<b>20</b>
4.1 Rakennusautomaatio .....	21
4.2 Rakennuksen energiankulutus .....	22
<b>5 Projektin tausta.....</b>	<b>25</b>
5.1 MySmartLife-hanke .....	25
5.2 Viikin ympäristötalo.....	26
5.3 BACnet-protokolla .....	28
<b>6 Kysyntäjouston toteutus.....</b>	<b>29</b>
6.1 Lämmityksen kysynnän jousto .....	29

	2
6.2 Sähkön kysynnän jousto .....	30
6.3 Esimerkki kysyntäjoustop ohjelmoinnista .....	31
<b>7 Johtopäätökset.....</b>	<b>34</b>
<b>8 Pohdinta.....</b>	<b>35</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>37</b>

## **Kuviot**

Kuvio 1. Elspot-hinnan muodostuminen .....	7
Kuvio 2. Sähköenergian markkinahinnan muodostuminen .....	8
Kuvio 3. Säättötarjoukset säätösähkömarkkinoille.....	10
Kuvio 4. Pohjoismaissa käytössä olevat reservit .....	11
Kuvio 5. FCR:n aktivoituminen taajuuden funktiona.....	12
Kuvio 6. Kulutuksen siirto edullisemmille käyttötunneille .....	14
Kuvio 7. Kysynnän joustop tilanne Suomessa 2018 .....	16
Kuvio 8. Kysyntäjousto ja hajautetut energiaresurssit .....	18
Kuvio 9. Energiankulutus pääkaupunkiseudulla .....	22
Kuvio 10. Sähkön ja kaukolämmön jakautuminen sektoreittain.....	23
Kuvio 11. Viikin ympäristötalo .....	26
Kuvio 12. Rajapinnassa käytetty Cimetrics B6080 laite.....	29
Kuvio 13. Helenin API-rajapinnasta saatu 48 tunnin kysyntäjoustop tarve .....	30
Kuvio 14. Ohjelma painesäädölle .....	31
Kuvio 15. Kysynnän joustop painesäädön ohjelma .....	32
Kuvio 16. BACnet-rajapinnan ohjelmointityökalu .....	33
Kuvio 17. NCL-tiedoston lataaminen rajapintaan.....	34

**Taulukot**

Taulukko 1. Kaupankäynnin vaatimukset eri markkinapaikoilla .....	17
Taulukko 2. Sisäilmastoluokitus 2018:n mukaiset lämpötilan tavoitearvot.....	24
Taulukko 3. Sisäilmastoluokitus 2018:n sisäilman laadun tavoitearvot.....	24
Taulukko 4. Viikin ympäristötalon tekniset tiedot .....	27
Taulukko 5. Ilmanvaihtokoneiden taajuusmuuttajien nimellisarvot.....	30

## Sanasto ja lyhenteet

AMR	Automatic Meter Reading, automaattinen mittarinluenta
BMS	Building management system, kiinteistöautomaatiojärjestelmä
FCR	Frequency Containment Reserve, taajuuden vakautusreservi
FCR-D	Frequency Containment Reserve for Disturbance, taajuusohjattu häiriöreservi
FCR-N	Frequency Containment Reserve for Normal operation, taajuusohjattu käyttöreservi
HVAC	Heating, ventilation and air conditionin, Lämmitys, vesi ja ilmastointi
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
VTT	Teknologian tutkimuskeskus (ent. Valtion teknillinen tutkimuskeskus)

# 1 Johdanto

Muutokset energiajärjestelmien rakenteessa vaikuttavat kysynnän ja tuotannon tasapainoon Suomen ja Pohjoismaiden sähköverkossa. Energiajärjestelmän rakenteelliset muutokset johtuvat tiukentuvista ilmastotavoitteista, resurssitehokkuuden lisäämisestä, energiantuotannon monipuolistamisesta ja omavaraisuudesta. Yhtenä osana ilmastomuutoksen torjuntaa pyritään konventionaalisia energiantuotantomuotoja korvaamaan kasvattamalla päästöttömien, uusiutuvaan energiaan perustuvien sähköntuotantomenetelmien käytön osuutta. Uusiutuvalle energialle, kuten aurinko- sekä tuulivoimalle, on kuitenkin ominaista niiden sääriippuvuus sekä tuotantomäärien vaihtelevuus ajallisesti. Tämä tekee energiantuotannon vaikeasti ennustettavaksi, sillä sähkön tuotantoa ei tällöin voida ajoittaa tarpeen mukaan, vaan sähköä on saatavilla, kun sitä onnistutaan tuottamaan. Ajallisesti joustamaton tuotanto paitsi asettaa haasteita nykyiselle markkinamallille, jossa vain energialla käydään kauppaa, myös vaatii myös energiajärjestelmän mukautumista sekä tuotantorakenteen muutosta. Joustava ja älykäs energiajärjestelmä edellyttää säädettävän energiantuotannon lisäksi myös joustavuutta järjestelmän toisella puolella, kuluttajan puolella. Kuluttajan osallistumista sähköverkon joustavuuteen kutsutaan kysyntäjoustoksi. Tulevaisuudessa energiajärjestelmien tuleekin olla monipuolisempia ja kuluttajien huomiointi vaikuttamisessa on oltava laajempaa.

Opinnäytetyöni tavoitteena oli tehdä Viikin ympäristötaloon kiinteistöautomaation BACnet/WS-rajapinnan lisäys osana MySmartLife-hanketta. Viikin ympäristötalossa on tavoitteena kehittää käyttöajan toiminnan varmistuksen prosessia. Kohteessa toteutettiin kysyntäjoustop demoja, joita seurataan ja joita raportoidaan kiinteistön omistajalle ja käyttäjille. Lisäksi Viikin ympäristötaloon luodaan siirrettäviä ratkaisuja, joiden avulla käyttäjät ja kiinteistön omistaja voivat vaikuttaa energiatarpeeseensa, sekä tutkitaan, miten IoT-järjestelmästä voidaan siirtää mittaustietoa rakennusautomaatiojärjestelmään rajapintojen kautta. Kokemukset ja opit hyödynnetään tulevassa energiatehokkaassa rakentamisessa, automatisoinnissa ja kiinteistöhuollossa. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin pelkästään kysyntäjoustopon ja TREND-automaatiojärjestelmän liittämiseen kysyntäjoustopon BACnet/WS-rajapinnan kautta.



## 2 Sähkömarkkinat Suomessa

Tässä luvussa selvitän, kuinka kysynnän joustoon voi osallistua sähkömarkkinoilla useilla eri markkinapaikoilla. Kysyntäjoistomarkkinoille osallistuvien rakennusten järjestelmien on vastattava näiden markkinapaikkojen sääntöihin ja vaatimuksiin. Rakennusten kysynnän jouston menetelmiä ajatellen on hyvä selvittää sähkömarkkinoiden toiminnan perusteita ja sähköjärjestelmän tehotasapainon hallintaa.

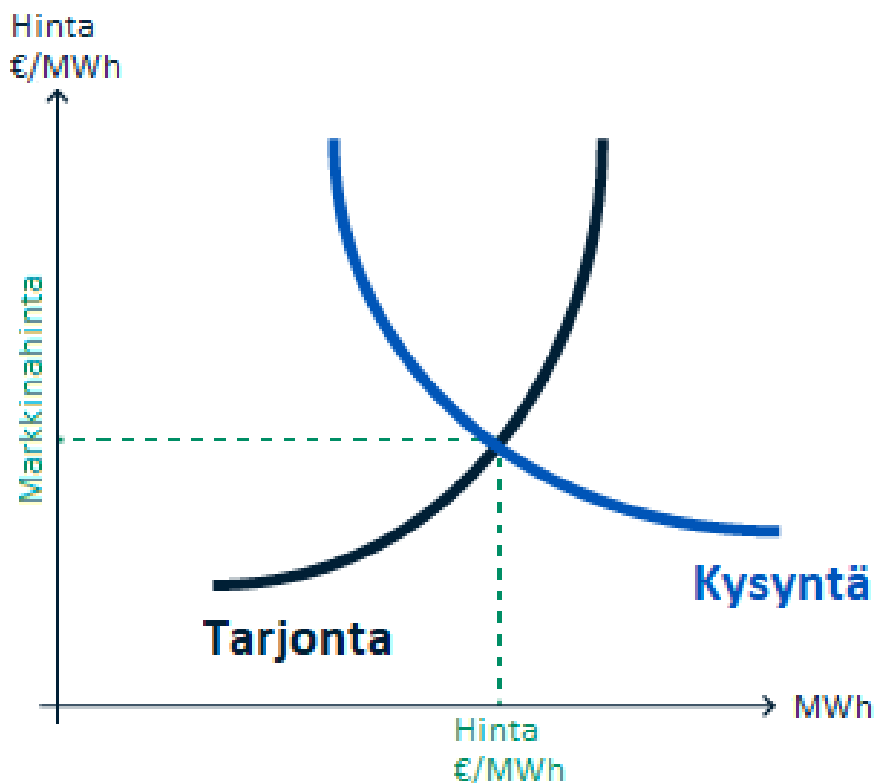
Suomen sähköverkko koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista ja on osa yhteisteistä pohjoismaista sähkövoimajärjestelmää. Suomessa ja Pohjoismaissa toimii sähköpörssi Nord Pool, jonka markkina-alueeseen kuuluu Suomen lisäksi Ruotsi, Tanska, Norja, Viro, Liettua ja Latvia. Pohjoismaista sähköä siirretään Nord Poolin maiden lisäksi Saksaan, Puolaan, Hollantiin ja Venäjälle. Suomessa tuotanto on vähäistä kulutukseen nähden, joten Suomi on hyvin riippuvainen tuontisähköstä ja sähköä joudutaan tuomaan naapurimaista kattamaan osan kulutuksesta. Suomeen tuodaan ja Suomesta siirretään sähköä Venäjälle, Viroon, Ruotsiin ja Norjaan. (Partanen 2014, 22.)

### 2.1 Sähköpörssi

Kysyntä ja tarjonta määrää sähköpörssin markkinahinnan. Sähköpörssissä myytävänä olevat tuotteet ovat standardeja ja pörssin viestintä on tasapuolista kaikille toimijoille, mikä tekee sähköpörssistä avoimen, keskitetyn ja neutraalin markkinapaikan. Markkinaosapuolten sähkön tilapäiskaupan tarpeen ja uskottavan referenssihinnan muodostumismekanismiin luomiseksi kehitettiin sähköpörssin fyysiset markkinat eli Spot-markkinat. Sähkön tuotannon ja hankinnan optimointi on keskeistä avoimilla markkinoilla kannattavan toiminnan kannalta. Sähkön kulutuksen arviointi on hankalaa, mutta siihen liittyvästä epävarmuudesta huolimatta on sähköä kyettävä ostamaan ja myymään kulloisenkin tarpeen mukaan. Onnistuakseen tämä vaatii sähköpörssin fyysiset markkinat, jotka jakautuvat Elspot- ja Elbas-markkinoihin (Partanen 2014, 23-24.)

### 2.1.1 Elspot- ja Elbas-markkinat

Elspot-markkinoilla myynti- ja osto tarjoukset tehdään suljettuna tarjousmenettelynä kerran päivässä 0,1 MWh:n ja sen kerrannaisten kiinteillä sähkötoimituksilla, jotka koskevat seuraavan päivän toimitustunteja 00-23. Tarjoukset on jätettävä viimeistään toimitusta edeltävänä päivänä viimeistään kello 12:00 CET. Tulevien tarjousten perusteella saadaan muodostettua sähkön systeemihinta, joka kuvaa kaikkein kalleimman tuotantotavan hinnan, millä voidaan tasapainottaa kysyntää. Tämä hinta on myös se, mikä energiasta ollaan valmiita maksamaan. Tuotantomuotoja pyritään aina käyttämään edullisimmasta alkaen, joten Elspot-osto- ja myyntitarjousmenettelyllä varmistetaan, että markkinat toimivat tehokkaasti. Kuviossa 1 on systeemihinta on kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspiste, joka saadaan yhdistämällä osto- ja myyntitarjoukset siten, että niistä muodostuu yksi tarjontakäyrä ja tarjontakäyrä kullekin vuorokauden käyttötunnille. (Day-ahead market 2018.)

