



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Benjamin Hintsala

Sähkön kysyntäjouaston hyödyntäminen asuntotuotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

2.12.2020

Tekijä Otsikko	Benjamin Hintsala Sähkön kysyntäjouaston hyödyntäminen asuntotuotannossa
Sivumäärä Aika	29 sivua 2.12.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	suunnittelujohtaja Pellervo Matilainen lehtori Jarno Nurmio
<p>Sähköntuotannon tavoitteena on muuttua ekologisemmaksi ja siirtyä mahdollisimman paljon esimerkiksi sääriippuvaisiin tuuli- ja aurinkovoimaan. Tämän seurauksena tuotantoa ei voida säätää kulutuksen mukaan ja kulutuksella on tarve joustaa.</p> <p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää kysyntäjouaston hyödyntämismahdollisuuksia asuntotuotannossa.</p> <p>Ensimmäisessä vaiheessa kerättiin tietoa kysyntäjouastosta kirjallisuuskatsauksen perusteella. Toisessa vaiheessa selvitettiin tuottomahdollisuuksia todellisen kohteen mittausten ja muiden tietolähteiden perusteella.</p> <p>Insinööriyön tavoite täyttyi ja työn tuloksena selvisi, että tämän hetkisillä ansaintamahdollisuuksilla ja investointikustannuksilla kysyntäjouaston hyödyntäminen asuinkerrostaloissa ei ole kuluttajille taloudellisesti kannattavaa. Tämän seurauksena kysyntäjoustojärjestelmiä kannattaa rakentaa vain kohteisiin, joihin on jo valmiiksi suunniteltu kattava automaatiojärjestelmä ja lisäksi selvittää pienillä kustannuksilla.</p> <p>Skanska voi hyödyntää tuloksia suoraan. Tulokset ovat yleistettävissä kaikille asuinkerrostaloja rakennuttaville.</p>	
Avainsanat	kysyntäjousto, asuntorakentaminen, kannattavuus

Author Title	Benjamin Hintsala Utilizing Electrical Demand Response in Housing Production
Number of Pages Date	29 pages 2 December 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Pellervo Matilainen, Design and Planning Manager Jarno Nurmio, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to research the possibilities of utilizing electrical demand response (DR) in housing production. First, the final year project studied DR through a literature review. After that, energy consumption measurements from an apartment building, complemented with additional information sources, were used for examining the profitability of DR in housing production.</p> <p>The thesis showed that DR is not currently profitable for consumers, comparing the earning possibilities against the investment costs. Because of the cost structure, DR -systems were shown to be worthwhile only in buildings that already have plans for comprehensive automation systems. Then the additional costs are affordable.</p> <p>The company that ordered the project can utilize the findings about the challenges of making DR profitable in apartment buildings in their decision making. Anyone working for the solutions used on apartment buildings can also benefit from these results.</p>	
Keywords	Demand Response, DR, housing production, profitability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	1
3	Kysyntäjousto	2
3.1	Kysyntäjousto käsitteenä	3
3.2	Hyödyntäminen tällä hetkellä	5
3.3	Pilottiprojekteja	6
4	Toteutustavat	8
4.1	AMR -mittarit	9
4.2	Erilliset ohjausjärjestelmät	11
4.3	Vertailu	13
5	Potentiaali Skanskan rakennuskannassa	14
5.1	Asuinrakennuksissa	15
5.2	Toimitiloissa	18
5.3	Vertailu	21
6	Hyödyt eri osapuolille	23
6.1	Urakoitsijoille	23
6.2	Tilaaajille	24
6.3	Loppukäyttäjille	24
6.4	Sähköverkkoyhtiöille	25
6.5	Sähkönmyyjille	25
7	Yhteenveto	25
	Lähteet	27

Lyhenteet

AMR	Etäluettava energiamittari (eng. Automated Meter Reading)
HEMS	Asuinkiinteistöjen energianhallintajärjestelmä (eng. Home Energy Management System)
IoT	Esineiden internet (eng. Internet of Things)

1 Johdanto

Kilpailu rakennusalalla on kovaa ja vakaastikin markkinapaikassa kiinni olevan suuryrityksen on kehityttävä ja selvitettävä uusia mahdollisuuksia jatkuvasti.

Kysyntäjousto on ollut viime vuosina puheissa paljon ja sen ekologiset hyödyt ovat kiistattomia. Kuitenkaan asuinrakennuksissa sitä ei ole otettu käyttöön laajamittaisemmin. Vaikka suurin osa uusista asunnoista on kerrostaloja, joissa sähköä ei kulu samaan malliin kuin esimerkiksi suurissa tehtaissa, on suurissa massoissa valtava joustopotentiali. Ennakoajatukseni on, että varsinkin sähkölämmityksessä ja talotekniikassa on potentiaalia joustaa ilman käyttäjälle aiheutuvaa häiriötä tai epämukavuutta.

Skanska kodit toimii rakennuttajana ja siten Skanskalla on mahdollisuus vaikuttaa myös kysyntäjouston toteuttamiseen.

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, onko Skanskalla mahdollisuutta hyödyntää kysyntäjoustoja asuntotuotannossa. Luvuissa 2-4 selitetään työn tausta ja hankitaan kirjallisuuskatsauksella siihen liittyvä teoria. Luvuissa 5 ja 6 tutkitaan hyödyntämistä todellisen kohteen pistekohtaisiin mittauksiin ja kirjallisuuskatsaukseen perustuen. Luvussa 7 käydään tulokset ja tavoitteiden toteutuminen läpi.

2 Yritysesittely

Tein insinööriyön Skanska Talonrakennus Oy:lle. Skanska Talonrakennus Oy on osa Suomen emoyhtiötä Skanska Oy:tä, joka taas on osa Ruotsin emoyhtiö Skanska AB:ta. Skanska on yksi maailman johtavista rakennusliikkeistä ja se toimii valituilla kotimarkkina-alueilla Pohjoismaissa, Euroopassa ja Yhdysvalloissa. [1.]

Skanska Talonrakennus Oy työllistää n.1500 henkilöä. Vuonna 2019 Skanska Suomen liikevaihto oli 837,4 miljoonaa euroa [2]. Yrityksen palveluihin kuuluvat talotekniikka, asuntoprojektikehitys ja talonrakentaminen.

Alun perin Skanska oli tukholmalaisen kemistin Rudolf Bergin vuonna 1887 perustama betonivalimo. 1950-luvulla palveluvalikoima oli laajentunut huomattavasti ja se toimi jo usealla mantereella. Suomeen Skanska perusti ensimmäisen haarakonttorinsa jo 1917. Varsinainen toiminta Suomessa alkoi vuonna 1994 konkurssiin menneen Hakan rakennusprojektien loppuun viemisellä. Skanska palkkasi suurimman osan Hakan entisistä työntekijöistä. [3.]

Nykyisin Skanska on edelläkävijä ympäristön huomioimisessa. Muun muassa Skanskan pääkonttori on ansainnut Leed-ympäristöluokituksen parhaan platinatason. Pääkonttorilla hyödynnetään sadevettä autonpesupaikalla ja vessanpönttöjen huuhteluvetenä ja valaistus säätyy automaattisesti päivänvalon mukaan.

3 Kysyntäjousto

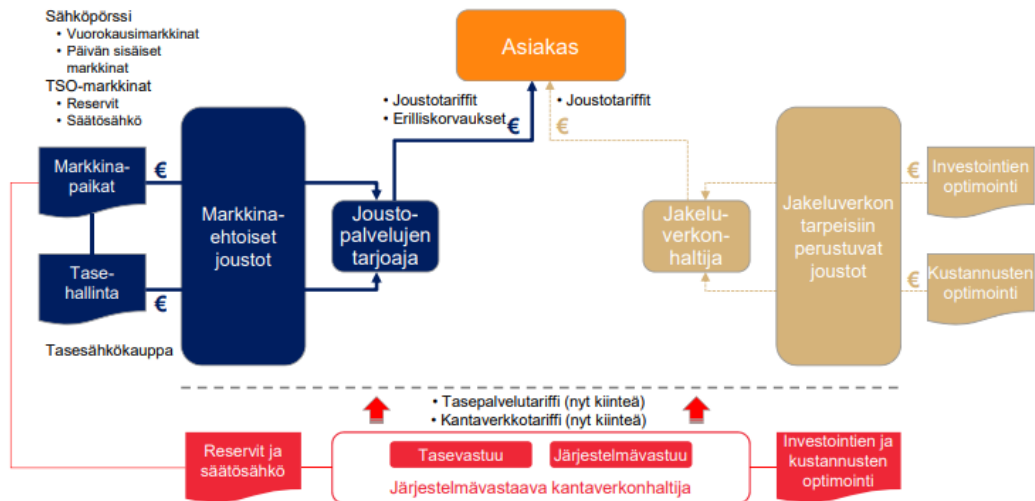
Yleensä sähköenergiajärjestelmässä huipputehontarpeeseen on sopeuduttu väliaikaisella tuotannon kasvattamisella esimerkiksi vesi- ja lauhdevoimalaitosten avulla. Vaikuttaa siltä, että tulevaisuudessa sellaisen tuotannon osuus, jota ei kannata taloudellisista, tai ei voida teknisistä syistä säätää, tulee kasvamaan jatkuvasti. Esimerkiksi aurinko- ja tuulivoiman tuottaminen on sääriippuvaista. Tasaisesti ajettavien ydinvoimaloiden taas kannattaa taloudellisista syistä tuottaa koko kapasiteetilla energiaa ympäri vuoden. Kulutuksen hetkittäinen säätäminen tarjoaa säätötarpeeseen kustannustehokkaan ja ympäristöstävällisen ratkaisun uuden rakennettavan lisätuotannon tilalle. [4, s.3.]

