

Energiamurroksen ennakoidut vaikutukset 2030: Kysynnänjousto- järjestelmät

Tero Ahonen
Samuli Honkapuro



Energiamurroksen ennakoidut vaikutukset 2030: Kysynnänjoustojärjestelmät

Tero Ahonen
Samuli Honkapuro

Smart Energy Transition -hanke

www.smartenergytransition.fi

Aalto-yliopiston julkaisusarja

CROSSOVER 6/2017

© Tero Ahonen, Samuli Honkapuro

ISBN 978-952-60-7283-8 (pdf)

ISSN-L 1799-4950

ISSN 1799-4950 (painettu)

ISSN 1799-4969 (pdf)

www.smartenergytransition.fi

Unigrafia Oy

Helsinki 2017

Smart Energy Transition -hanke (293405) kiittää Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvostoa hankkeen mahdollistamisesta ja tukemisesta.

Tekijä

Tero Ahonen & Samuli Honkapuro

Julkaisun nimi

Energiamurroksen ennakoitut vaikutukset 2030: Kysynnänjoustojärjestelmät

Julkaisija Kauppakorkeakoulu**Yksikkö** Johtamisen laitos**Sarja** Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER 6/2017**Tutkimusala** Energiatutkimus**Kieli** Suomi**Tiivistelmä**

Tämä julkaisu liittyy Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (www.smartenergytransition.fi).

Kysyntäjoustojärjestelmät ovat olennainen osa nykyisiä sähköverkkoja Pohjoismaissa. Energia-alan murros on johtamassa hajautettujen ja tuotannoltaan vaihtelevien energialähteiden lisääntyvään osuuteen energiajärjestelmässä, jolloin joustavasta kulutuksesta on tulossa entistä tärkeämpi osatekijä järjestelmässä ja potentiaalinen vientiratkaisu alan toimijoille.

Tässä teemapaperissa annetaan esimerkkejä palveluista, joiden avulla yksityisetkin kuluttajat voivat automaattisesti osallistua kysyntäjoustomarkkinoille. Jotta kysyntäjoustojärjestelmistä voisi tulla merkittävä osa 2030-luvun energiajärjestelmää Suomessa, uusien laitteiden sekä rakennusten tulisi omata tekninen valmius kysyntäjoustopalveluiden hyödyntämiseen. Lisäksi kysyntäjoustopalveluiden tulisi olla helposti ymmärrettäviä, jotta esimerkiksi taloyhtiöt sekä lämmitysjärjestelmien uusijat saadaan kiinnostumaan niiden käyttämisestä.

Avainsanat energia, älykäs energia, energiamurros, kysyntäjousto, kysynnänjousto, sähkö, sähkömarkkinat

ISBN (painettu)	ISBN (pdf) 978-952-60-7283-8	
ISSN-L 1799-4950	ISSN (painettu) 1799-4950	ISSN (pdf) 1799-4969
Julkaisupaikka Helsinki	Painopaikka Helsinki	Vuosi 2017
Sivumäärä 13		

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Kysyntäjoustopalveluiden rooli sekä merkitys tämänhetkisessä energiasystemissä ..	1
2.1 Tämänhetkisiä kysyntäjoustopalveluita ja -järjestelmiä	2
3 Kysyntäjoustopalveluiden merkitys Suomessa 2030-luvulla	3
4 Linkittyvät teknologiat ja potentiaaliset toimijat	4
5 Kysyntäjoustopalveluiden yleistymistä edistävät toimenpiteet	5
6 Energiamurroksen tuomat mahdollisuudet ja epävarmuudet	6
Yhteenveto	7
Lähteet	8

1 Johdanto

Smart Energy Transition (SET) on Suomen Akatemian rahoittama tutkimushanke, jossa tutkitaan globaalin energiamurroksen vaikutuksia Suomeen. SET-hanke järjesti keväällä 2016 asiantuntijakyselyn ja -työpajan, joilla kartoitettiin energiamurrokseen liittyvien teknologioiden ennakoitua kehitystä ja käyttöönottoa Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Kaksikierrokseen kyselyyn kutsuttiin mukaan yli 250 energia-alan asiantuntijaa, siihen osallistui noin 60 henkeä, ja tulosten pohjalta kesäkuussa 2016 järjestettyyn työpajaan osallistui noin 40 henkeä. Yksi työpajan pääteemoista oli kysyntäjousto ja sen edistämismahdollisuudet Suomessa. Teemaa sivuttiin muissakin työpajan teemapöydissä, sillä kysyntäjoustolla on tärkeä rooli sekä nykyisessä että tulevaisuuden energiajärjestelmissä.