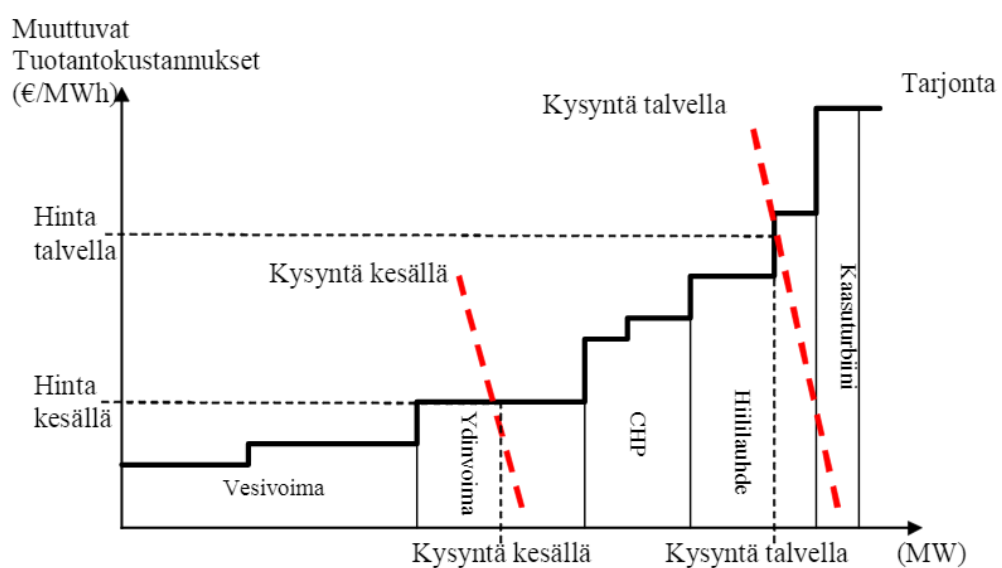


Kuvio 1. Elspot-hinnan muodostuminen (Day-ahead market 2018)

Elspot-kaupankäynnin jälkimarkkinana puolestaan toimii Elbas-markkinat. Kaupankäynti on jatkuva-aikaista. Elbas-markkinoilla sähkökauppaa käydään vuoden jokaisena päivänä 24 tuntia vuorokaudesta. Elbas-markkinoilla kaupankäynnin kohteena ovat 1 MWh:n kerrannaiset, jotka avataan päivittäin Elspot-tuloksen julkistamisen ja reklamaatioajan jälkeen, noin klo 14:00 Keski-Euroopan aikaa. (Intraday market 2018.)

### 2.1.2 Sähköenergian hinnan muodostuminen

Sähköenergian hinta määräytyy kunkin ajanhetken kysynnän ja tarjonnan mukaan. Sähköntuotannon muuttuvat tuotantokustannukset ja päästökauppa vaikuttavat muun muassa sähköenergian hintaan. Esimerkiksi tuotantolaitosten polttoainekustannukset ja erilaiset käytönaikaiset operatiiviset kustannukset ovat muuttuvia kustannuksia. Sähkön tukkumarkkinahinta muodostuu kysyntä- ja tarjouskäyrien kohtauspisteessä kalleimman tuotantomuodon mukaan. Sähkön hetkelliset marginaaliset kustannukset muodostavat muuttuvat kustannukset kyseisessä tuotantomuodossa. Kuviossa 2 esitetään kysyntä- ja tarjontakäyrät kesälle sekä talvelle alkaen aina alhaisimmasta kustannuksen tuotantomuodosta kalleimpaan kysynnän tuotantomuotoon. Näin saadaan mahdollisimman alhainen hinta joka hetkelle. (Partanen 2014, 7-8.)



Kuvio 2. Sähköenergian markkinahinnan muodostuminen (Partanen 2014, 8.)

## 2.2 Tehotasapainon hallinta

Tehotasapainon ylläpitämiseksi sähköntuotannon ja -kulutuksen on oltava joka hetki yhtä suuret. Sähkön tuotanto ja kulutus on tasapainotilassa, kun sähköverkon taajuus on 50,0 Hz. Tämän tasapainon säilyminen hoidetaan reservi- ja säätösähkömarkkinoiden avulla. Tuotantoa säätämällä ja joustamalla kulutuksessa voidaan pitää tasapainoa sallittujen vaihtelurajojen sisäpuolella. Suomessa ja pohjoismaisessa sähköverkossa sallittu normaalitilanteen taajuuden vaihtelu on 49,9 ja 50,1 hertsin (Hz) välillä, minkä ylittyessä tai alittuessa voidaan havaita tasapainon poikkeaminen. (Manninen 2017, 22-23.)

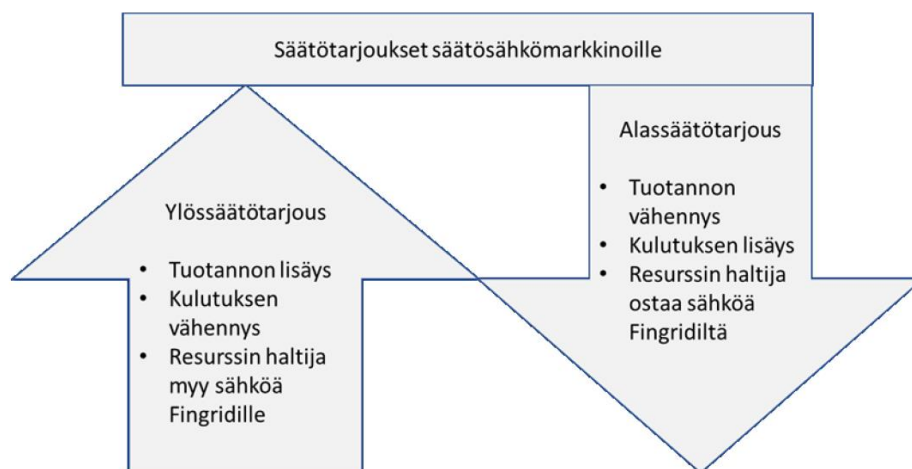
Jos kulutus on tuotantoa, alkaa taajuus verkossa laskemaan. Vastaavasti tuotannon ollessa kulutusta suurempi, alkaa taajuus nousta. Perinteisessä sähköjärjestelmässä tehotasapainon hallinta on toteutettu tuotantoa säätämällä esimerkiksi vesivoimalla ja laudelaitoksilla, joissa tuotanto on seurannut kulutusta. Tuuli- ja aurinkosähköllä tuotetun energian sekä tasaisen ydinvoiman lisääntyessä tehokapasiteetin hallintaan osallistuvaa säätökapasiteettia tarvitaan entistä enemmän. Tämän takia olisikin järkevää, että osa sähkön kulutuksesta seuraa tuotantoa ja järjestelmään tulisi entistä enemmän sisällyttää kysyntäjoustoa sekä erilaisia energiavarastoja. (Järventausta 2015, 16.)

## 2.3 Säätösähkömarkkinat

Järjestelmävastaavien tehtävänä on tarjota sähkönsiirtoverkko sähkömarkkinoiden tarpeisiin, mutta niillä on myös erittäin tärkeä tehtävä pitääkseen joka hetki sähkön tuotanto ja kulutus tasapainossa. Spot-markkinoiden erityinen tehtävä on pitää tuotanto ja kulutus tasapainossa, koska osapuolet voivat tasoittaa energiantaseensa sen avulla etukäteen. Säätösähkömarkkinat ovat fyysisen kaupankäynnin viimeinen vaihe, jossa järjestelmävastaava tasapainottaa käyttötunnin aikaisen tuotannon ja kulutuksen säätösähköllä. Pohjoismaisille säätösähkömarkkinoille osallistutaan samalla tapaa kuin Spot-markkinoille, tarjouksensa jättämällä. (Partanen 2014, 23.)

Suomessa käydään säätösähkökauppaa Fingridin ylläpitämillä säätösähkömarkkinoilla pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden kanssa. Nämä kantaverkkoyhtiöt antavat tarvittaessa tarjouksia säätösähkömarkkinoilta. Säätösähkömarkkinoille osallistuvat tuotannon ja kuorman haltijat voivat antaa tarjouksia säätökykyisestä kapasiteetistaan, mutta tämä edellyttää sopimuksen tekemistä Fingridin kanssa. (Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat 2018.)

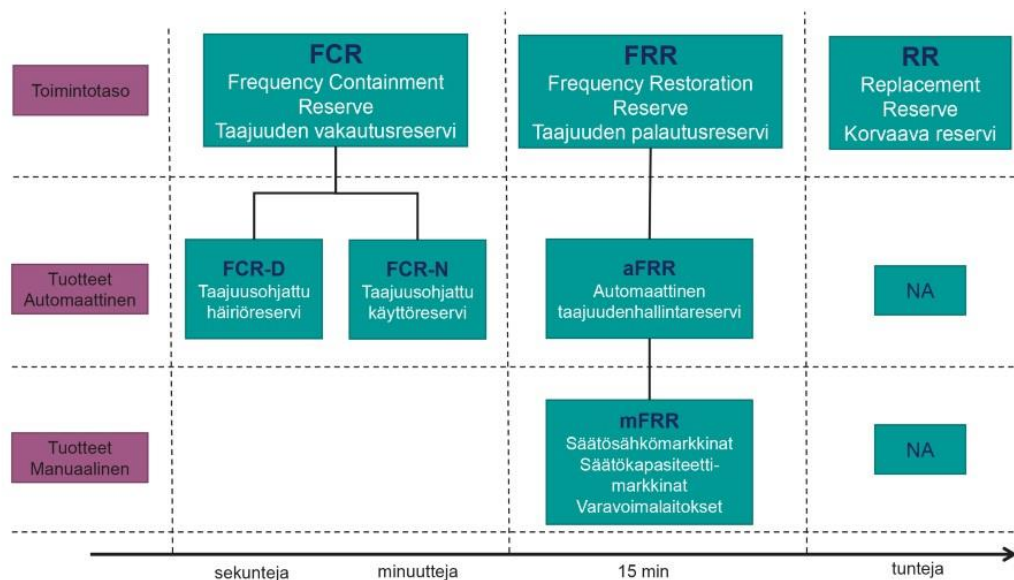
Säätösähkömarkkinoilla tehtävät kaupat perustuvat fyysiseen säätöön ja tarjouksia tehdään niistä resursseista, jotka pystyvät toteuttamaan 10 MW:n tehon muutoksen 15 minuutin kuluessa tilauksesta. Mikäli tarjous voidaan tilata elektronisella aktivoinnilla, vähimmäiskapasiteetti on 5 MW. Vähimmäiskesto säädölle on 1 minuutti, ja tarjottu teho säädölle on kyettävä toteuttamaan koko käyttötunnin ajan. Säätösähkömarkkinoille tarjottavien resurssien on oltava sellaisia, että aktivoinnin toteutumisesta Fingrid saa reaaliaikaisen tiedon esimerkiksi päätötehon mittauksesta. Tarjoukset on jätettävä viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia ja niiden tulee noudattaa säätösähkötarjous-ohjetta, josta ilmenee teho (MW), hinta (€/MWh), tuotanto/kulutus, tarjotun resurssin siirtoalue ja nimi. Säätötarjouksessa on oltava myös tieto reservistä, josta ilmenee, onko tarjous tehoreservi-, säätö- vai säätökapasiteettitarjous. (Aunio 2018, 11.) Kuviossa 3 on esimerkki tarjoukset säätösähkömarkkinoille.



Kuvio 3. Säätötarjoukset säätösähkömarkkinoille (Aunio 2018)

## 2.4 Reservit

Sähköverkon tasapainon kertoo sen taajuus, mikä on tasapainotilassa 50,0 Hz. Pohjoismaiset sähkömarkkinoiden osapuolet suunnittelevat kulutuksen ja tuotannon tasapainon etukäteen, mutta toteutuneessa kulutuksessa ja tuotannossa on aina eroavaisuuksia. Pitääkseen tehotasapaino hallinnassa, tarvitaan reservejä, joita Fingrid hankkii ylläpitämiltään sähkömarkkinoilta. Voimalaitokset ja kulutuskohteet ovat reservejä, jotka laskevat tai nostavat tehoaan tarpeen mukaan. (Reservit ja säätösähkö 2018) Kuviossa 4 on esitelty reservilajit, jotka jaetaan toimintotason mukaan taajuuden vakautusreserviin, taajuuden palautusreserviin ja korvaavaan reserviin.