Valtakunnallisten tehohippujen aikana sähkön hinta nousee yleensä huomattavasti. Samalla myös joudutaan käyttämään paljon päästöjä aiheuttavia energiantuotantomuotoja. Kysyntäjouston tarkoitus on mahdollistaa sähkönkulutuksen siirtäminen tuotannon ja verkon kannalta suotuisampaan ajankohtaan. Kulutuksen hetkellisen laskemisen ansiosta tuotanto voidaan usein vaihtaa esimerkiksi hiililauhteella tuotetusta sähköstä vesivoimaksi. Joustamisen avulla kuluttaja voi siis vaikuttaa energiantuotannon ekologisuuteen. [4, s.3.]

Ilmastonmuutoksen hillitseminen on taustalla myös uusissa rakentamiseen liittyvissä energiatehokkuusmääräyksissä, joiden tavoitteena on ohjata rakentamista energiatehokkaampaan ja uusiutuvia energialähteitä hyödyntävään suuntaan. Järventaustan ym.

mukaan energiatehokkuutta arvioitaessa on tärkeää huomioida hetkelliset tehoaipeut ja erilaiset käyttöprofiilit. Lisäksi kysyntäjousto tulee nähdä työkaluna lähes nollaenergiarakentamisen tavoitteiden saavuttamisessa. [4, s.3.]

Tällä hetkellä kysyntäjouston ohjaukset tapahtuvat markkinoiden ja jakeluverkkoyhtiöiden tarpeiden perusteella. Kuvassa 1 on havainnollistettu ansaintalogiikkaa ja ohjaustahtumia tarkemmin. [5.]



Kuva 1. Kysyntäjouston ohjauksen toteutuminen [5, s.15].

3.1 Kysyntäjousto käsitteenä

Tiivistettynä kysyntäjoustolla (eng. Demand Response, DR) tarkoitetaan loppukäyttäjän kulutuksen muutosta joustosta maksettavien hyvitusten seurauksena, sähkön markkinahinnan nousun tai verkon toimivuuden ollessa uhattuna [4, s.23]. Laajimmin tunnettu esimerkki kysyntäjoustosta on yö sähkö, jossa loppukäyttäjä on sopinut sähkön myyjän kanssa, että yöaikaan sähköllä on halvempi hinta kuin päivällä. Tällöin kustannussäästöä saadaan siirtämällä ajastuksella sähkön kulutusta, esimerkiksi lattialämmitys tapahtumaan yöaikaan.

Kysyntäjousto on kuitenkin monitahoinen käsite, joka on osa laajempaa kokonaisuutta, kulutuksen hallintaa. Kulutuksen hallintaan sisältyy kysyntäjouston lisäksi energiatehokkuus. Energiatehokkuustoimenpiteiden tarkoituksena on vähentää energian kulutusta, kysyntäjouston taas siirtää kulutus verkon kannalta suotuisampaan hetkeen.

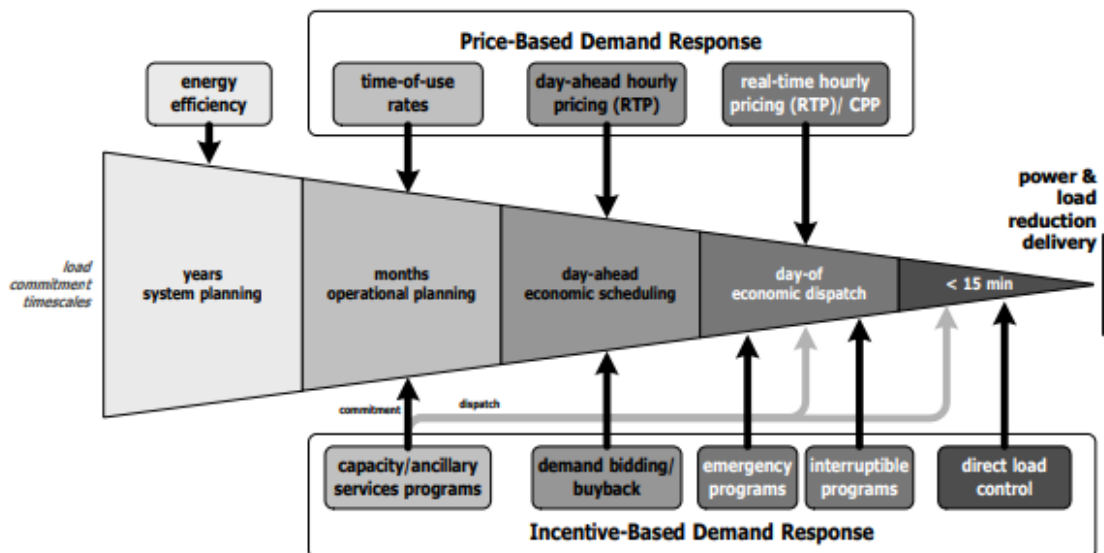
Yhdysvaltain energijaoston mukaan kysyntäjousto voidaan luokitella esimerkiksi hinta- ja kannustinperusteisiin toimenpiteisiin. Kuvassa 2 on kulutuksen hallinnan keinoja ja käyttäjäjankohtia. Alla oleva luettelo selventää kuvan käsitteitä. [6.]

Hintaperusteisia vaihtoehtoja ovat:

- käyttöaikaan perustuva (eng. Time-Of-Use, TOU)
- reaaliaikaisesti muuttuva (Real-Time Pricing, RTP)
- kriittisten huippujen leikkaamiseen perustuva (Critical Peak Pricing, CPP)

Kannustinperusteisiin vaihtoehtoihin he lukevat:

- suoran kuormien hallinnan (eng. Direct Load Control, DLC)
- keskeytettävän tai vähennettävän kuorman
- hätätilanteiden kysyntäjouston
- takaisinosto-ohjelmat
- joustokapasiteettina toimimisen
- tukitoiminto-ohjelmat. [6.]



Kuva 2. Kulutuksen hallinnan keinoja ja käyttäjäjankohtia [6, s.15].

3.2 Hyödyntäminen tällä hetkellä

Kuvassa 3 näkyy kysyntäjouaston tilanne Suomessa 1.9.2020. Alla on käsitteet selitettynä auki.

Day ahead markkinaa kutsutaan Nord Poolin markkina-alueella Elspot-markkinaksi. Englanninkielisen nimensä mukaan markkinassa kaupataan edellisenä päivänä sähkön-tuotantoa seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille. [7.]

Intra day-markkina (Nord Poolin alueella Elbas-markkina) avautuu vuorokausimarkkinan sulkeuduttua ja siellä kauppaa käydään päivän sisällä jokaiselle tunnille erikseen. [7.]

Säätösähkömarkkinat ja reservimarkkinat seuraavat Intra day-markkinaa. Niiden tarkoituksena on ylläpitää tehoa ja joustaa tarpeen mukaan. [7.]

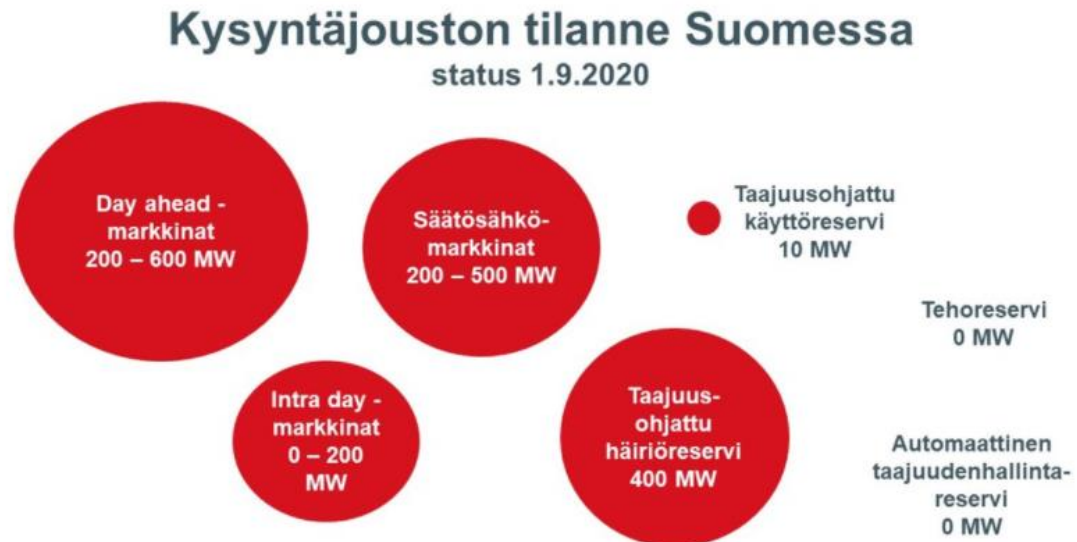
Säätösähkömarkkina on pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden ylläpitämä markkina, jonka kautta tuotannon ja kuorman haltijat voivat antaa säätötarjouksia, joita kantaverkkoyhtiöt aktivoivat tarpeen mukaan. Säätösähkömarkkinoille osallistuakseen tulee kyetä 10 MW tehonmuutokseen 15 minuutin kuluessa tarjouksen hyväksymisestä. 5 MW, jos käytössä on elektroninen tehon arviointi. Tarjoukset annetaan viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Kaikille, joiden säätökapasiteettia on hyödynnetty, maksetaan sama korvaus. Korvaus on tuotannon nostossa kalleimman käytetyn tarjouksen hinta ja kulutuksen nostossa halvimman käytetyn tarjouksen hinta. [8.]

Taajuusohjattu käyttöreservi aktivoituu automaattisesti taajuuden poistuessa alueelta 49,9 - 50,1 Hz. Säädön vähimmäiskoko käyttöreservissä on 0,1 MW. [9.]

Taajuusohjattu häiriöreservi toimii samaan tapaan, kuin taajuusohjattu käyttöreservi, mutta se aktivoituu taajuuden laskiessa alle 49,5 Hz:iin. Säädön vähimmäiskoko häiriöreservissä on 1 MW. [9.]

Tehoreservin tarkoituksena on varmistaa tuotannon ja kulutuksen välinen tasapaino. Tehoreservi aktivoituu talvikuukausina huippukulutustilanteessa. Tuotantopuolella tehoreservissä on 2 voimalaitosta ja kulutuspuolella Suomenojan lämpöpumppu. [10.]

Automaattinen taajuudenhallintareservi on vuonna 2013 käyttöön otettu reservilaji. Säädön vähimmäiskoko on 5 MW ja aktivoitumisaika 2 minuuttia. Fingrid ilmoittaa etukäteen tunnit, joille reserviä tullaan ostamaan. [4.]



Kuva 3. Kantaverkkoyhtiö Fingridin kuvaus kysyntäjoustop tilanteesta 1.9.2020 [11].

3.3 Pilottiprojekteja

Fingrid on ohjannut useita kokeiluhankkeita kysyntäjoustopon liittymiseen.

Fingrid, Fortum, Helen ja There Corporation tutkivat 2016 päättyneessä hankkeessa omakotitalojen älyohjattujen lämmityskuormien kysyntäjoustopomarkkinoille tarjoamista. Tavoitteena oli tutkia aggregoitujen kuormien mahdollisuuksia ja mahdollisia ongelmakohtia. Aggregointi tarkoittaa pienten yksikköjen yhdistämistä laajemmiksi kokonaisuuksiksi ja se on vakiintunut käsite kysyntäjoustoposta puhuttaessa. [12.]

Suomessa on lähes 500 000 sähkölämmitteistä omakotitaloa ja 1 120 000- 1 270 000 omakotitaloa, joiden lämmityksessä on ohjattavaa sähkökuormaa. Jos mukaan luetaan myös öljylämmityskohteiden sähkövastukset, teoreettinen joustopotentiaali lähestyy jopa 2,9 MW:a. [12.]

Testit tehtiin pääkaupunkiseudulla. Mukana oli kaikenlaisia kohteita suoralla sähkölämmityksellä toimivista, varaavalla lattialämmityksellä ja ilmalämpöpumpuilla toimiviin taloihin. Testitulosten perusteella kotien lämmityskuormat soveltuvat tekniikan puolesta hyvin kysyntäjouston. Ohjaukset menivät läpi keskimäärin 2,3 sekunnissa, jolloin myös taajuusohjatun häiriöreservin aikavaade täyttyy. Lämmityksessä pidemmät kuormanohjaukset (esim. säätösähkö) aiheuttavat tarpeen lämmityksen uudelleenaikataulutukselle. Näissä tapauksissa kuorma pyritään jakamaan tasaisesti eri aikoihin kodin lämpötilan, ulkolämpötilan, lämpötila-asetusten, sähkön hinnan ja ohjauksääntöjen mukaan. Tulokset olivat kaikkien osapuolten mieleen ja jatkokehityskohteeksi todettiin ohjattavan kuormapotentiaalin kasvattaminen. [12.]

2015 toteutettiin HertSi niminen hanke, jossa tutkittiin S-ryhmän kiinteistöjä, eli kauppoja, hotelleja, logistiikkakeskuksia jne. Tutkimus haluttiin käynnistää, koska S-ryhmä on Suomen suurin ei-teollinen sähkökuluttaja ja hypermarketeissa on varavoimakoneita, joita ei ollut aiemmin hyödynnetty sähkömarkkinoilla. [13.]

Tässä hankkeessa huomattiin, että säädettävät kuormat olivat yllättävän pieniä ja varavoimakoneet käynnistyvät nopeasti, mutta kapasiteetti ei riitä säätömarkkinoiden vaatimukseen (10 MW). Varavoimakoneille löytyi kaksi soveltuvaa markkinapaikkaa: Elspot ja Elbas-markkinat. Kuormille parhaiten soveltuvaksi markkinaksi havaittiin taajuusohjatun käyttöreservin tuntimarkkina. Hankkeessa havaittiin, että suurillakin sähkökäyttäjillä joustopotentiaali voi olla pieni. Kaupoissa joustamattomuus voi johtua esimerkiksi kylmälaitteista, jotka kuluttavat paljon sähköä, mutta niiden lämpötilan ei voida antaa nousta. Kuitenkin jos tekniset ratkaisut saadaan toteutettua edullisesti kaikki potentiaali kannattaa hyödyntää. [13.]

Vuonna 2015 päättyi Fingridin Enegia Oy:n kanssa toteuttama pilottiprojekti, jossa tarkasteltiin pienten, eli alle 1 MW, varavoimakoneiden hyödyntämistä sekä taajuusohjattuna häiriöreservinä, että säätösähkömarkkinoilla. Tarkoituksena oli tarkastella myös UPS-varmennettuja kohteita, mutta pilottiin ei saatu mukaan yhtään UPS-kohdetta. [14.]

Enegia toimi pilottiprojektissa aggregaattorina ja kokosi kahden asiakkaan varavoimakoneet suuremmaksi kokonaisuudeksi ja mahdollisti kuormien osallistumisen eri markkinoille. Pilotissa toiselta asiakkaalta saatiin taajuusohjattuun häiriöreserviin 4,4 MW:n teho ja toiselta säätösähkömarkkinoille 1,5 MW. [14.]

Asiakkaat olivat tyytyväisiä pilotin aikana saatuihin tuottoihin, sekä markkinoiden toimintaan. Haasteitakin huomattiin. Taajuusohjatun häiriöreservin sääntöjä on muutettu ja käynnistysaikavaade kiristetty 30 sekunnista 5 sekuntiin. Tämä estää käynnistyvien varavoimakoneiden osallistumisen kyseiseen markkinaan. Enegia uskoo sääntömuutosten vaikeuttavan asiakkaiden hankkimista erityisesti, jos niitä tehdään usein. Lisäksi Enegia pohti, olisiko reaaliaikaisesta energiantuottodennuksesta mahdollista luopua edes osittain. Todennuksen on usein havaittu olevan eniten kysyntäjoustop toteuttamista vaikeuttava asia. [14.]

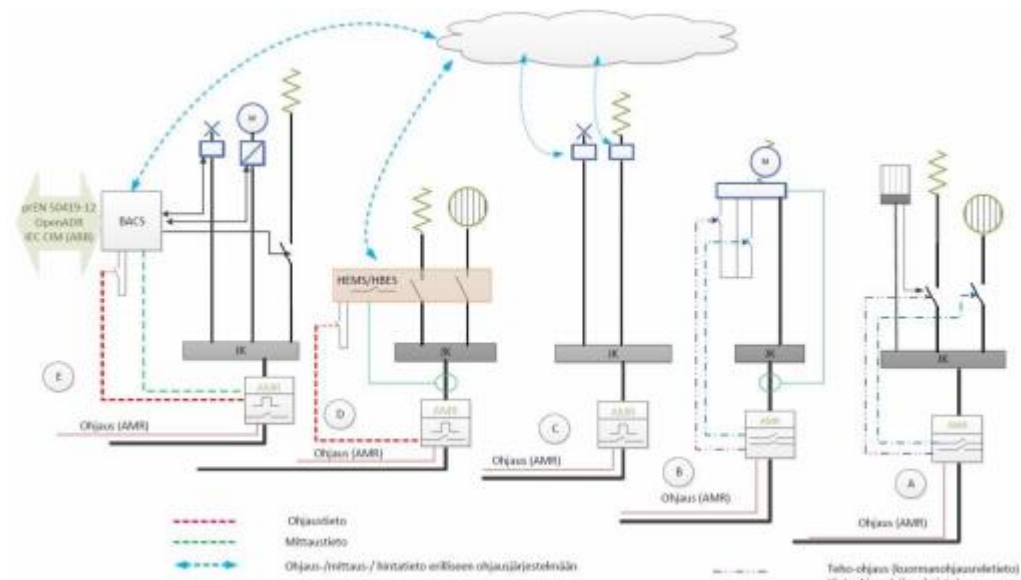
Fingrid ja Seam group Oy kokeilivat suomen suurinta pakkasvarastoa taajuusohjattuna häiriöreservinä pilottiprojektissa, joka päättyi edellisten tavoin vuonna 2015. Alussa kokeiltiin osallistumista 0,3 MW:n teholla tuntimarkkinoille. Tekninen toteutus tapahtui automaation logiikoiden avulla, joilla saadaan ohjattua koneet käymään täydellä teholla, tai alentamaan tehoa lineaarisesti taajuuden sitä vaatiessa. Ohjaussignaali logiikoille lähtee tarpeen mukaan SEAM:in pilvipalvelun kautta 10 sekunnin välein. [15.]

Pilotissa havaittiin, että pakkasvarastot soveltuvat erinomaisesti taajuusohjattuun käyttöreserviin. Kohdetta hyödynnettiin 8h vuorokausittain ilman haitallisia lämpötilan muutoksia. [15.]

4 Toteutustavat

Kuvassa 4 Järventausta ym. esittelevät kysyntäjoustop ohjaustiedon välityspäätteet:

- A) AMR -mittarin (eng. Automated Meter Reading, AMR) releiltä suoraan kuormaan.
- B) AMR -mittarin releiltä automaatiojärjestelmään, tai yksittäisille laitteille
- C) Pilvipalvelun kautta yksittäisille laitteille (eng. Internet of Things, IoT)
- D) Erillisen kotiautomaatiojärjestelmän kautta (eng. Home Energy Management System, HEMS)
- E) Kiinteistöautomaatiojärjestelmän kautta



Kuva 4. Ohjaustiedon välityksperiaatteet [4, s.20].