Kuvio 4. Pohjoismaissa käytössä olevat reservit (Reservituotteet 2018)

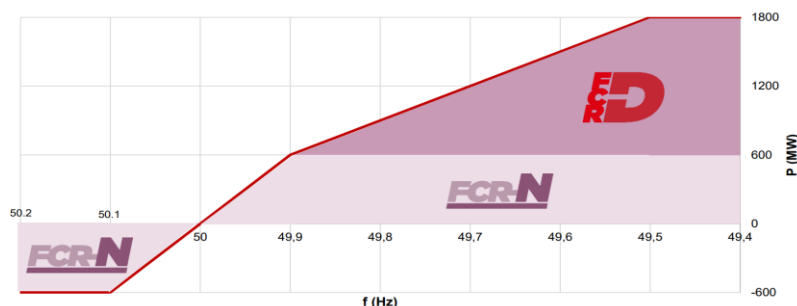
Jatkuvan taajuuden hallintaan käytetään taajuuden vakautusreservejä. Taajuusohjattua häiriöreserviä FCR-D ja -käyttöreserviä FCR-N. Taajuuden palautusreserveillä palautetaan taajuus normaalialueelle ja vapautetaan taajuuden vakautusreservit takaisin käyttöön. Pohjoismaissa ei käytetä korvaavia reservejä. (Reservit 2018.)

### 2.4.1 Taajuusohjattu käyttöreservi FCR-N

Taajuusohjattua käyttöreserviä FCR-N on ylläpidettävä normaalitilan taajuudensäätöä varten yhteensä 600 MW joka hetki. Pohjoismaisen kantaverkkoyhtiöiden kesken jaetaan vuosittain niiden yhteisesti ylläpitämä reservi suhteessa käyttämäänsä vuosienergian kulutukseen. Suomen velvoite on noin 140 MW. (Fingrid, Reservit ja säätösähkö 2017.) Taajuusohjatussa käyttöreservissä säädetään ylläpidossa käytettävää reservikohdetta lähes lineaarisesti taajuusalueella 49,90 – 50,10 Hz kuvion 5 mukaisesti niin, että säädön kuollut alue on korkeintaan  $50 \pm 0,05$  Hz. Taajuuden 10 Hz:n muutoksesta taajuudensäädön tulee olla aktivoitunut täysimääräisesti kolmessa minuutissa. (Taajuusohjatut reservit 2018, 4.)

### 2.4.2 Taajuusohjattu häiriöreservi FCR-D

Taajuusohjattua häiriöreserviä FCR-D ylläpidetään sen verran, että suuren tuotantoyksikön irtoaminen ei aiheuta sähköverkossa yli 0,5 Hz:n pysyvää taajuuspoikkeamaa. Taajuusohjattua häiriöreserviä on käytössä normaalissa käyttötilanteessa yhteensä noin 1200 MW, joka jaetaan viikoittain osajärjestelmien kesken mitoitettavien vikojen suhteessa. Suomen velvoite tästä on noin 260 MW. (Fingrid, Reservit ja säätösähkö 2018.) Taajuusohjatussa häiriöreservissä säädetään ylläpidossa käytettävää reservikohdetta lähes lineaarisesti siten, että aktivoituminen alkaa, kun taajuus laskee alle 49,90 Hz:n kuvion 5 mukaisesti ja on kokonaan aktivoitunut taajuudella 49,50 Hz. Häiriöreservistä tulee aktivoitua viidessä sekunnissa puolet ja sen tulee olla kokonaan aktivoitunut 30 sekunnissa 50 Hz askelmaisella taajuudenmuutoksella. (Taajuusohjatut reservit 2018, 5.)



Kuvio 5. FCR:n aktivoituminen taajuuden funktiona (Reservituotteet 2018)

### 2.4.3 Automaattinen taajuudenhallintareservi aFRR

Automaattista taajuudenhallintareserviä ylläpidetään Pohjoismaissa 300 MW:n aamu-, ilta- ja vuorokauden vaihettuneilla. Reservi on jaettu maiden käyttämien vuosienergioiden suhteessa. Se on keskitetty taajuusohjattu reservi, joka aktivoituu automaattisesti pohjoismaisen synkronialueen taajuuspoikkeamasta. Siitä lasketaan tarvittava tehonmuutos taajuuden palauttamiseksi 50 Hz:n nimellisarvoonsa sekä jo aktivoituneiden taajuusohjattujen reservien vapauttamiseksi. (Automaattisen taajuudenhallintareservin sovellusohje 2018, 1.)

Fingrid hankkii tietyiltä aamu- ja iltatunneilta automaattista taajuudenhallintareserviä. Vähimmäiskoko säädölle on 5 MW kahden minuutin aktivointiajalla, josta osapuolet jättävät tarjouksia säätökapasiteetistaan. Toteutuneiden säätöjen perusteella maksetaan toimijalle korvausta. (Automaattinen taajuudenhallintareservi 2018.)

### 2.4.4 Nopea häiriöreservi mFRR

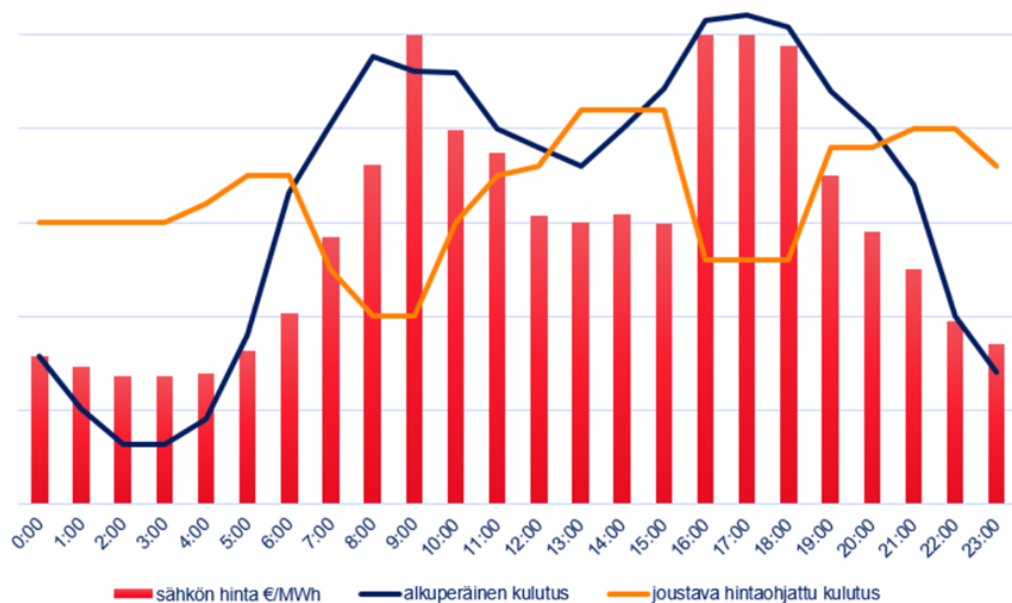
Pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt ovat sopineet, että nopeaa häiriöreserviä tulee kullakin maalla olla käytettävissä aina oman alueensa mitoittavan vian verran. Suomessa nopean häiriöreservin tarve vaihtelee tyypillisesti 880 – 1100 MW:iin ja se riippuu siitä, mikä on mitoittava vika kussakin tilanteessa. Fingridillä on käytössään sekä omia varavoimalaitoksia että pitkäaikaisia, vähintään kymmenen vuoden käyttöoikeussopimuksia varavoimalaitosten kanssa kattaakseen veloitteensa nopeasta häiriöreservistä. Varavoimalaitokset, jotka osallistuvat nopeaan häiriöreserviin, eivät ole käytettävissä sähkömarkkinoilla. Nopean häiriöreservin aktivoitumisaika on 15 minuuttia ja sen vähimmäissäätö on 10 MW. (Reservituotteet 2017, 11.)



### 3 Kysyntäjousto

#### 3.1 Kysyntäjouaston periaate

Kysynnän joustolla voidaan tarkoittaa sitä, että sähkön käyttöä rajoitetaan tai siirretään korkeamman kulutuksen ja sähkön hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan kuvion 6 mukaisesti. Tätä kutsutaan implisiittiseksi kysyntäjoustoksi eli hintaohjaukseen perustuvaksi kysyntäjoustoksi. Kysynnän joustoa voidaan hyödyntää myös muuttamalla sähkön hetkellistä kulutusta sähköverkon tehotasapainon hallinnan tarpeisiin. Joustamattoman tuotannon lisääntyessä kysynnän joustoa tarvitaan lisää. Se on vain yksi toimenpide, jolla voidaan säilyttää nykyinen markkinamalli, jossa vain energialla käydään kauppaa. (Kysyntäjousto 2018.)



Kuvio 6. Kulutuksen siirto edullisemmille käyttötunneille (TEM 2017)

Ulkoiseen pyyntöön ja erilliseen korvaukseen perustuvaa kysynnän joustoa kutsutaan eksplisiittiseksi kysynnän joustoksi. Eksplisiittisessä kysyntäjoustomenetelmässä kor-

vaus saadaan joko aktivoitua joustosta tai joustavasta kapasiteetista, mitä tarjotaan sähkömarkkinoille esimerkiksi aggregaattorien toimesta. Reservimarkkinat perustuvat tähän kysynnän joustoon, ja itsenäinen aggregaattori voi tällä hetkellä osallistua reservimarkkinoilla taajuusohjattuun häiriöreserviin (FCR-D). Pienentämällä verkon kuormitusta, kantaverkkoyhtiöt turvaavat sähkön jakelun huippukuormitustilanteissa. Ohjaamalla kuormaansa alas hetkellisesti rakennus voi osallistua häiriöreserviin. Vastaavasti lisäämällä sähkönkulutustaan, kuormanohjaukseen osallistuva rakennus voi tasapainottaa sähköverkkoa taajuuden ollessa liian korkea. (Aunio 2018, 28.)

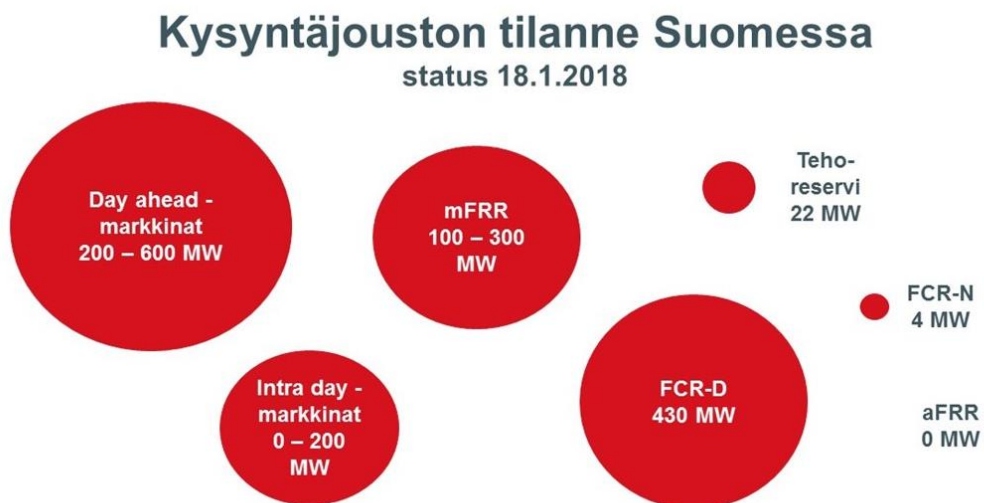
### 3.2 Aggregaattorit

Erilaisten älykkäiden energiaratkaisujen ja digitalisaation lisääntyessä tulee sähkömarkkinoille uusia rooleja perinteisen sähkön myynnin lisäksi. Asiakkaalla on mahdollisuus osallistua sähkömarkkinoille muutenkin kuin ostamalla sähköä. Muuttamalla kulutustaan sähkön hinnan mukaisesti tai myymällä omaa pientuotantoa tai sähkönkulutuksen joustoa voi asiakas säästää sähkölaskussaan. Yksittäisten asiakkaiden ei ole välttämättä mahdollista osallistua markkinoille, koska niiden kysyntäjoustoressit saattavat olla kooltaan liian pieniä, jotta niitä pystyttäisiin hyödyntämään tehokkaasti eri sähkömarkkinapaikoilla. (TEM 2017, 23-24.)