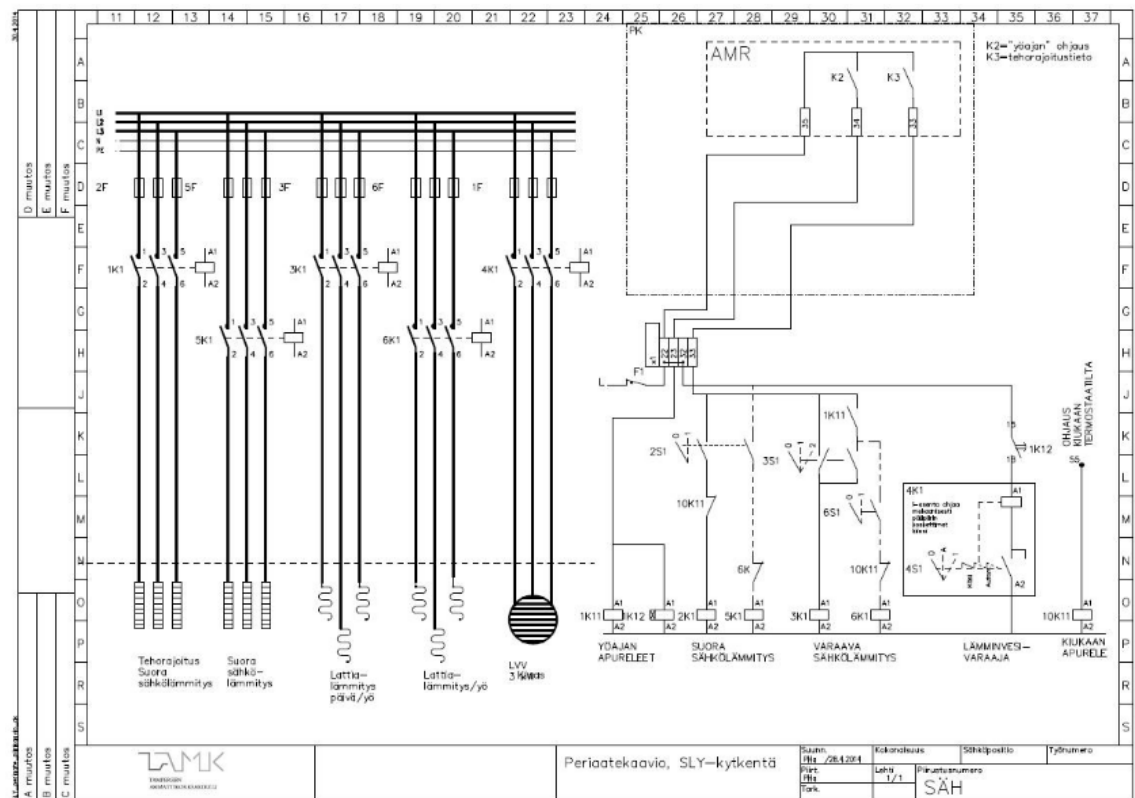
Periaatteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: AMR -mittareiden kautta toteutettaviin ja automaatiolla toteutettaviin. Tämän kappaleen tarkoituksena on tarkastella eri toteutustapojen hyviä ja huonoja puolia, hyödynnettävyyttä sekä kustannuksia.

4.1 AMR -mittarit

AMR-mittareilla voidaan toteuttaa A- ja B-vaihtoehdot. A vaihtoehdossa yksittäisiä kuormia ohjataan suoraan AMR-mittareiden aika- ja tehonohjausreleillä. B vaihtoehdossa reletieto vietään yksittäiselle laitteelle, tai automaatiojärjestelmään, joka jakaa sen laitteille.

Vaihtoehto A vastaa Sähkölaitosyhdistyksen kytkentäsuositusta- SLY/92 ja on hyödynnettävissä ilman asennusmuutoksia osassa sähkölämmitteisiä asuntoja. Kuvassa 5 on Sähkölaitosyhdistyksen kytkentäsuositus (SLY/92), josta nähdään, että mittareiden takana on ja niihin pystytään kytkemään pienillä muutoksilla paljon ohjattavaa kuormaa. Vuoteen 2014 mennessä Suomessa on vaihdettu kaikkialle AMR-mittarit. AMR-mittareiden releiden kautta on hallittavissa n.1 800 MW kuorma, joka on pääosin omakotitalojen sähkölämmitys- ja lämminvesivaarajakuormaa. [4. s.90.] Jos tehonrajoitusrele on kytketty, jatkuvatoimiset ja varaavat lattialämmitykset saadaan liitetyksi kysyntäjoustoon ilman kustannuksia kuluttajille. [4, s.126]

Aikaohjausreleiden käyttöönotto kysyntäjousta varten vaatii tietojärjestelmien standardoimista, jotta ohjaussignaalit saadaan kulkemaan ongelmitta asiakkaiden sekä sähkönyynti- ja verkkoyhtiöiden välillä. [4. s.90.]



Kuva 5. SLY-kytkentä omakotitalossa, AMR -mittari samassa keskuksessa ohjauskytkennän kanssa [4, s.340].

Nykyiset AMR-mittarit mahdollistavat tiheimmillään tuntikulutukseen pohjautuvan taseselvityksen, jonka takia kulutuksen muutoksia ei saada mitattua nopeissa ohjauksissa ja nopean ohjauksen reservimarkkinoille ei voida osallistua. [4, s.4.] AMR-mittareilla toteutettu kysyntäjousta mahdollistaa day-ahead markkinaan osallistumisen [4, s.36].

Järventaustan ym. tutkimuksessa havaittiin, että taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinan teoreettinen tuottopotentiali on Elspot-markkinaan verrattuna n. 17-kertainen. [4, s.33.] Todellisuudessa tuohon tullaan pääsemään vain harvoin, koska säädöt on tehtävä etukäteen ja tuntihintoja on vaikea ennustaa, mutta kuluttajien mukaan saamiseksi olisi

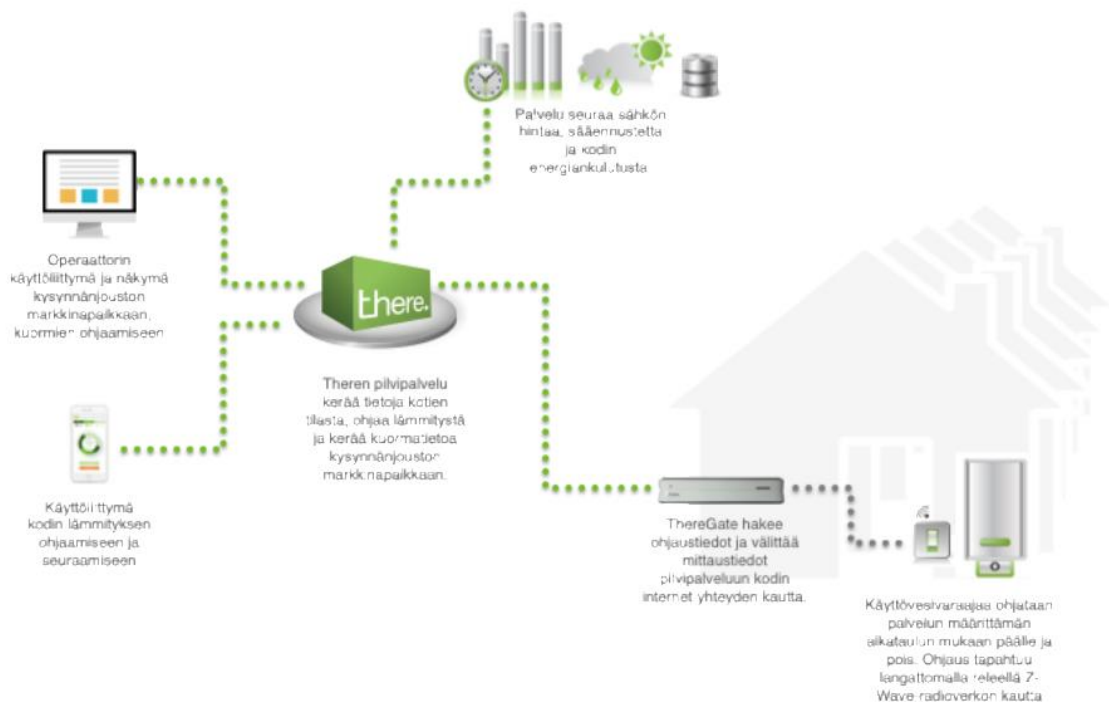
tärkeää mahdollistaa sähköntuotannon ekologisten hyötyjen lisäksi tuoton maksimoiminen.

4.2 Erilliset ohjausjärjestelmät

Vaihtoehdot C, D ja E ovat kaikki erillisen ohjausjärjestelmän pohjalle tehtyjä ratkaisuja. Vaihtoehto C kattaa HEMS-pohjaiset esineiden internetiin perustuvat vaihtoehdot. Vaihtoehdot D ja E ovat kummatkin automaatiojärjestelmiä ja täten niihin pätevät pitkälti samat asiat.

HEMS-järjestelmät tarjoavat uusissa kohteissa monipuolisia kuormanohjausmahdollisuuksia osana muita ominaisuuksia [4, s.32]. Niillä saadaan toteutettua myös älykkäitä ohjauksia liittyen esimerkiksi pientuotantoon [4 s.37].

Kuvassa 6 on esimerkki kodin HEMS-järjestelmällä toteutetusta kysyntäjoustopalvelusta. Kuvasta käy ilmi, että näin toteutettaessa verkkoyhtiön osallistumista ei tarvita [4, s.19].



Kuva 6. Esimerkki kodin HEMS-järjestelmällä toteutetusta kysyntäjoustopalvelusta [8].

Valmistajakohtaiset ratkaisut voivat olla haasteellisia ylläpitää. Pahimmissa tapauksissa laitteiden valmistaminen voidaan lopettaa ja kun standardoimattomuuden takia muiden valmistajien osia ei voida käyttää, pienikin vika tekee järjestelmän käyttökelvottomaksi. Tämä hidastaa laajempaa käyttöönottoa.