Nykyään sähkömarkkinoilla uusina palveluntarjoajina toimivat aggregaattorit, jotka mahdollistavat pienten sähköntuottajien osallistumisen sähkömarkkinoille. Aggregaattori on palveluntarjoaja, joka operoi suoraan tai epäsuorasti kysyntäjoustopuolella muodostamalla useasta sähkön pientuottajasta tai -kuluttajasta suuremman yksikön, joka koostuu monista pienemmistä kuluttajien kuormista, ja myy sitä yhtenä resursina sähkömarkkinoille. Yhdistettävillä kuormilla on eri ominaisuuksia ja aggregaattorit lisäävät luotettavuutta kokonaisuudelle ja vähentää riskiä yksittäisille osallistujille. Aggregaattorit neuvottelevat sopimuksia teollisen, kaupallisen ja kotitalouksien sähkönkuluttajien kanssa yhdistääkseen kykynsä vähentää tai lisätä energiaa tai siirtää kuormia lyhyellä varoitusaajalla. (Explicit Demand Response in Europe 2017, 8.)

### 3.3 Kysynnän jouston markkinapaikat

Kysynnän jousto tuo mahdollisuuden muodostaa moniulotteisen kokonaisuuden sähkömarkkinoille, jota tarvitaan lisää, kun joustamattoman tuotannon määrä verkossa kasvaa. Suomessa suurteollisuuden, kuten metsä-, metalli- ja kemiateollisuuden, kuormat ovat toimineet tehotasapainon ylläpidossa käytettävänä reserveinä jo pitkään, joten kysynnän jousto on luonteva mahdollisuus lisätä tarjontaa niin säätösähkö- kuin reservimarkkinoillakin. Suomessa olemassa olevan kysyntäjouston tilanne vuoden 2018 alussa on nähtävissä kuviosta 7. Teollisuudesta poikkeavalla pienkuluttajan omalla pientuotannolla, kuten varavoimakoneilla, voidaan pienentää rakennusten ja liiketilojen sähkön ottoa verkosta, mikä voidaan rinnastaa kysynnän joustoon, mikäli se reagoi markkinatilanteeseen. (Kysyntäjousto 2018.)



Kuvio 7. Kysynnän jouston tilanne Suomessa 2018 (Kysyntäjousto 2018)

Kysyntäjoustolla voi osallistua tällä hetkellä kahdeksalle eri markkinapaikalle, kaikille samoille, joille tuotantoresurssitkin osallistuvat. Osallistumalla esimerkiksi reserveihin, voi se tarkoittaa vain muutamien sekuntien mittaista tehon hetkellistä vähentämistä tai esimerkiksi muutaman tunnin katkoa kerran vuosikymmenessä. On myös mahdollista, että ei tule verkon katkoa lainkaan, mikäli vain tehoa pystytään säätä-

mään joustavasti. Eri markkinapaikkojen aktivointien määrät, korvaustasot sekä tekniset vaatimukset vaihtelevat. Taulukossa 1 on kuvattu viitteelliset korvaustasot ja teknisten vaatimusten pääkohdat.

Taulukko 1. Kaupankäynnin vaatimukset eri markkinapaikoilla (Markkinapaikat 2018)

Tuote	Sopimustyyppi	Minimitarjouskoko	Aktivoituminen	Aktivoituu	Korvaustaso 2018 *)
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	Lineaarisesti välillä 50,1 - 49,9 Hz, 0,1 Hz muutos 100 % 3 min	Useita kertoja tunnissa	14 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	Voimalaitokset: lineaarisesti välillä 49,9 - 49,5 Hz kun f alle 49,5 Hz 50% 5s ja 100% 30s Relekytketyt kuormat: vaihtoehtoisesti 49,7 Hz 5s TAI 49,6 Hz 3s TAI 49,5 Hz 1s	Useita kertoja vuorokaudessa Muutaman kerran vuodessa	4,5 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	FG:n lähettämän tehopyyntisignaalin mukaisesti, 100% 2 min	Useita kertoja vuorokaudessa	Kapasiteettikorvaus pay as as bid periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Säätösähkömarkkinat (mFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	100% 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Markkinahinta
Säätökapasiteetti-markkinat (mFRR)	Viikkomarkkinat	5 MW	100 % 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Kapasiteettikorvaus pay as a bid periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Vuorokausimarkkina (Elsport **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	12 h	-	Markkinahinta
Päivän sisäinen markkina (Elbas **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	1 h	-	Markkinahinta
Tehoreservi (***)	Pitkäaikainen	10 MW	15 min kuormille, 12 h voimalaitoksille	Harvoin	EV:n hankintakilpailun mukaisesti

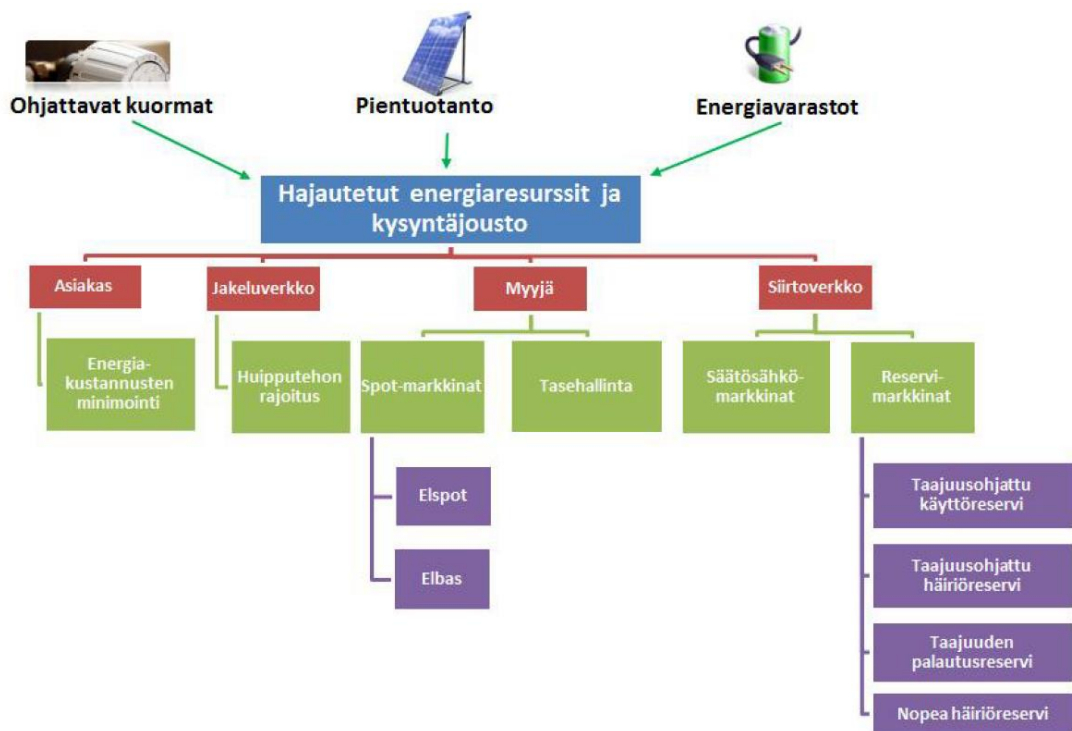
\*) Korvaustason hinnat ovat viitteellisiä, tarkemmat ehdot ja hinnoitteluperiaatteet löytyvät kuhunkin markkinapaikkaan liittyvistä sopimuksista.

\*\*) Nord Pool

\*\*) Energiavirasto

### 3.4 Kysynnän jouston hyödyt eri toimijoille

Kysynnän joustoon sisältyy laaja joukko erilaisia toimintoja, joiden merkitys, tarve ja ansaintalogiikka vaihtuvat eri toimijoiden näkökulmasta. Kysynnän joustossa toimijanosapuolina toimivat asiakas, jakeluverkkoyhtiö, sähkön myyjä, aggregaattorit ja kantaverkkoyhtiö. Nämä ovat yhteydessä toisiinsa ja toimivat sähkömarkkinoilla markkinapaikasta ja kysynnän jouston toteutustavasta riippuen. Kuviossa 8 on havainnollistettu kysyntäjouston hyödyntämistä eri osapuolten kannalta.



Kuvio 8. Kysyntäjousto ja hajautetut energiareсурssit (Järventausta 2015)

Kantaverkkoyhtiöt hyötyvät kysynnän joustosta mahdollisuutena hallita tehotasapainoa ja taajuutta käyttö- ja häiriötilanteissa. Kantaverkkoyhtiöt saavat kysynnän joustosta mahdollisesti myös joustavuutta tehopula-tilanteiden hallintaan. Esimerkiksi

yöllä pienimmillään oleva reserviteho voisi saada täydennystä päällä olevista kuormista, kuten varaavista sähkölämmityksistä. Sähkön vähittäismyyjät hyötyvät kysynnän joustosta sähkön hankinnan suunnittelussa, taseensa hallinnassa muiden toimienpiteiden rinnalla, säätösähkömarkkinoiden tarjouksissa sekä oman liiketoiminnan ja uusien tuotteiden kehittämisessä. Jakeluverkkoyhtiöt hyötyvät kysyntäjoustopitkän aikavälin verkon suunnittelussa mitoitus- ja näkökulmasta sekä esim. huipputehon hallinta poikkeustilanteiden aikana reaaliaikaisessa käyttötoiminnassa. (Järventausta 2015, 24.)

Loppukäyttäjänä toimivat asiakkaat eli esimerkiksi liikekiinteistön omistaja, taloyhtiö tai asuinkerrostalon asukas on kysynnän joustossa sähkön vähittäismyyjän ja jakeluverkkoyhtiön asiakas. Kysynnän jousto tarjoaa loppukäyttäjälle mahdollisuuden vähentää ostosähköä, käyttää sähköä edullisen hinnan aikana, oman pientuotannon täysimääräisen hyödyntämisen, huipputehojen pienentämisen ja mahdollisesti liittymäkoon rajoittamisen. (Järventausta 2015, 25.)

Laajamittaisella kysynnän jouston hyödyntämisellä on myös alentava vaikutus muiden sähkökäyttäjien sähkön hintaan, koska kysynnän jouston ansiosta huippukuormitus pienenee. Kysynnän jouston ansiosta yritykset voivat parantaa kilpailukykyään pienentyneillä sähköenergiakustannuksillaan. (Linna 2012.)