Kiinteistöautomaation tarkoituksena on toteuttaa taloteknisten järjestelmien säädöt ja ohjaukset, valvoa häiriöitä ja ilmoittaa niistä sekä tuottaa energiatehokkuus- ja olosuhdetietoja käyttäjälle yksinkertaisen käyttöliittymän kautta [17]. Kiinteistöautomaatio ohjaa usein laitteita aikaohjelmilla. Kehittyneemmissä järjestelmissä ohjaukset voidaan toteuttaa reaaliajassa mitattujen olosuhdetietojen mukaan. [4, s.146.]

Automaatio on kehittynyt viime aikoina nopeasti ja tarjoaa jo nyt huomattavasti AMR-mittareita kattavammat vaihtoehdot kysyntäjoustop toteuttamiseen [18]. Kiinteistöautomaatiolla ohjataan muun muassa valaistusta, ilmanvaihtoa, sulanapitoja, jäähdytystä, lämmitystä, autolämmityksiä sekä sähköautojen latausta [19, s.40] ja uusiin suurempiin kiinteistöihin rakennetaan hyvinkin laajoja automaatiojärjestelmiä, joihin kysyntäjoustop lisääminen vaatii vain pieniä ohjelmallisia muutoksia. [4, s.146.]

Automaatiojärjestelmällä toteuttaessa AMR-mittarin reletietoa ei tarvitse hyödyntää ja täten verkkoyhtiön osallistuminen ohjauksiin ei ole välttämätöntä. Kiinteistöautomaatiolla toteuttamiselle ei ole teknisiä esteitä. Automaatiossa, kuin myös muissa vaihtoehdoissa standardoitujen rajapintojen ja toimintamallien puuttuminen hidastaa yleistymistä. [4, s.19.]

IoT:n käyttö jo rakennetuissa asuinkerrostaloissa on havaittu haastavaksi, sillä mittari-keskukset ja mittarit, joiden kanssa esineiden tulisi kommunikoida, sijaitsevat usein kellarissa ja langattoman yhteyden kantavuudessa on havaittu haasteita. Ohjauskaapelointi jälkikäteen on työlästä ja kallista. [20.] Lisäksi IoT:stä puhuttaessa tulee varmasti monelle mieleen tietoturva. [4, s.32.] Uudisrakennuksissa ohjauskaapeloinnista tulee vain vähän lisäkustannuksia.

Kaikki yllä käsitellyt vaihtoehdot mahdollistavat osallistumisen myös reservimarkkinoille [4, s.37].

4.3 Vertailu

Jos kuormaa kytketään AMR-mittarin releiden taakse, se ei tuo uudisrakennuksissa merkittäviä lisäkustannuksia, koska mittareiden taso, joka mahdollistaa kysyntäjoustop toteuttamisen, on määritelty valtioneuvoston asetuksessa 66/2009. Ohjattavaa kuormaa on muissa kuin sähkölämmitteisissä kohteissa niin vähän, että sen kytkemistä aikaohjauks- tai tehonrajoitusreleen taakse ei ole nähty järkeväksi.

HEMS-järjestelmä erääseen n.3000 huoneistoneliömetrin asuinkerrostaloon maksoi 65 200 € investointina ja järjestelmän kuukausittainen palvelumaksu on 322 €. Kyseisessä kerrostalossa on 42 huoneistoa, jolloin huoneistokohtainen investointikustannus on n.1 550 € ja kuukausittainen palvelumaksu 8 €/huoneisto. [21.]

Erillisellä automaatiojärjestelmällä kysyntäjoustop toteuttaminen asuinkerrostaloon maksaa Fidelixin kysyntäjoustop takaisinmaksuaikalaskurin mukaan n. 35 000e. Arvio on karkea, mutta antaa hintaluokan. [16.]

IoT-pohjaiseen ratkaisuun en löytänyt hintaa, koska joko niitä ei ole toteutettu kerrostaloissa, tai tieto ei ole julkisesti saatavilla. Tulevaisuudessa IoT-pohjaiset ratkaisut ja 5G verkko tulevat todennäköisesti mahdollistamaan hyviä toteutustapoja.

Säätösähkömarkkina on selvästi kannattavin markkina kuluttajan kannalta, jos ohjaukset saadaan ajoitettua hyvin. Siinäkin Järventaustan ym. mukaan teoreettinen vuosituotto-potentiaali on noin 43 € asiakasta kohti. [4, s.70] Huomaamme heti luvut nähdessämme, että ainakaan nykyisillä ansaintamahdollisuuksilla ja järjestelmäratkaisulla kysyntäjoustop toa ei ole taloudellisesti kannattavaa toteuttaa uudiskohteissa.

Taulukossa 1 on yhteenveto kappaleen 4 päätelmistä.

Taulukko 1. Yhteenveto eri toteutustavoista ja kustannuksista.

Toteutustapa	Missä voidaan käyttää	Missä parhaimmillaan	Hintaluokka
Kiinteistöautomaatio	Kiinteistöihin	Kohteissa, joissa kattava järjestelmä jo valmiiksi ja selvittää pienillä lisäkustannuksilla	35 000
HEMS	Asuntoihin	Kohteissa, joissa kattava järjestelmä jo valmiiksi ja selvittää pienillä lisäkustannuksilla	65 000 + 350 €/kk
AMR-mittarit	Kaikkiin kohteisiin	Mittauksen ja ohjauksien pitkän vasteajan takia sähkölämmityskohteissa	5 000

5 Potentiaali Skanskan rakennuskannassa

Tässä luvussa tutkin asuinkerrostalojen potentiaalia kysyntäjousto on mittausten sekä kirjallisuuskatsauksen perusteella ja toimitilojen osalta kirjallisuuskatsauksen perusteella.

Potentiaalia määrittäessä on tärkeää tunnistaa ja ottaa huomioon käyttäjien tarpeet. Vaikka yleisiä tarpeita voidaan tutkia ja määrittää silti jokaisella käyttäjällä voi olla eri tarpeet. Tämän takia kysyntäjoustopahtumien aktivoimissäännöt tulee aina määrittää jokaisen käyttäjän kanssa erikseen ja taloudelliset joustopahtumat tulee voida aina keskeyttää. Häiriötilanteen kysyntäjousto on järkevää pakottaa läpi. Se tulee kohdistaa ennalta määritettyihin ryhmiin, joista katsotaan olevan vähiten haittaa, koska siten voidaan välttää suuremmat sähkökatkokset.

Uudisrakennuksissa kysyntäjousto on järkevää ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi ryhmittely voidaan perinteisten tapojen sijaan tehdä kysyntäjoustopahtumien mukaan. Ryhmät voidaan koostaa esimerkiksi sen mukaan, mitkä laitteet ja ryhmät voivat joustaa samaan aikaan.

5.1 Asuinrakennuksissa

Keskimäärin Suomen kaikki asuinkerrostalot tarvitsevat 0 asteen lämpötilassa yhteensä 546 MW sähkötehoa. Tilastokeskuksen mukaan Suomeen rakennetaan 717 600 m² asuinkerrostaloja vuodessa [22; 4, s.23]. Jos oletamme, että kaikissa on samankaltainen tehonkulutus, kuin mittauskohteen asunnossa 3 ja rakentaminen säilyy samanlaisena, kasvaa teho ja sitä kautta kysyntäjoustopotentiaali 121 MW vuosittain.

Skanska on mitannut asuinkerrostalosta sähkönkulutuksen pistekohtaisesti. Mittauksissa oli 6 eri huoneistotyyppiä ja pisteet jaettiin seuraaviin ryhmiin:

- kylmälaitteet
- ruoanvalmistus
- astianpesu
- pyykinpesu- ja kuivaus
- sisävalaistus
- kodin elektroniikka
- sauna
- muut

Näiden yhteenlaskettu osuus huoneiston kuormista on 76% [23, s.24]

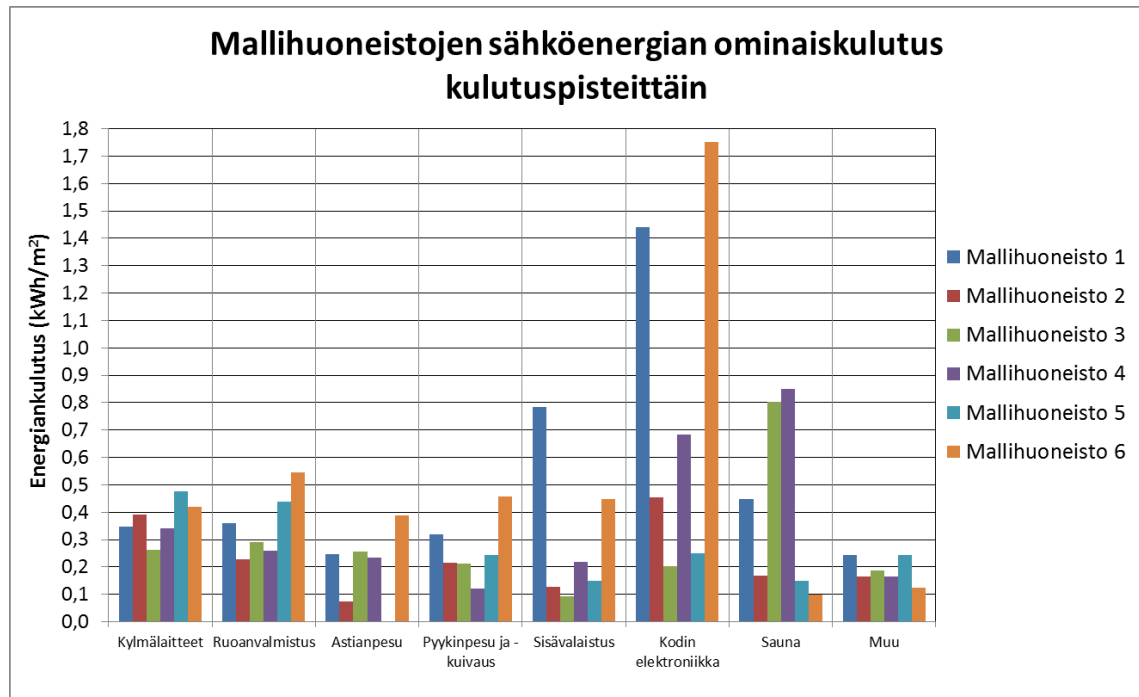
Motivan tutkimusraportista vuodelta 2013 ilmenee, että huoneistoissa sähköä käyttävät myös lämmitykseen liittyvät kuormat: [23, s.24]

- LVI-laitteet
- huonekohtainen veden lämmitys
- lattialämmitykset
- muu tukilämmitys
- huonekohtainen sähkölämmitys
- jäähdytys

Näiden yhteenlaskettu osuus huoneiston kuormista on 24% [23, s.24]

Taulukossa 2 näkyy asunnoittain pistekohtainen kulutus neliometriä kohti.

Taulukko 2. Mallihuoneistojen sähköenergian ominaiskulutus kulutuspisteittäin [21].



Taulukosta näemme, että tässä tapauksessa monessa taloudessa kodin elektroniikan käyttöön kuluu eniten sähköä. Kodin elektroniikkaa ei voida pitää potentiaalisena kysyntäjoustokohteena, koska yleisesti ottaen ihmiset tuskin haluavat muiden määrittävän peli-, tai televisionkatseluhetkiään ja etätyötä tuskin halutaan siirtää iltaan halvemman sähkön takia. Tehorajoitukseen ei ole mahdollista kovin monissa elektroniikkalaitteissa.

Azarin ym. mukaan asuinrakennusten kulutuskojeita voidaan lajitella 4 ryhmään kuorman siirrettävyyden ja vähennettävyyden perusteella.

Siirrettäviin kuormiin, jotka voidaan keskeyttää lukeutuvat: sähköauton lataus, tilajäähdytys ja lämpöpumput.

Siirrettäviin kuormiin, joita ei voida keskeyttää lukeutuvat astianpesukone, pyykinpesukone, kuivausrumpu, imuri, liesi ja mikro.

Ei siirrettäviin kuormiin, joita voidaan vähentää lukeutuvat: televisio ja tietokone.

Ei siirrettäviin kuormiin, joita ei voida vähentää lukeutuvat: valaistus, pakastin ja jääkaappi. [26.]

Kuluttajan kuormien siirtämisessä on kuluttajan motivaation oltava korkealla, koska suurin osa kuormista on sellaisia, että ohjauksen jälkeen vaaditaan kuluttajalta normaalista poikkeavia toimenpiteitä. Jos kuluttaja laskee itselleen tuntipalkkaa toimenpiteistä, se laskee taloudellista kannattavuutta entisestään. Kerrostaloissa kiinteistön kuormat soveltuvat parhaiten kysyntäjoustoon.

Ilmanvaihtokoneiden puhallinmoottoreissa arvellaan olevan jonkun verran potentiaalia kysyntäjoustoa ajatellen. Puhaltimien kierrosnopeutta on helppo säätää sekä taajuusmuuttajaohjatuissa, että EC-puhallinmoottoreilla varustetuissa järjestelmissä. Ilmanvaihdon hyödyntäminen vaatii kuitenkin sisäilman laadun reaaliaikaista mittaamista. Jos reaaliaikainen mittaus ja säätö toteutetaan, se voi poistaa potentiaalin, kun niiden myötä säädöt voidaan pitää koko ajan optimaalisina. Häiriötilanteissakaan ilmanvaihto ei taida olla ensimmäisenä joustamassa, jos se on mitoitettu oikein. Jos tuotantoa on liikaa ja kulutusta on nostettava, voidaan ilmanvaihtoa hyödyntää. Hajautetun automaation mahdollisuus tulee huomioida ilmanvaihdon kysyntäjouston toteutusta suunniteltaessa. [4, s.141]

Jos kuluttajien osallistuminen häiriötilanteiden kysyntäjoustoon nähdään tarpeellisena, on varmasti mahdollista määrittää kuormat, jotka väistävät ensisijaisesti. Suurimman osan mielestä on varmasti järkevämpää leikata kuormia tärkeysjärjestyksessä ja usein estää suurempi sähkökatko. Tämänkin toteuttamiseen tarvitaan myös kuluttajapuolelle taloudellisia ajureita.

Loppupäätelmänä päädyin samaan, kuin Järventausta ym.: kerrostaloissa suurimman ohjattavan tehon muodostavat sähköautojen lataus ja autojen lämmitys, saunat ja lämmitykset [4, s.122].

5.2 Toimitiloissa

Olettaen, että rakentaminen pysyy edellisten vuosien tasolla, Suomeen rakennetaan vuosittain toimitilarakennuksia 14 841 880 m² [24]. Jos rakennusten kysyntäjousta var-
ten potentiaalinen neliöteho on samaa luokkaa kuin Järventaustan ym. arvioissa, tulee
kysyntäjousta potentiaalinen kuorma kasvamaan 393 MW vuosittain.

Toimitila- ja palvelukiinteistöissä sähkötehot vaihtelevat rakennuskohtaisesti enemmän
kuin asuinrakennuksissa ja arviot ovat vielä enemmän suuntaa antavia [24, s.27]. Ohjat-
tavaa potentiaalia voidaan tarkastella järjestelmä- ja laitekohtaisesti. Suurimmat sähkö-
kuormat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Arvio liike-, toimisto- ja opetusrakennusten sähkötehoista [24, s.27].

	Rakennusla, 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

Ilmanvaihtokoneiden puhallinmoottoreissa arvellaan olevan jonkun verran potentiaalia
kysyntäjousta ajatellen. Puhaltimien kierrosnopeutta on helppo säätää sekä taajuus-
muuttajaohjatuissa, että EC-puhallinmoottoreilla varustetuissa järjestelmissä. Ilmanvaihd-
on hyödyntäminen vaatii kuitenkin sisäilman laadun reaaliaikaista mittaamista. Jos rea-
aliaikainen mittaus ja säätö toteutetaan, se voi kuitenkin poistaa potentiaalin, kun sää-
döt voidaan pitää koko ajan optimaalisina. Häiriötilanteissakaan ilmanvaihto ei taida olla
ensimmäisenä joustamassa. Hajautetun automaation mahdollisuus tulee huomioida il-
manvaihdon kysyntäjousta toteutusta suunniteltaessa. [4, s.141.]

Jäähdytyksen toteutustavat vaihtelevat paljon rakennuskohtaisesti ja yleispätevästi voi-
daan sanoa vain, että keskitetyt tilajäähdytykset ovat kysyntäjousta kannalta potentiaa-
lisimpia [4, s.146].

Valaistus soveltuu kysyntäjoukseen erityisen hyvin kohteissa, joissa on osoitteellinen valaistuksenohjausjärjestelmä. Tällöin voidaan ohjata juuri tiettyjä valaisimia, esimerkiksi tiloissa, joissa ei suoriteta ensisijaisia työtehtäviä sekä määrittää esimerkiksi eri kellonajoille eri valaisimet ohjattaviksi. Väyläohjatuissa järjestelmissä tehon rajoittaminen on mahdollista täysin portaattomasti. Ihminen havaitsee valaistuksenmuutokset logaritmisesti ja esimerkiksi 30% muutos valaistusvoimakkuudessa, muutaman kymmenen sekunnin siirtymäajalla toteutettuna, ei ole silmiinpistävä. [4, s.143.]

Päälle/ pois -kytkentäisillä valaisimilla taloudelliseen kysyntäjoukseen osallistuminen on käytännössä vaikeaa. Järkevällä vaiheistamisella voidaan valaisimia sammuttaa kolmen välein, mutta tällöin valaistuksen laatu kärsii varsinkin paikoittain huomattavasti enemmän, kuin portaattomalla säädöllä. [4, s.143.]

Muut kuormat on kysyntäjoukseen kannalta järkevää ryhmitellä sopiviin ryhmäkokonaisuuksiin.

Järventausta ym. ovat arvioineet erilaisten kuormien tehoja, ohjattavuutta ja teho-ohjausten vaikutuksia kuormiin taulukoissa 4 ja 5 [24]. Taulukoista nähdään, että valaistuksessa on selvästi suurin kuorma. Valaistus etenkin väyläohjauksella soveltuu erinomaisesti kysyntäjoukseen.

Taulukko 4. Arvioita sähkötehoista ja ohjausmahdollisuuksista [24, s.30].