### 3.5 Kaukolämmön kysyntäjousto

Kaukolämmön kysyntäjoustoperusteella on sama periaate kuin sähkön kysynnän joustossa. Sen tarkoituksena on heikentämättä asiakkaiden palvelun laatua muuttaa kaukolämmön kulutusta ja sitä kautta lämpötehon tarpeen ajoitusta tavanomaiseen lämmitystarpeeseen verrattuna. Kaukolämpöasiakkaiden ajallista käyttäytymistä pyritään muuttamaan kysyntäjoustoperusteella siten, että koko energijärjestelmän tasolla saavutettaisiin säästöjä ja muita hyötyjä. Kaukolämmön kulutus on pitkällä aikavälillä ulkolämpötilan ja vuodenaikojen mukaan vaihteleva. Lyhyemmällä aikavälillä kulutus vaihtelee viikko- ja päivärytmin mukaan. Huippukuormitukset tapahtuvat yleensä aa-

muin ja illoin, kun lämpimän käyttöveden tarve lisääntyy. Nämä heikentävät kaukolämpöjärjestelmän tehokkuutta ja aiheuttavat sille lisäkustannuksia. (Kaukolämmön kysyntäjousto 2015, 5)

Kaukolämmön kysyntäjoustopissa ei välttämättä säästy lämpöenergiaa, vaan tavoitteena on ajallisesti siirtää lämmönkulutusta koko kaukolämpöjärjestelmän kannalta optimaalisemmaksi. Esimerkiksi toimistorakennusten rakennusautomaatio avulla voidaan ohjata kaukolämpöasiakkaita käyttämään lämpöenergiaa yöaikaan, jolloin lämpöä saadaan varastoitua rakennukseen vähentämään lämpöenergian tarvetta aamuhuipun aikana. Kun kaukolämpötehon kysyntää saadaan hetkellisesti ohjailtua tarpeeksi suurten rakennus- ja asiakasmassojen osalta, mahdollistetaan lämmön tuottamiseen käytetyn energiantuotannon optimointi. (Kaukolämmön kysyntäjousto 2015, 5)

Kaukolämmön kysyntäjoustopon tavoitteena on sähkön kysyntäjoustopon tavoin loiventaa kulutushuippuja. Eli huippulämmön toimittamista pyritään vähentämään tai siirtämään peruslämmön toimittamiseksi. Tällä tavalla vähennetään ympäristöhaittoja ja parannetaan energiantuotannon taloudellisuutta. Kaukolämpöjärjestelmä toimii kuitenkin oleellisesti pidemmällä aikavakiolla kuin sähköjärjestelmä, sillä sääolosuhteista riippuen sisälämpötilan lämmityksen lisääminen ja vähentäminen näkyvät selvällä viiveellä. Tämä on haastavaa kaukolämmön kysyntäjoustopon hallinnalle. (Kaukolämmön kysyntäjousto 2015, 5)

## **4 Rakennus osana kysynnän joustopa**

Rakennus voidaan linkittää osaksi kysynnän joustopa älykkään sähköverkon (Smart Grid) ja kiinteistöautomaatiojärjestelmän luoman rajapinnan kautta. Kiinteistön oma älykäs mikroverkko edistää yhdistymistä, millä voidaan hyödyntää täysimääräisesti eri kiinteistöjen kuormia ja kiinteistökohtaista pientuotantoa sekä energiavarastoja kuormanhallinnan tarpeisiin. Kiinteistöjen kysynnän joustopa osallistuvilla automaa-

tiojärjestelmillä on vaatimuksena ajan ja tehon mittauslukemat, kuorman todennettavuus sekä otettava myös huomioon kommunikointi tarjoavien markkinaosapuolien kanssa. Nämä automaatiojärjestelmien vaatimukset seuraavat tehotasapainonhallintaan liittyviä reservimarkkinoiden vaatimuksia. (Manninen 2017, 35-36.)

#### 4.1 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiojärjestelmillä vaikutetaan kiinteistön tehokkaaseen energian käyttöön sekä kiinteistössä oleskelun viihtyvyyteen. Kiinteistöön hyvin suunnitellulla ohjelmistolla sekä oikeaoppisella instrumentoinnilla voidaan rakennusautomaatiojärjestelmillä toteuttaa huonekohtaisia ohjauksia sekä saada energiatehokkuudesta kaikki hyöty. Kiinteistön automaatiojärjestelmällä on kolme eri pääosaa, jotka ovat hallintataso, automaatiotaso sekä kenttätaso. Hallintatasoon kuuluu valvomo, jolla ohjataan järjestelmää käyttöliittymän avulla. Automaatiotaso sisältää alakeskukset I/O-moduuleineen ja kenttätasoon kuuluu anturit ja toimilaitteet, jotka välittävät tietoa kiinteistön tilasta. (Härkönen 2012, 49, 93-95.)

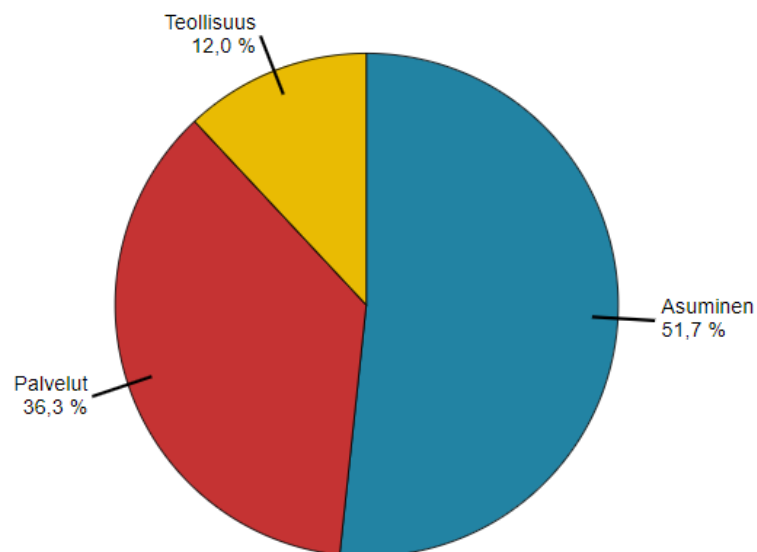
Kiinteistöautomaatiojärjestelmien avulla voidaan ohjata lämmitystä, jäähdytystä, ilmanvaihtoa, valaistusta ja muita sähkökuormia, jolla onkin varsin keskeinen rooli kiinteistön kysynnän jouston kannalta. Automaatiojärjestelmät ovat väyläpohjaisia, joten niitä ohjataan käyttöliittymän avulla. Automaatiojärjestelmän väylään liitetään muun muassa AMR-mittareita, josta tieto välitetään järjestelmään. Tieto voidaan välittää myös erillisen palvelun tai rajapinnan kautta. Automaatiojärjestelmän laitteiden yhtenäinen toiminta on toiminnan kannalta keskeisintä, minkä takia automaatiojärjestelmän tulee myös mahdollistaa kaksisuuntainen tiedonsiirto. (Järventausta 2015, 149.)



## 4.2 Rakennuksen energiankulutus

Rakennukset aiheuttavat noin 40 % energiankulutuksesta ja 36 % CO<sub>2</sub>-päästöistä EU:ssa. Tällä hetkellä noin 35 % EU:n rakennuksista on yli 50-vuotiaita ja lähes 75 % rakennuskannasta on energiatehotonta, sillä vain 0,4 - 1,2 % (maasta riippuen) rakennuskannasta kunnostetaan vuosittain. Nykyisten rakennusten entistä laajempi kunnostaminen voi johtaa merkittäviin energiansäästöihin ja mahdollisesti vähentää EU:n kokonaisenergiankulutusta 5-6 % ja vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 5 %. (Energy – Buildings 2018) Pääkaupunkiseudulla energiankulutus jakautuu kuvion 9 mukaisesti.

### Energiankulutus pääkaupunkiseudulla vuonna 2017



$\Sigma=25125.78042$  GWh

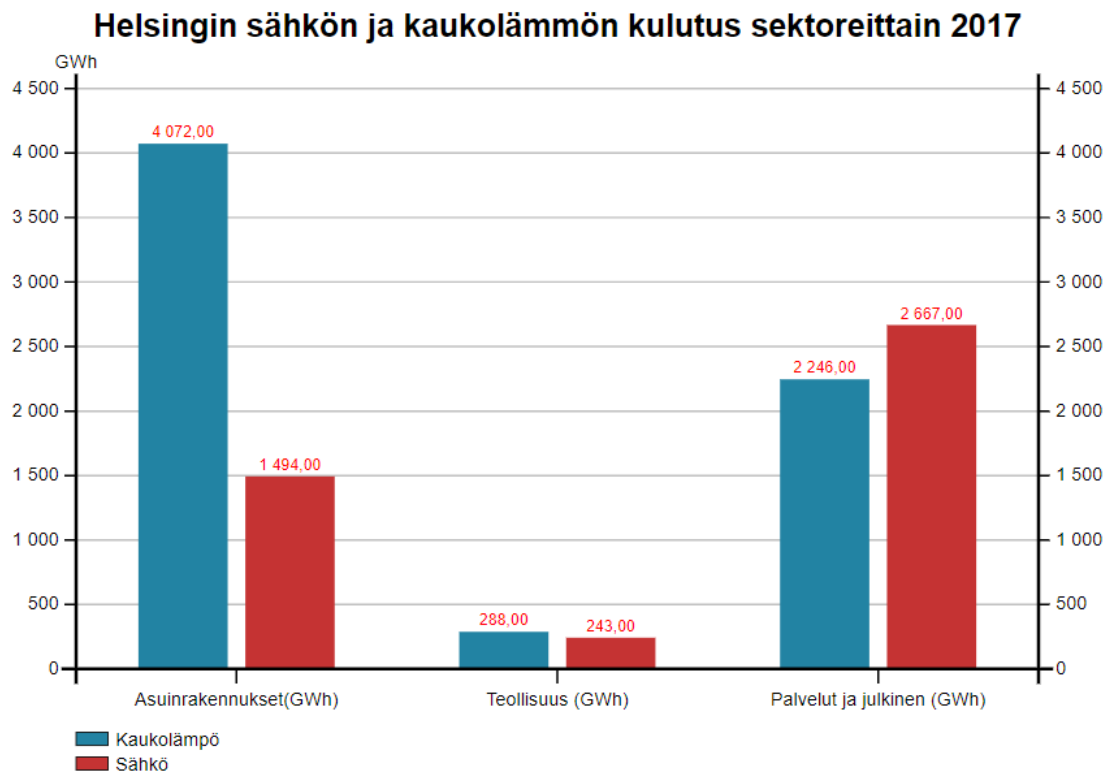
Kuvio 9. Energiankulutus pääkaupunkiseudulla (Tilastot – Energia 2017)

Rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät ovat mm. rakennuksen sijainti, rakennuksen fysiikka ja käyttötarkoitus. Ympäristön lämpötilan vaihtelun, sääolosuh-

teet ja säteilyenergia määrittävät rakennuksen sijainnin. Sijainti- ja sääolosuhteet vaikuttavat lämmitysenergian ja -tehon tarpeeseen sekä omaan energiantuotantoon.

Rakennuksen materiaalien rakenne on tärkeä lämmön siirtämiseksi rakenteiden läpi ja lämmön varastointiin. Asuin-, toimisto-, kaupallisilla tai julkisilla rakennuksilla sekä teollisuus- ja varistorakennuksilla on omat sisätilavaatimukset. (Manninen 2017, 44.)

Kiinteistötasolla asuinrakennusten energiankulutus keskittyy voimakkaasti lämmityksen energian kysyntään. Uudemmissa asuinrakennuksissa kuuman veden osuus kuluksista on merkittävä. Kaupallisissa rakennuksissa sähkölaitteiden käyttö ja niiden tuottama lämpökuorma vähentävät tätä lämpövaatimusta, kuten kuviossa 10 näytetään.



Kuvio 10. Sähkön ja kaukolämmön jakautuminen sektoreittain (Tilastot – Energia 2017)

Rakennuksilla on omat sisäilmaluokitukset, missä S1 on erittäin hyvä, S2 on hyvä ja S3 on tyydyttävä. Sisäilmastoluokitukset ovat ensisijaisesti tarkoitettu käytettäväksi

asetettaessa tavanomaisia työ- ja asuintiloja koskevia sisäilmastotavoitteita. Taulukoissa 2 ja 3 on nykyiset sisäilmaluokituksen tavoitearvot. (Kukkonen 2018)

Taulukko 2. Sisäilmastoluokitus 2018:n mukaiset lämpötilan tavoitearvot (Kukkonen 2018)

		Yksikkö	Sisäilmastoluokka Enimmäisarvot			Huom.
			S1	S2	S3	
Huonelämpötila*	Talvi	°C	(21–22)*	20–22	20–23	(I)
	Kesä		(23–24)*	23–26	22–27 (35)	***
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama						
Asetusarvosta **		°C	± 0,5	± 1	± 2	(I)
Lämpötilaero pystysuunnassa		°C	2	3	4	(II)
Lattian pintalämpötila		°C	19–29	19–29	17–31	(III)
Ilman nopeus	Talvi (20 °C)	m/s	0,13	0,16	0,19	(IV)
	Talvi (21 °C)	m/s	0,14	0,17	0,20	
Ilman nopeus	Kesä (24 °C)	m/s	0,20	0,25	0,30	(IV)
Ilman suhteellinen kosteus	Talvi	%	25–45	–	–	(V)

\* S1-luokassa huonelämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä 20–24 °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään huonelämpötilan perustasona talvella 21–22 °C ja kesällä 23–24 °C.

\*\* Lämpötilan asetusarvon tulee olla kohdassa "huonelämpötila" mainituissa rajoissa.

\*\*\* Huonelämpötila ei saa missään ulkoilmaolosuhteissa olla yli 35 °C. Kun ulkoilman lämpötila on alle 15 °C, huonelämpötila ei saa olla yli 27 °C.

Taulukko 3. Sisäilmastoluokitus 2018:n mukaiset sisäilman laadun tavoitearvot (Kukkonen 2018)

		Yksikkö	Sisäilmastoluokka Enimmäisarvot		
			S1	S2	S3
Radon	Rn	Bq/m <sup>3</sup>	100	100	200
Hilidioksidi	CO <sub>2</sub>	Ppm	700	900	1200
Hilidioksidi	CO <sub>2</sub>	Mg/m <sup>3</sup>	1300	1650	2200
Ammoniikki ja amiinit	NH <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	30	30	40
Formaldehydi	H <sub>2</sub> CO	µg/m <sup>3</sup>	30	50	100
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	TVOC	µg/m <sup>3</sup>	200	300	600
Hilimonoksidi	CO	Mg/m <sup>3</sup>	2	3	8
Otsoni	O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	20	50	80
Hajuvoimakkuus (intensiteettiasteikko)		–	3	4	5,5
Mikrobit			Ei enimmäisarvoa		
Tupakan savu tupakoimattomien tiloissa			Ei aistittavissa		
Hiukkaspitoisuus	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	20	40	50

## 5 Projektin tausta

### 5.1 MySmartLife-hanke

MySmartLife-hanke on osa EU:n Horisontti 2020 -ohjelmaa, jossa testataan uusia ratkaisuja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi kaupungeissa. Hankkeen kokeiluilla saavutetaan 10–20% energiansäästö ja nopeutetaan parhaiden ratkaisujen pääsyä markkinoille. Helsingissä testattuja ratkaisuja on mahdollista hyödyntää muissa kaupungeissa Suomessa sekä maailmalla.

Merihaan ja Vilhonvuoren asuinrakennusvyöhykkeellä tehdään suuria jälkiasennustoimia, kuten älykästä mittausta ja lämmön kysynnän jouston hallintaa. Tämä palvelu liitetään myös kaupunkialustaan IoT:n kautta, mikä mahdollistaa suorituskyvyn arvioinnin ja lämpökuvaamisen esimerkiksi tarkkailemalla lämpöhäviötä sekä kaukolämmön ja -jäähdytyksen hallintaa ja optimointia.

Kalasataman uudella alueella keskitytään korkean suorituskyvyn asuinalueen rakentamiseen. Siellä on toteutettu erilaisia kodin ratkaisuja, kuten älykkäitä mittareita kaikissa asunnoissa, uusiutuvien energialähteiden integroimista esimerkiksi sähköiseen liikkuvuuden latausverkkoon ja hyödynnetty yksittäisistä lähteistä peräisin olevaa lämpöä.

Helsingin kaupungin ja yliopiston käytössä olevasta Viikin ympäristötalosta tehdään entistä energiatehokkaampi asentamalla kiinteistöön lämmityksen etäsäätö. Kiinteistö osallistuu myös lämmön ja sähkön kysyntäjouston. Lisäksi tutkitaan keinoja lisätä uusiutuvan energian tuotantoa ja vähentää vuosittaista kulutusta jopa nollatasolle. (Helsinki N.d.)

## 5.2 Viikin ympäristötalo

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ja Helsingin yliopiston käytössä oleva vuonna 2011 valmistunut Viikin ympäristötalo on Suomen vähiten energiaa kuluttava toimistorakennus. Rakennus kuluttaa energiaa noin 70 kWh/m<sup>2</sup>, mikä on tavallisesta toimistorakennuksesta noin puolet. Tähän on päästy käyttämällä erittäin energiatehokkaita rakenteita.



Kuvio 11. Viikin ympäristötalo

Talon rakentamisessa on käytetty energiatehokkaita lämpölaseja ikkunoina ja tavanomaista suurempaa eristepaksuutta seinissä. Kuviossa 11 näkyy, kuinka talon etelään suuntautuva kaksoisjulkisivun uloin pinta on rakennettu aurinkopaneeleista, mikä myös lämmittää taloa talvisin ja varjostaa kesäisin. Rakennuksen valokuilujen tuoman luonnonvalon avulla on pyritty vähentämään sähkövalaistuksen tarvetta. Rakennus jäähtyy kesäisin 250 m syvyyteen porattujen 25 jäähdytyskaivon avulla. Lisäksi rakennuksen katolla on neljä tuuliturbiinia, joilla tuotetaan sähkö turvavalajärjestelmälle. Rakennuksen oma energian tuotto on noin 17 kWh/m<sup>2</sup> ja se tuotetaan uusiutuvalla energialla (aurinkosähkö, tuulivoima ja kalliojäähdytys). Määrä noin 20 %:a rakennuksen energiankulutuksesta. Tarkemmat tiedot löytyvät taulukosta 4.

Vuonna 2015 talossa otettiin käyttöön Suomen ensimmäinen älykäs sähkövarasto, johon voidaan varastoida sähköä 45 kWh. Tämän sähkövaraston ohjausautomaatio ohjaa talon tuottamaa sähköä akkuun, sähköauton lataukseen tai myyntiin sähkön tuotannon ja tarpeen vaihteluiden mukaisesti. (Viikin ympäristötalo n.d.)

Taulukko 4. Viikin ympäristötalon tekniset tiedot (Viikin ympäristötalo, tekniset tiedot)

Perustiedot		
<b>Rakennusvuosi</b>	2011	
<b>Energiatohokkuus</b>	Lähes nollaenergiatalo, E-luku: 85 kWhE/(m <sup>2</sup> a), ET-luku: 75 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
<b>Käyttötarkoitus</b>	Toimistorakennus	
<b>Koko</b>	6 700 m <sup>2</sup> , 240 henkilön työtilat, kokoustiloja, kahvila sekä näyttelytila	
<b>Sijainti</b>	Viikinkaari 2, Helsinki	
<b>Rakennuttaja</b>	HKR-rakennuttaja	
Rakenteet		
<b>Rakenne</b>	<b>Kuvaus</b>	<b>U-arvo [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>
<b>Ulkoseinät</b>	Betonirunko	0,17
<b>Yläpohja</b>	–	0,09
<b>Alapohja</b>	–	0,16
<b>Ikkunat</b>	Energiatohokkaat lämpölasit, g-arvo 0,34	0,8
<b>Ilmativiys n50 [1/h]</b>	0,56, alle passiivitalon tason.	
<b>A/V-suhde</b>	Koko rakennuksen muoto optimoitu päivänvalon, aurinkoenergian sekä jäähdytystarpeen minimoinnin perusteella simulaatioiden avulla. Rakennuksen valokuilut (2 kpl) siroavat päivänvaloa toimistotiloihin mikä vähentävät valaistuksen tarvetta. Päättyseinän ikkunoita ympäröi valoa heijastavat rakenteet, jotka vähentävät suoran ja häikäisevän valon määrää mutta lisäävät sirottua ja häikäisemätöntä valoa. Väliopohjat valettu pääosin paikan päällä hiilipäästöjen minimoimiseksi. Etelään suunnattu lasirakenteinen kasoisjulkisivu vähentää lämmityksen tarvetta lämmityskaudella ja varjostaa kesäisin. Rakennuksen tilat on suunniteltu mahdollisimman muuntojoustaviksi.	
Ilmanvaihto		
<b>Järjestelmät</b>	<b>Kuvaus</b>	
<b>IV-koneet</b>	Rakennuksessa on keskitetty, yöyhteykohtainen ja matalapaineinen koneellinen tulo-poistoilmanvaihto. SFP-luku 1,3 kW/m <sup>3</sup> /s. Ilmanvaihtoa ohjataan mm. lämpötilan sekä hiilidioksidipitoisuuden mukaan.	
<b>Lämmön talteenotto</b>	Tehokas, regeneratiivinen LTO, hyötysuhde 75 %. Myös wc-tilojen poistoilmasta otetaan lämpö talteen erillisellä järjestelmällä.	
<b>Esilämmitys</b>	Esilämmitys tapahtuu kaukolämmöllä tai jäähdytetään kalliojäähdytyksellä.	
Energia ratkaisut		
<b>Järjestelmät</b>	<b>Kuvaus</b>	
<b>Lämmöntuotto</b>	Kaukolämpö, laskennallinen tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiatarve 26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
<b>Lämpövaraajat</b>	–	
<b>Lämmönjako</b>	Tavalliset lämpöpatterit	
<b>Jäähdytys/viilennys</b>	Jäähdytyspallkit (yksilöllinen säätömahdollisuus 1-2 °C) toimivat vapaajäähdytyksellä. Tontille on porattu porakaivoja (25 x 200 m) joiden viileä vesi viilentää tuloilmaa ja jäähdytyspalkkeja (esilämmittää tuloilmaa talvisin). 2 MWh/a pumpun sähkökulutuksella on mahdollista tuottaa 68 MWh/a jäähdytysenergiaa. Rakennuksen ikkunavarjostukset ja suuntaukset on optimoitu jäähdytysenergian minimoiseksi. Kasoisjulkisivuun on asennettu aurinkopaneeleita ikkunoita liialta auringonpaisteelta strategisiin kohtiin. Laskennallinen jäähdytystarve 10,6 kWh/(m <sup>2</sup> a) ja jäähdytystehon tarve 40 W/m <sup>2</sup> . Jäähdytyspiikin nousu tämän korkeammaksi on edistetty myös sallimalla jäähdytys yöaikaan. Atrium tilaa ei jäähdytetä ollenkaan.	
<b>Automaatio</b>	Rakennuksen taloteknisiä järjestelmiä ohjataan kattavalla taloautomaatio- ja mittausjärjestelmällä.	
<b>Sähköenergiantuotanto</b>	Rakennuksessa on 572 m <sup>2</sup> aurinkopaneeleja (julkisivut 500 m <sup>2</sup> ) ja kattaa kesäisin lähes kaiken rakennuksen sähköenergiatarpeen. Aurinkosähköjärjestelmän teoreettinen huipputeho on 60 kWp ja arvioitu vuosituotto 45 MWh. Rakennuksessa on myös neljä 80 W tuuliturbiinia.	
<b>Käytön energiatohokkuuteen kannustavat tekijät</b>	Yleisissä tiloissa on automaatiohjatut LED-valaisimet jotka palavat tarpeen mukaisella teholla KNX-tekniikan avulla. Käytössä on luonnonvalo- liike- ja aikaohjaus. Työpisteissä on kohdennettu valaistus. Portaiden käyttöä haluttu kannustaa arkkitehtuurisin keinoin. Aulassa näyttötäulu joka kertoo rakennuksen energiankulutuksesta ja -tuotannosta kävijöille ja käyttäjille reaaliaikaisesti.	

### 5.3 BACnet-protokolla

BACnet (Building Automation and Control Network) on tietoliikenneprotokolla, joka määrittelee palvelut, joita käytetään rakennuksen kenttälaitteiden ja rakennuksen ohjausjärjestelmien väliseen viestintään. BACnet-protokollan määrittely, kuten kaikki protokollan määrittelyt, määrittelee sekä sen, miten data on edustettuna verkossa, sekä palvelut, joita käytetään tietojen siirtämiseen yhdestä BACnet-solmusta toiseen. BACnet-protokolla on täysin patentoimaton avoin tietoliikenneohjelmistostandardi, jonka toteuttamiseen ei tarvita omia piirisarjoja tai erikoiselektronikkaa.

Kuten teollisuuskäytössä käytettävä ohjaus- ja informaatioprotokolla (CIP), BACnet käyttää esineitä edustamaan tietoja verkossa. Nämä objektit määrittävät BACnet-määrittelyllä ja niillä on sekä vaadittu että valinnaiset tiedot. Spesifikaation määrittelemät objektit sisältävät analogisen tulon, analogisen lähdön, analogisen arvon, binääritulon, binäärilähteen, binääriarvon, monitilaisen tulon, monitilaisen lähdön, kalenterin, tapahtumarekisteröinnin, tiedoston, ilmoitusluokan, ryhmän, silmukan, Ohjelman, aikataulun, komennon ja laitteen. (BACnet n.d.)