Ohjattavat kuormatyypit	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 ulkovaalaistus	?														
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		

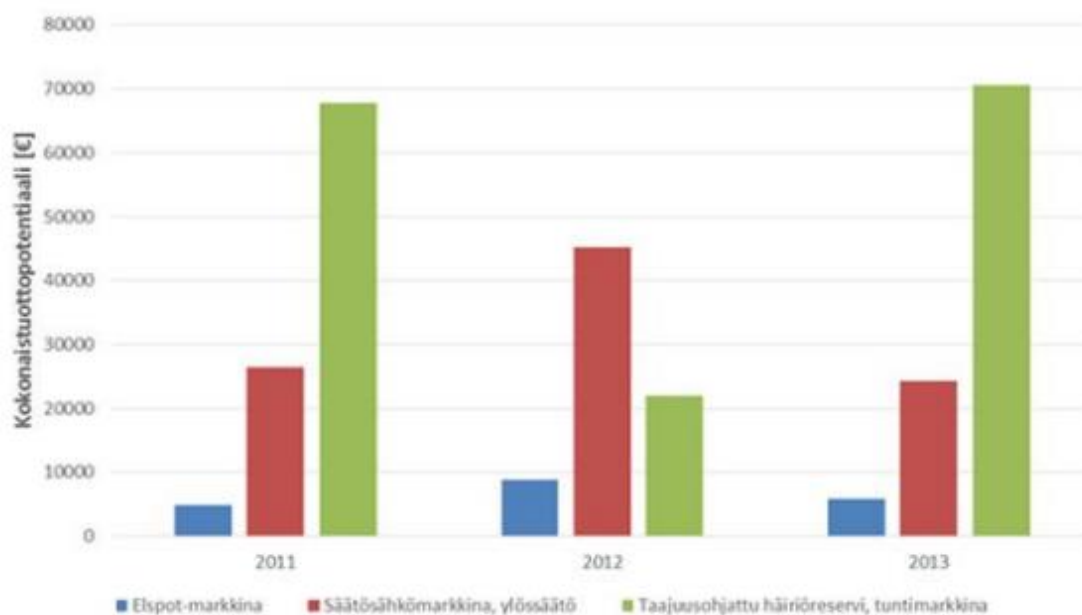
Taulukko 5. Arvioita teho-ohjauksen vaikutuksista. [24, s.31]

Ohjattavat kuormatyypit	Ohjauksen vaikutus		Ohjauksen määkestä				Ohjauksen esto- aika / palautus- aika	ohjauk- sia/vrk	Lämpötila- riippuvuus		Vaste ohjaukselle I = välkön, II = vivettä III = hidas	Olemassa oleva	Uusissa kohteissa ohjatta-vissa	Vaikutus käyttäjälle "näkyvät- tömyys"	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	
Sulapito	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			II		x	ei	
Ilmalämpöpumput				x			2 h	5	x		I		x	ei	
Lisäastukset (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		I	osittain	on	ei haittaa	
vesipumppaamot															
Sähkölämmittimet	x			x			2 h	5	x		I	On	x	lievää haittaa	
Lämmivesivaraaja	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	
Sähkökylä	x			x			1 h	3		x	I	On	On	lievä haitta	Takaisin- kytk. käsin

5.3 Vertailu

Taulukossa 6 on eri markkinoiden teoreettisia vuosituottopotentiaaleja. Teoreettinen tuottopotentiaali on käytännössä vaikea saavuttaa muissa paitsi Elspot-markkinassa. Elspot-markkinan hinnat on tiedossa etukäteen. Muissa markkinoissa täyden hyödyn irti saaminen vaatisi kalleimpien ja halvimpien tuntien ennustamista ja ohjauksen ajoittamista optimaalisesti niille. [4, s.69.]

Taulukko 6. Eri markkinoiden vuotuinen tuottopotentiali 1 MW:n ohjattavalle kuormalle. [4, s.33]



Joustopotentiaali on aina rakennuskohtainen ja monien asioiden summa, mutta esimerkiksi vuoksi laskemme sekä asuinkerrostalolle, että toimistorakennukselle joustopotentiaalin ja kuvan 6 perusteella teoreettisen tuottopotentialin.

Taulukon 3 mukaan toimistorakennuksen sähköteho on keskimäärin n. 46,8 kW. Kysyntäjoustoon tästä voidaan tarjota vain pieni osa. Käytetään laskennassa Leed-ympäristösertifikaatin vähimmäisvaatimusta 10 %. Tällöin keskimäärin toimistorakennuksen vuosituotto eri markkinoissa on:

- Elspot-markkinassa 2,34 €
- Säättösähkömarkkinassa ylössäätönä 13,10 €
- Taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinassa 31,82 €

Järventaustan ym. mukaan asuinkerrostalojen keskimääräinen sähköteho 0 °C lämpötilassa yhteensä on 546 MW [4, s.86]. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa on 61 475 asuinkerrostaloa [22]. Tällöin keskimääräinen sähköteho rakennusta kohti on 8,9 kW. Tämä sähköteho voidaan tarjota markkinoille samalla 10 % jousto-osuudella. Tällöin keskimääräinen vuosituotto eri markkinoissa on:

- Elspot-markkinassa 0,44 €
- Säätosähkömarkkinassa ylössäätönä 2,49 €
- Taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinassa 6,04 €

6 Hyödyt eri osapuolille

Tässä kappaleessa pyrin arvioimaan hyötyjä eri osapuolille.

Hyötyjen arvioiminen on vaikeaa, koska ennen kysyntäjoustop yleistymistä on vielä monia ratkaistavia asioita. Hyötyihin vaikuttavat muun muassa kysyntäjoustopon liitettävät laitteet ja ryhmät, ohjaukseen käytettävät järjestelmät, sekä mille markkinoille kysyntäjoustopon päädytään tarjoamaan. [4, s.43.]

6.1 Urakoitsijoille

Automaatiourakoitsijoilla on mahdollisuus keikkahintojen nousuun ja sitä kautta myös liikevoiton kasvuun. Sähköurakoitsijan hintoihin tällä ei ole yhtä suurta merkitystä, vaikka yleinen käytäntö onkin, että sähköurakoitsija toteuttaa kaikki kaapeloinnit.

Suuremmat urakoitsijat, jotka myyvät itse asuntoja, voivat hyödyntää kysyntäjoustopon ja järjestelmiä, joilla kysyntäjoustopon toteutetaan asuntojen markkinoinnissa. Mahdollisia markkinointinäkökulmia ovat ainakin ekologisuus, kulutuksen seuranta ja teknologian tuomat muut mahdollisuudet.

6.2 Tilaaajille

Tilaaajan tarkoituksena on usein myydä tai vuokrata rakennusta. Myyntiä ja vuokrausta edesauttaakseen voidaan kohteita markkinoida myös kysyntäjoustopuolella ja järjestelmien tuomien etujen kautta. Mahdollisia markkinointinäkökulmia ovat ainakin ekologisuus, kulutuksen seuranta ja teknologian tuomat muut mahdollisuudet.

Lisäksi ympäristösertifikaateissa jaetaan pisteitä kysyntäjoustopuolelta toteuttamisesta. Ympäristösertifikaatit ovat tärkeä osa markkinointia ja monissa tapauksissa jopa vaatimus uusissa rakennuksissa. Esimerkiksi Leed-ympäristösertifikaatin sähkön kysyntäjoustopuolelta vaatimukset on mahdollista täyttää täysin pistein siirtämällä huipputeho pysyvästi eri ajankohtaan kuin energiayhtiön kulutuspiikit, tai liittymällä vähintään vuodeksi ulkopuolisen tarjoajan kysyntäjoustopuolelle ja laskemalla sähkötehoarvoa vähintään 10% laskennallisesta huipputehosta. [25].

6.3 Loppukäyttäjille

Oletuksesta poiketen taloudellista hyötyä kysyntäjoustopuolelta ei näillä näkymin rakennusmittakaavassa ole. Yksittäisen rakennuksen ohjattavan kuorman ja vaadittavan laitteiston suhde on kannattamaton. Olemassa olevaa mahdollisuutta AMR-mittarien kautta toteutettavaan ohjaukseen kannattaa hyödyntää kohteissa, joissa on varaava sähkölämmitys.

Loppukäyttäjän hyöty kysyntäjoustopuolelta jää energian säästöön, teknologian mahdollistamiin muihin ominaisuuksiin ja ekologisuuteen. Älyjärjestelmän mukana voidaan saada järjestelmästä riippuen toiminnallisuuksia, kuten: saunan etäkäynnistys, muiden pisteiden etäohjaus (joka mahdollistaa esimerkiksi kahvinkeitin tai liedon poiskytkennän varmistamisen ilman kotiin palaamista) ja energiankulutuksen seuranta pistekohtaisesti.

Järventaustan ym. mukaan hyötyjä ovat: sähkön käyttö edullisen hinnan aikana, huipputehon lasku, uudiskohteissa liittymäkoon rajoittaminen ja olemassa olevissa mahdollisesti liittymäkoon pienentäminen [4, s.25.] Liittymäkoon pienentäminen tuskin on ajankohtaista sähköautojen yleistymistä odotellessa. EU:n uusille autoille asettamat autokohtaiset päästövaatimukset varmistavat sähköautojen yleistymisen lähitulevaisuudessa.

Lisäksi pientuottaja tai vähittäismyyjä voi edellisten lisäksi hyödyntää kaiken tuottamansa sähkön ja täten vähentää ostosähkön määrää. Tämä on erityisen hyödyllistä, koska verkkoon myydystä sähköstä kuluttaja saa korvauksen ainoastaan sähköenergian osalta, mutta ostetussa sähkössä energian lisäksi maksetaan sähkön siirrosta sekä sähkövero. [4, s.25.]

6.4 Sähköverkkoyhtiöille

Kantaverkkoyhtiölle kysyntäjousto tuo uusia mahdollisuuksia tehtasapainon hallintaan ja taajuuden säätöön, sekä oikeilla kannustimilla ohjattuna joustavuutta huipputehontarpeeseen. Valtakunnallisen markkinahinnan mukaan ohjattaessa voi huipputeho tietyn verkkoyhtiön alueella kasvaa. [4, s.24; s.171.]

Jakeluverkkoyhtiöt voivat hyödyntää kysyntäjoustoja suunnittelussa mitoitustehon näkökulmasta, sekä poikkeustilanteiden huipputehon hallinnassa [4, s.24].

6.5 Sähkönmyyjille

Sähkönmyyjät voivat hyödyntää kysyntäjoustoja sähkön hankinnan suunnittelussa, säätösähkömarkkinoiden tarjouksissa, taseen hallinnassa sekä uusien tuotteiden ja liiketoimintansa kehittämisessä [4, s.24].

Kysyntäjousto toimii työkaluna sähkön hankinnan suojausten varmentamiseen ja suunnitteluun. Kun myyjällä on tarpeeksi joustoressursseja pitkän aikavälin suojausta voidaan pienentää, tai suojausten tasoa varmentaa [4, s.45].

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää kysyntäjoustopon hyödyntämismahdollisuuksia Skanskan asuntotuotannossa. Aiheen valitsin suunnittelujohtaja Pellervo Matilaisen ehdottamista ajankohtaisista vaihtoehdoista mielenkiintoisimpana. Työ rajattiin koskemaan asuntotuotantoa. Rajaus ei pitänyt kokonaan, sillä kirjoitin hieman myös toimitiloista.

Työn kuluessa huomasin, että taloudellinen potentiaali muissa kuin sähkölämmitteisissä kohteissa on liian pieni toimiakseen eteenpäin vievänä voimana. Uudisrakennuksissa ei nykyään käytetä sähkölämmitystä päälämmitysmuotona juuri lainkaan, koska se alentaa rakennuksen E-lukua todella paljon. Häiriötilanteiden kysyntäjoustoja varten asunnoissa on potentiaalia, mutta siinäkin taloudellinen kannattavuus on heikkoa ja asumismukavuus kärsii. Toisaalta jos säätövaraa löytyy ja asumismukavuus ei kärsi kannattaa laitteet säätää toimimaan jatkuvasti alimmalla hyväksyttävällä tasolla, jolloin kysyntäjoustopotentiaali poistuu, mutta energiankulutus vähenee.

Mielestäni täytin insinööriyön tavoitteen, vaikka tulos ei olekaan hyödyntämisen kannalta toivottu. Tilanne saattaa muuttua, jos esimerkiksi energiayhtiöiden tarve kysyntäjoustoille kasvaa, joustosta maksettavat hyvitykset kasvavat ja järjestelmät halpenevat. Jos sähkön kysyntäjousta jaettavat pisteet ovat ratkaisevassa osassa sertifikaatin saamiseksi, sitä voisi olla hyödyllistä tutkia lisää. Toinen asia, joka ei vaadi laajempia tutkimuksia, mutta voisi olla järkevää kysyä laitteistojen toimittajilta, on rakennettavien rakennusten koti- ja kiinteistöautomaation kysyntäjoustoja lisäämisen mahdollisuudet ja lisäämisestä aiheutuvat kustannukset. Skanskan kannalta en näe muita järkeviä jatko-tutkimuskohteita asuinkerrostalojen kysyntäjoustoja osalta.

Kysyntäjousto aiheena on osa älykästä sähköverkkoa ja älykkään sähköverkon kehittämisessä on muita asioita, joita tutkitaan ja tullaan varmasti tutkimaan ja kehittämään tulevaisuudessa. Esimerkiksi sähköautojen latausta hyödynnetään ja tullaan hyödyntämään huipputehon rajoittamisessa. Sähköautojen akku ja laturiteknologiaa pyritään kehittämään, jotta virtaa voitaisiin syöttää verkkoon päin ja tässäkin aiheessa riittää tutkimista. Jos akkuteknologia kehittyy ja sähkön varastointi muuttuu järkevämmäksi, voidaan pienemmän kysynnän aikana varastoida energiaa myös sähkövarastoihin suuremman kysynnän tarpeisiin.

Skanska voi hyödyntää työn tuloksia suoraan. Jatkossa tiedetään, mihin tämän hetkisillä markkinoilla kannattaa keskittyä. Tulokset ovat yleistettävissä kaikille asuinkerrostaloja rakentaville yrityksille.

Lähteet

- 1 Skanska lyhyesti. 2019. Verkkoaineisto. Skanska Oy. <<https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/skanska-lyhyesti/>> 11.2.2019. Luettu 23.9.2020.
- 2 Skanska Talonrakennus Oy. 2020. Verkkoaineisto. Fonecta. <<https://www.finder.fi/Talonrakennus/Skanska+Talonrakennus+Oy/Helsinki/yhteystiedot/495380>> 23.9.2020
- 3 Skanskan historia. 2019. Verkkoaineisto. Skanska Oy. <<https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/historia/>> 12.3.2019. Luettu 23.9.2020
- 4 Järventausta, Pertti; Repo, Sami; Trygg, Petri; Rautiainen, Antti; Mutanen, Antti; Lummi, Kimmo; Supponen, Antti; Heljo, Juhani; Sorri, Jaakko; Harsia, Pirkko; Honkiniemi, Martti; Kallioharju, Kari; Piikkilä, Veijo; Luoma, Jaakko; Partanen, Jarmo; Honkapuro, Samuli; Valtonen, Petri; Tuunanen, Jussi & Belonogova, Nadezda. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- 5 Kysyntäjouaston liiketoimintamallit ja toimijoiden roolit. 2016. Verkkoaineisto. Pöyry. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/tki-toiminta/raportit/kysyntajousto-roolit-alustus-poyry-2016_10_19-alyverkkotyoryhma.pdf> 27.10.2016. Luettu 5.11.2020
- 6 Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them. 2006. Verkkoaineisto. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_Benefits_of_Demand_Response_in_Electricity_Markets_and_Recommendations_for_Achieving_Them_Report_to_Congress.pdf> 2/2006. Luettu 26.9.2020
- 7 Ollikka, Kimmo. 2017. Miten sähkömarkkinat toimivat. <<http://smartenergytransition.fi/fi/miten-sahkomarkkinat-toimivat/>> 12.5.2017 Luettu 4.10.2020.
- 8 Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat. Verkkoaineisto. Fingrid. <[https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatosahko--ja-saatosahkon-hinnoittelu](https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatosahko--ja-saatosahko--ja-saatosahkon-hinnoittelu)> Luettu 2.10.2020
- 9 Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattukaytto--ja-hairioreservi/>> Luettu 2.10.2020
- 10 Frantti, Anneli. 2016. Aina valmiina – varavoima. Fingrid-lehti.

- 11 Kysyntäjousto. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pilottihankkeita/kysyntajousto/#kysyntajouston-projektit>> Luettu 28.9.2020
- 12 Kysynnäjousto pilottiprojektin loppuraportti. 2016. Verkkoaineisto. There. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/kysynnajouston-pilottiprojekti-loppuraportti-julkinen.pdf>> 15.2.2016. Luettu 29.9.2020
- 13 S-ryhmän kysyntäjoustoprojekti – loppuraportti. 2015. Verkkoaineisto. SOK. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/kysyntajoustoprojekti-s-ryhmassa-loppuraportti.pdf>> 9.12.2015. Luettu 29.9.2020
- 14 Hietaoja, Juha. 2015. Varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla. Verkkoaineisto. Enegia. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/vv_pilotti_raportti_enegia_05_2015_julkinen_versio.pdf> 25.5.2015. Luettu 30.9.2020
- 15 Pakkasvaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi häiriöreserviksi. 2015. Verkkoaineisto. Seam Group. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/loppuraportti-julkisen.pdf>> Luettu 2.10.2020
- 16 Kysyntäjouston takaisinmaksuaikalaskuri. 2020. Verkkoaineisto. Fidelix. <<https://www.fidelix.fi/kysyntajousto/>> Luettu 28.10.2020
- 17 Härkönen, Pentti; Liedes, Riikka; Mikkola, Juhana; Piikkilä, Veijo; Pusa, Kari; Sahala, Antti; Sahlsten, Toivo; Sandström, Börje; Sirviö, Arto; Spangar, Tapani; Sulku, Jukka. 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo.
- 18 Hagström, Markku; Karttunen, Ville; Vanhanen, Juha; Vehviläinen, Iivo. 2016. Uudet teknologiat ja toimintatavat – KV11 tutkimus- ja kehityshanke. Verkkoaineisto. Gaia consulting. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13009846/Raportti-uudet-teknologiat-ja-toimintatavat-KV11.pdf/6bc0371d-d544-0eec-8f15-a68992cf6f03/Raportti-uudet-teknologiat-ja-toimintatavat-KV11.pdf>> Luettu 21.10.2020
- 19 Nortio, Jukka. 2019. Kasvihuoneet tasaavat sähköjärjestelmän häiriöitä. Fingrid-lehti.
- 20 Heiskanen, Eva; Matschoss, Kaisa; Saastamoinen, Mika. 2012. Asiakkaan näkökulma älykkään sähköverkon lisäarvoon. Kuluttajatutkimuskeskus.
- 21 Mäki, Juuso. 2013. Asuinkerrostalon energiankulutuksen hallinta älykkään asukasportaalin avulla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Trepo-tietokanta.

- 22 Tarkoma, Jari. 2019. Verkkoaineisto. Asunnot ja asuinolot- yleiskatsaus 2018. Suomen virallinen tilasto (SVT). https://www.stat.fi/til/asas/2018/01/asas_2018_01_2019-10-10_kat_001_fi.html 10.10.2019. Luettu 20.10.2020
- 23 Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. 2013. Verkkoaineisto. Motiva, <https://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_Tutkimusraportti.pdf> 26.2.2013. Luettu 24.10.2020
- 24 Kysynnänjoston loppuraportin tiivistelmä. 2015. Verkkoaineisto. <<http://vaasanseutu.fi/app/uploads/sites/7/2015/08/Kysynn%C3%A4n-jousto.pdf>> Luettu 22.10.2020
- 25 Rantanen, Paula; Hiltunen, Kari; Mero, Johanna; Tähtinen, Lauri; Nopanen, Silja; Kovanen, Mika; Huynh, Vinh Phuc. 2017. Verkkoaineisto. Kaukoenergia kiinteistöjen ympäristöluokituksissa. <https://energia.fi/files/2096/Kaukoenergia_rakennusten_ymparistoluokituksissa_Loppuraportti.pdf> 10.11.2017. Luettu 29.10.2020
- 26 Azar, Ahmad Taher. 2015. Chaos Modeling and Control Systems Design. Springer International Publishing.