BACnet/WS-standardi on suunniteltu yleiseksi web-palvelupohjaiseksi tietoliikenneprotokollaksi teollisuus- ja kotiautomaatioissa, mitä voidaan soveltaa mihin tahansa kenttäväyläjärjestelmään. Se laajentaa BACnet-standardia määrittelemällä verkkopalvelun käyttöliittymän ja -tiedot mallikenttälaitteiden tietojen integroimiseksi olemassa oleviin sovelluksiin. BACnet/WS perustuu palvelukeskeiseen asiakas- ja palvelinarkkitehtuuriin. Palvelupyynnöiden ja vastausten toteuttamisen on oltava Web Services -yhteensopivuuden perusprofiilin mukainen, missä määritellään XML-muotoisten tietojen siirto verkon kautta käyttäen SOAP-tietoliikenneprotokollaa. (Szucsich 2010, 4.) Projektissa käytettiin kuvion 12 mukaista BACnet/WS-standardin laitetta.



Kuvio 12. Rajapinnassa käytetty Cimetrics B6080 laite

## 6 Kysyntäjoustop toteutus

Viikin ympäristötaloon toteutettiin kysyntäjoustop sovellus lämmönjakopaketin ilmanvaihto- ja patteriverkoston lämmitykseen sekä sähkön kulutukseen muuttamalla ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmapuhaltimien nopeutta. Kysyntäjoustopissa käytettiin valvomon tiedonsiirtorajapintana ulkopuoliseen järjestelmiin BACnet/WS:n mukaista rajapintaa, missä kaikkien BACnet-muuttujien tulee olla luettavissa sekä kirjoitettavissa tämän rajapinnan kautta.

### 6.1 Lämmityksen kysynnän jousto

Lämmityksen kysyntäjousto toteutettiin tekemällä muutos rakennuksen lämmönjakopaketin ilmanvaihto- ja patteriverkoston lämmityskäyriin siten, että käyriä voidaan poikkeuttaa joko alaspäin tai ylöspäin BACnet-rajapinnan kautta annettavilla muuttuja-arvoilla. Esimerkiksi kysyntämuuttuja-arvolla -1 poikkeutetaan lämmityskäyrää alaspäin esimerkiksi 5K. Vastaavasti arvolla 1 korotetaan lämmityskäyrää 5K, ja jos



arvo on 0, niin lämmityskäyrälle ei tapahdu mitään. Kuviossa 13 on Helsingin energian rajapinnasta saatu kysyntäjouaston tarve seuraavalle 48 tunnille.

```
{ "timestamp": "2019-03-09T17:49:28.996Z",
  "payload": {
    "2019-03-09T17:00:00.000Z": 0, "2019-03-09T18:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-09T19:00:00.000Z": 0, "2019-03-09T20:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-09T21:00:00.000Z": 0, "2019-03-09T22:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-09T23:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T00:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T01:00:00.000Z": 1, "2019-03-10T02:00:00.000Z": 1,
    "2019-03-10T03:00:00.000Z": 1, "2019-03-10T04:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-10T05:00:00.000Z": -1, "2019-03-10T06:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-10T07:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T08:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T09:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T10:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T11:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T12:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T13:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T14:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-10T15:00:00.000Z": -1, "2019-03-10T16:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-10T17:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T18:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T19:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T20:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T21:00:00.000Z": 0, "2019-03-10T22:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-10T23:00:00.000Z": 1, "2019-03-11T00:00:00.000Z": 1,
    "2019-03-11T01:00:00.000Z": 1, "2019-03-11T02:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-11T03:00:00.000Z": -1, "2019-03-11T04:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-11T05:00:00.000Z": -1, "2019-03-11T06:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-11T07:00:00.000Z": 0, "2019-03-11T08:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-11T09:00:00.000Z": 0, "2019-03-11T10:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-11T11:00:00.000Z": 0, "2019-03-11T12:00:00.000Z": 0,
    "2019-03-11T13:00:00.000Z": -1, "2019-03-11T14:00:00.000Z": -1,
    "2019-03-11T15:00:00.000Z": -1, "2019-03-11T16:00:00.000Z": 0
  }
}
```

Kuvio 13. Helenin API-rajapinnasta saatu 48 tunnin kysyntäjouaston tarve

## 6.2 Sähkön kysynnän jousto

Sähkön kysyntäjousto toteutettiin tekemällä ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistokojeille muutos painesäätöön siten, että jokaisella ilmanvaihtokojeella on kaksi muuttujaa. Kun tulo- ja poistokojeille annetaan rajapinnan kautta arvo 0 %, kojeen painesäätö muuttuu vastaamaan esimerkiksi osatehoa  $\frac{1}{2}$  ilmavirrasta ja vastaavasti antamalla arvo 100 %, muuttuu kojeen painetaso mitoitusilmavirtaa vastaavaksi. Ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistokojeita voidaan säätää lineaarisesti välillä 0 – 100 %.

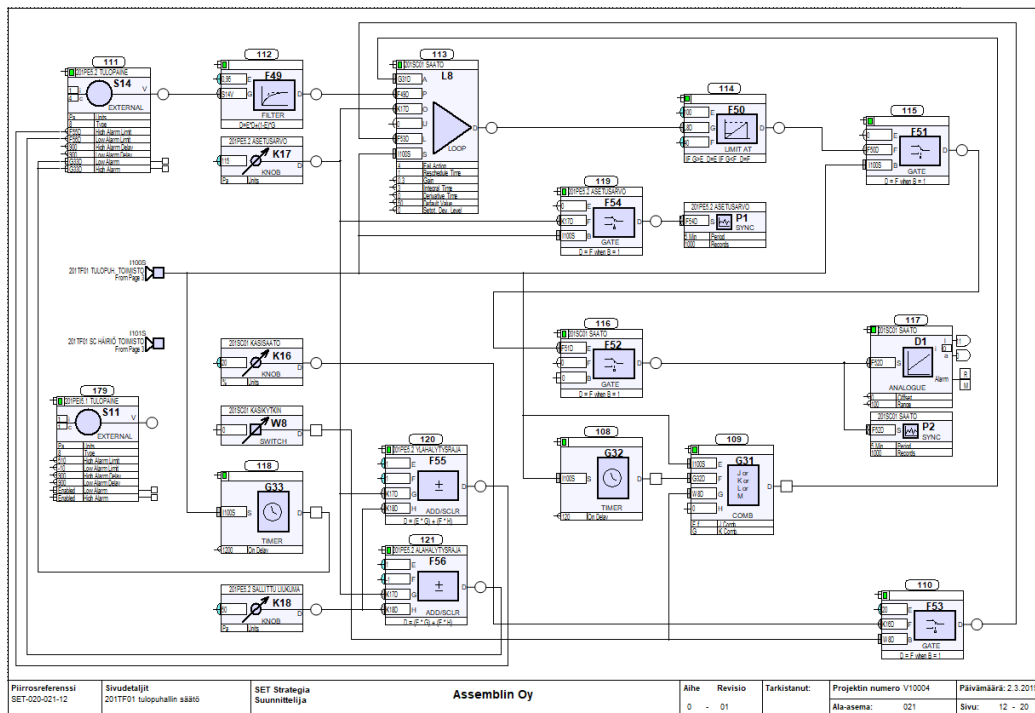
Viikin ympäristötalon kysyntäjoustopissa käytettävien ilmanvaihtokoneiden taajuusmuuttajien yhteenlaskettu nimellisteho on 24,7 kW. Tämä ei kuitenkaan anna todellista kuvaa ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutuksesta, koska jokainen koje puhaltaa omalla teholla. Taulukossa 5 on esitetty käytetyt taajuusmuuttajat.

Taulukko 5. Ilmanvaihtokoneiden taajuusmuuttajien nimellisarvot

Parametri	201SC01	201SC10.1	202SC01	202SC10.1	203SC01	203SC10.1	204SC01	204SC10.1
Valmistaja	Vacon	Vacon	Vacon	Vacon	Vacon	Vacon	Vacon	Vacon
Malli	100 HVAC	100 HVAC	100 HVAC	100 HVAC	100 HVAC	100 HVAC	100 HVAC	100 HVAC
Teho	3.0kW	1.5kW	5.5kW	4.0kW	5.5kW	3.0kW	1.1kW	1.1kW
Moottorin nimellisjännite (V)	400	400	400	400	400	400	400	400
Moottorin nimellistaajuus (Hz)	50	50	50	50	50	50	50	50
Moottorin nimellisaika (rpm)	1445	950	1460	878	1460	960	1435	1435
Moottorin nimellisvirta (A)	6,4	3,9	11,1	10,3	11,1	7,1	2,6	2,4
Moottorin Cos Phi	0,79	0,69	0,84	0,66	0,84	0,75	0,78	0,78
Moottorin nimellisteho (kW)	3,0kW	1,5kW	5,5kW	4,0kW	5,5kW	3,0kW	1,1kW	1,1kW
Virtaraja 1.2x nimellisvirta (A)	7,68	4,68	13,32	12,36	13,32	8,52	3,12	2,88

### 6.3 Esimerkki kysyntäjoustop ohjelmoinnista

Trendin ohjelmointityökaluna käytetään System Engineering Tool (SET) -ohjelmaa, joka on Windows-pohjainen graafinen ohjelmointityökalu. Kuviossa 14 on esimerkkinä ohjelma ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhaltimen painesäädöstä. Tulopuhaltimen painesäädölle on ennen kysyntäjoustop muuttujia annettu säätimellä K17 kiinteä asetusarvo 115 Pascalia, jota ohjelma säätää painemittauksen 201PE5.2 (S14) perusteella.



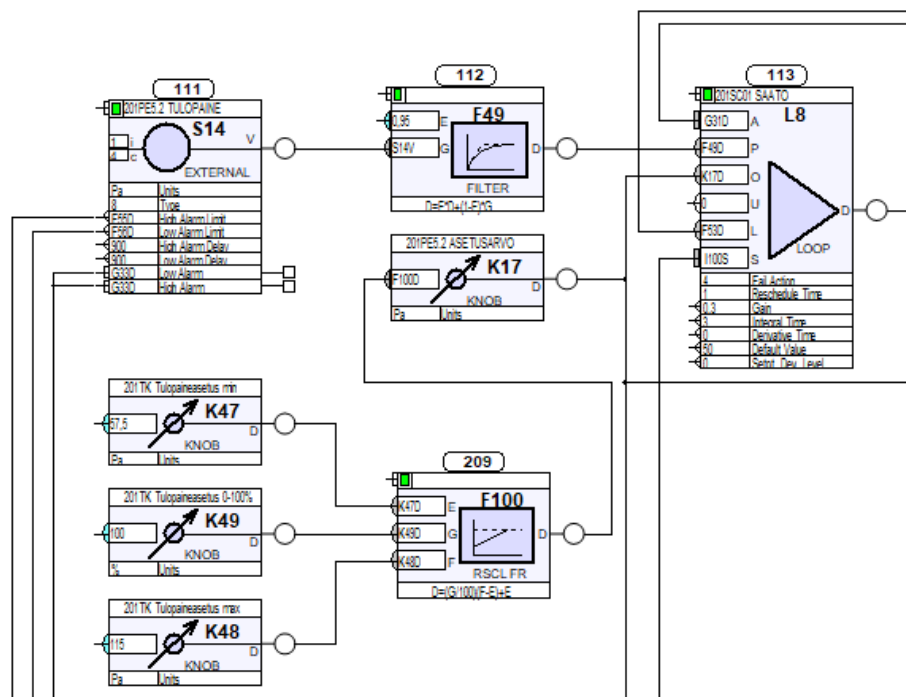
Kuvio 14. Ohjelma painesäädölle

Kysyntäjoustop muuttujat on ohjelmoitu kuvion 15 mukaisesti. Säätimillä K47 ja K48 annetaan tulopuhaltimen painesäädön maksimi ja minimi asetusarvot kuvion 15 mukaisesti, jossa maksimi on 115 Pa ja minimi on puolet maksimista eli 57,5 Pa. Säätimelle K49 annetaan paineen asetusarvo 0 – 100 %, missä 0 % vastaa minimi paineasetusta ja 100% maksimi paineasetusta. Tämä saadaan skaalattua blokin F100 käytetyllä laskentakaavalla:

$$D = G \div 100 \times (F - E) + F$$

Kyseisellä kaavalla esimerkiksi 40 % kysyntäjoustop-muuttujalla saadaan painesäädön asetusarvoksi:  $40 \div 100 \times (115 - 57,5) + 115 = 80,5 \text{ Pa}$

Vastaavanlainen painesäädön ohjelma tehtiin kaikkiaan neljälle ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmapuhaltimille. Kaikkiin ohjelman analogipisteisiin on mahdollista asettaa muuttujat BACnet-rajapinnan kautta.



Kuvio 15. Kysynnän joustop painesäädön ohjelma

BACnet-rajapinta ohjelmoidaan Cimetricsin BACnet NCL Creatorilla, johon saadaan suoraan ladattua SETistä kaikki ohjelmoidut muuttujat. Muuttujat näkyvät BACnet NCL Creator -ohjelmassa samoina, kuin ne on ohjelmoitu SET:iin. Esimerkiksi kuviossa 16 oleva analog-value 49 vastaa SET:iin ohjelmoitua K49-säätimen muuttujaa.

NET	MAC	Instance	Name	N Objects	State
local	C0A81432BAC0	17712	Drive	0	Click to get Object List
local	C0A81430BAC0	17713	Drive	0	Click to get Object List
local	C0A8140BBAC0	20011	VK1 - IV-KH	0	Click to get Object List
local	C0A81415BAC0	20021	VAK-201TK	191	Success
local	C0A81416BAC0	20022	VAK-202TK	0	Click to get Object List
local	C0A81417BAC0	20023	VAK-203TK	0	Click to get Object List
local	C0A81418BAC0	20024	VAK-204TK	0	Click to get Object List
local	C0A81419BAC0	20025	VAK-205TK	0	Click to get Object List
local	C0A8141ABAC0	20026	VAK-206TK	0	Click to get Object List

Object Type	Instance	Name
analog-value	38	201TK HUONE ULKO MIN
analog-value	39	201TK HUONE ULKO MAX
analog-value	40	201TK HUONEASETUS MIN
analog-value	41	201TK HUONEASETUS
analog-value	42	201FV05 ULKORAJA
analog-value	43	201TE10.1 POISTO MAX
analog-value	44	201TE10.1 POISTO MIN
analog-value	45	201TE10.1 AS.VALINTA ULKORAJA
analog-value	46	201TE10.1 AS.VALINTA ULKOVIIVE
analog-value	47	201TK Tulopaineasetus min
analog-value	48	201TK Tulopaineasetus max
analog-value	49	201TK Tulopaineasetus 0-100%
analog-value	50	201TK Poistopaineasetus min
analog-value	51	201TK Poistopaineasetus max
analog-value	52	201TK Poistoasetus 0-100%
binary-input	1	201LTO01 LTO HÄIRIÄ

Kuvio 16. BACnet-rajapinnan ohjelmointityökalu

Kun halutut arvot on valittu, pitää ne tallentaa NCL-tiedostoksi, jotta ne voidaan ladata BACnet-rajapintaan. NCL-tiedoston lataaminen rajapintaan onnistuu web-selaimen kautta kuvion 17 mukaisesti. Web-selaimen kautta muut ulkoiset osapuolet pääsevät kiinni rajapintaan omilla järjestelmillään, jolla he voivat seurata ja muuttaa haluttuja muuttujia.



Kuvio 17. NCL-tiedoston lataaminen rajapintaan

## 7 Johtopäätökset

Kysyntäjoustopuun kannattavuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten kiinteistössä olemassa olevat järjestelmät, lämmitysmuoto sekä Elspot hinta. Elspot hintaan vaikuttavat sähkön kysyntä ja tarjonta sekä mahdolliset ongelmat tuotannossa tai siirtoyhteisissä. Sääolosuhteet vaikuttavat myös vahvasti sähkön kysyntään. Pitkien pakkasjaksojen aikana sähkön hinta nousee korkeammaksi tai vastaavasti tuulisen sään aikaan se laskee.

Suomessa on jo kehittyneet kysyntäjoustopuun ja siihen olemassa oleva teknologia. Kysyntäjoustopuun hyötyjä ja mahdollisuuksia ei kuitenkaan markkinoida eteenpäin kuluttajille. Esimerkiksi uusille ja saneeratuille kiinteistöille olisi kannattavaa tarjota mahdollisuutta osallistua kysyntäjoustopuun, koska niiden automaatiojärjestelmien puolesta rakennukset siihen kykenisivät. Asuinkiinteistöjen osallistuminen kysynnän joustopuun on hankalampaa, koska jokainen asukas tekee oman sähkösovimuksensa. Asuinkiinteistöille olisikin kannattavampaa tarjota esimerkiksi lämmityksen kysyntäjoustopuun osallistumista, koska siinä kustannus jakautuu tasapuolisemmin.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyöni päätavoitteena tavoitteena oli toteuttaa toimiva kysyntäjoustop sovellus BACnet/WS-rajapinnalla Viikin ympäristötalon nykyiseen rakennusautomaatiojärjestelmään. Opinnäytetyön lisäksi kohteeseen toteutettiin automaatiojärjestelmän muiden laitteiden mittauksien ja ohjauksien lisäys BACnet/WS-rajapintaan. Tämän osuuden hoiti Assemblin Oy:n automaatiohuoltoyksikkö.

Opinnäytetyön kysynnän joustoa tullaan hyödyntämään Viikin ympäristötalon etäkäytössä ja rakennuksen energiatehokkuuden raportoinnissa, joiden avulla käyttäjät ja kiinteistön omistaja voivat vaikuttaa energiatarpeeseensa. Viikin ympäristötalon kysynnän joustoa tulee seuraamaan ja käyttämään muun muassa Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Helsingin energia. Mitään varsinaisia tuloksia ei vielä saada kohteen kysynnän jouston hyödyistä, koska se on otettu vasta tänä keväänä käyttöön.

Viikin ympäristötalossa toteutetut kysyntäjoustop demot eivät kuitenkaan tuo kovin paljon taloudellista hyötyä kiinteistölle, koska ympäristötalo on Suomen energiatehokkain rakennus. Ympäristötalossa olisi kuitenkin tulevaisuudessa hyvät valmiudet muillekin kysyntäjoustop demoille olemassa olevien akkujärjestelmien ja sähköautojen latauspisteiden puolesta. Tulevaisuudessa kysyntäjoustop kanssa toimisi hyvin sähköautot. Hyvin suunniteltu sähköauton latausjärjestelmä lisäisi sähköautojen hyötyjä, kuten esimerkiksi päästöttömyyttä sekä edullisuutta. Älykäs latausjärjestelmä ja akkuvarasto pitäisi huolen siitä, että akkuja ladataan edullisella sähkön hinnalla sekä akut olisivat täynnä liikkeelle lähtiessä.

Opinnäytetyön aihe oli mielestäni erittäin mielenkiintoinen ja uusi asia sähköntuotannossa, mikä sai minut alkujaan kiinnostumaan aiheesta. Työn kohde ei ollut mitenkään erityisen vaativa, koska Viikin ympäristötalon rakennusautomaatiojärjestelmän on aikoinaan toimittanut Arealtec Oy, nykyinen Assemblin Oy:n rakennusautomaatiourakointi, joten yrityksessä on hyvin TREND-osaamista. Kaiken kaikkiaan tulok-

sena saatiin toteutettua toimiva kysyntäjouston-demo Viikin ympäristötaloon. Uskomme, että jatkossa voimme hyödyntää tästä opinnäytetyöstä saatuja tuloksia samankaltaisissa kohteissa.

## Lähteet

Aunio, J. 2018. Sähkön kysyntäjouaston toteuttaminen kotitalouksissa ja kysyntäjousto potentiaalin hyödyntäminen sähkömarkkinoilla. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 4.8.2018

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/26070/Aunio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Automaattinen taajuudenhallintareservi 2018. Fingrid verkkosivut. Viitattu

17.10.2018. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>

Automaattisen taajuudenhallinnan sovellusohje 2018. Fingrid verkkosivut. Viitattu 16.10.2018.

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/liite20120-20automaattisen20taajuudenhallintareservin20sovellusohje.pdf>

BACNet, N.d. An Application Layer Protocol for Building Automation verkkojulkaisu, Real Time Automation. Viitattu 30.12.2018.

<https://www.rtaautomation.com/technologies/bacnet/>

Day-ahead market N.d. Nord Pool verkkosivut. Viitattu 13.10.2018.

<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/>

Day-ahead market, Price information N.d. Nord Pool verkkosivut. Viitattu 13.10.2018.

<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/>

Energy – Buildings 2018. European Commission. Viitattu 6.1.2019.

<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

Explicit Demand Response in Europe, Mapping the Markets 2017. SEDC

verkkojulkaisu. Viitattu 6.8.2017. <http://www.smartenergy.eu/2017/04/06/explicit-demand-response-in-europe-mapping-the-markets-2017/>

Helsinki N.d. MySmartLife verkkojulkaisu. Viitattu 26.12.2018.

<https://www.mysmartlife.eu/cities/helsinki/>

Härkönen, P., Mikkola, J., Piikkilä, V., Sahala, A., Shalsten, T., Sandström, B., Sirviö, A., Spangar, T. & Sulku, J., 2012. Espoo. Rakennusautomaatio Järjestelmät tietotekniset järjestelmät. Sähköinfo Oy.

Intraday market N.d. Nord Pool verkkosivut. Viitattu 13.10.2018.

<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Intraday-market/>



Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiölle (DR pooli). Viitattu 10.9.2018.

[https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnan\\_jousto\\_loppuraportti.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnan_jousto_loppuraportti.pdf)

Kaukolämmön kysyntäjousto 2015. Energiateollisuus verkkojulkaisu, Valor Partners Oy. Viitattu 6.10.2018. [https://energia.fi/files/439/Kaukolammon\\_kysynta-jousto\\_loppuraportti\\_VALOR.pdf](https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysynta-jousto_loppuraportti_VALOR.pdf)

Kukkonen, E. 2018. Sisäilmaluokitusta uudistettiin verkkojulkaisu, Sisäilmayhdistys. Viitattu 6.1.2019 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020303.pdf>

Kysyntäjousto 2018. Fingrid verkkosivut. Viitattu 2.7.2018.

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/>

Linna, J. & Nuutinen, J. 2012. Energiaopas pienille ja keskisuurille yrityksille.

Elinkeinoelämän keskusliitto. Viitattu 6.8.2018. <https://ek.fi/wp-content/uploads/energiaopas.pdf>

Manninen, K. 2017. Rakennuksen kysyntäjoustoprojektin vaatimusten määrittäminen. Diplomityö, Lappeenranta teknillinen yliopisto.

Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää 2017. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu: 6.7.2018.

<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/80792>

Partanen, J., Viljainen, S., Lassila, J., Honkapuro, S., Salovaara, K., Annala, S. & Makkonen, M. 2014. Sähkömarkkinat - opetusmoniste. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Viitattu 13.10.2018 <https://docplayer.fi/1155301-Sahkomarkkinat-opetusmoniste.html>

Reservit ja säätösähkö 2018. Fingrid verkkosivut. Viitattu 4.8.2018.

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservilajit>

Reservituotteet ja reservien markkinapaikat 2018. Fingrid verkkosivut. Viitattu 4.8.2018.

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>

Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat 2018. Fingrid verkkosivut. Viitattu 4.8.2018.

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko-ja-saatokapasiteettimarkkinat/>

Szucsich, S. 2010. Web Services in Building Automation with focus on BACnet/WS. Institute of Computer Aided Automation. Vienna: Vienna University of Technology.

Viitattu 30.12.2018. [https://www.auto.tuwien.ac.at/bib/pdf\\_TR/TR0151.pdf](https://www.auto.tuwien.ac.at/bib/pdf_TR/TR0151.pdf)

Taajuusohjattujen reservien ylläpidon käyttöohje 2018. Fingrid vekkojulkaisu. Viitattu 16.10.2018.

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/liite220-20taajuusohjattujen20reservien20yllapidon20sovellusohje202018.pdf>

Tilastot – Energia 2017. Helsingin Ympäristötilasto verkkojulkaisu. Viitattu 6.1.2019.

<http://www.helsinginymparistotilasto.fi/>

Viikin ympäristöotalo N.d. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Viitattu: 26.12.2018.

<https://www.hel.fi/static/ymk/esitteet/ymparistotalo-fi.pdf>

Viikin ympäristöotalo, tekniset tiedot. Eksenergia verkkosivut. Viitattu 30.12.2018.

<http://eksergia.fi/viikin-ymparistotalo/>