Seuraavassa esitellään kysyntäjouston hyödyntämismahdollisuuksia, tämänhetkisiä sovellusesimerkkejä ja työpajakeskusteluun osallistuneiden näkemyksiä kysyntäjoustoedistävästä toimenpiteistä ja ratkaistavista asioista.

2 Kysyntäjouston rooli sekä merkitys tämänhetkisessä energiajärjestelmässä

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan perinteisesti energiankulutuksen pienentämistä, jotta energiajärjestelmän vaatima tuotannon ja kulutuksen välinen tasapaino saadaan pidettyä yllä. Kysyntäjoustojärjestelmät ovat olennainen osa nykyisiä sähköverkoja Pohjoismaissa, missä talvipakkasten aikainen sähkönkulutus vaatii varavoimaloiden käyttöä. Lisäksi esimerkiksi Suomen kantaverkkoyhtiö Fingridillä on erilaisia käyttö- ja häiriöreservejä, joita käynnistetään tarpeen mukaan.

Energia-alan murros on johtamassa hajautettujen ja tuotannoltaan vaihtelevien energialähteiden lisääntyvään osuuteen energiajärjestelmässä. Tämä muuttaa perinteistä asetelmaa, jossa tuotannon ja kulutuksen välistä tasapainoa, eli sähköverkon taajuutta, on pidetty yllä säätelemällä tuotannon määrää kulutuksen mukaan. Koska perinteisten voimalaitosten korvautuminen tuuli- ja aurinkovoimaloilla pienentää energiajärjestelmän inertiaa, tulee myös kulutuksen ohjaamisesta entistä tärkeämpää vika- ja huippukulutustilanteiden yhteydessä. Mikäli aurinkovoimala on varustettu akuilla tai muulla energianvarastointijärjestelmällä, kysyntäjoustojärjestelmän tehtävänä voi olla myös oman tai muuten verkossa olevan ylimääräisen tuotannon hetkellinen varastointi verkon tasapainon ylläpitämiseksi.

Suomessa kotitalouksien kysyntäjoustopotentiaalia on tarkasteltu muun muassa sähkölämmitteisten rakennusten osalta. Fortumin (2016) esittämä arvio sähkölämmitysjärjestelmien kysyntäjoustopotentiaalista on vähintään 300 MW, ollen kolmisen prosenttia tuntitason tehontar-

peesta. Järventaustan tutkimusraportissa (2015) on lisäksi tuotu esille yö/päiväsähköä käyttävät lämmitysjärjestelmät (n. 1 000 MW) sekä kuormanohjausreleeseen kytketyt kuormat (n. 1 000 MW), jotka voisivat myös osallistua kysyntäjoustopäätöksiin. Koska Suomen sähkönkulutus on talvikaudella 10 000-15 000 MW luokkaa, nämä luvut osoittavat kysyntäjoustopotentiaalista roolia osana jo tämänhetkistä energijärjestelmää.

2.1 Tämänhetkisiä kysyntäjoustopalveluita ja -järjestelmiä

Suomessa kysyntäjoustopalvelut ovat perinteisesti nähtävissä Fingridin erilaisina reservinä (varavoimainoina, teollisuuslaitosten säädettävänä kuormina jne.), joita käytetään tarpeen mukaan. Vuonna 2014 Fingridin aloittamassa kysyntäjoustopilottiprojektissa testattuja reservejä olivat mm. suuri pakkasvarasto, pienten varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien verkko sekä hypermarkettien LVI-järjestelmät (Fingrid 2014).

Yksityisasiakkaille kysyntäjoustopalvelut ovat tutuimpia kotien sähkölämmitysjärjestelmistä, joiden ohjaus sähkön tuntitason hinnan perusteella on tullut mahdolliseksi digitalisaation ja etäluettavien sähkömittareiden ansiosta. Esimerkkeinä Fortumin Fiksu-palvelu sekä Cleworksin Clebox-kodinohjausjärjestelmä perustuvat erillisiin ohjausyksiköihin, jotka käyttävät lämmitysvaraajaa edullisimpien tuntien aikana: nämä ovat teknisesti valmiita ratkaisuja toimimaan osana esimerkiksi Fingridin taajuusohjattua käyttöreserviä (eli jatkuvaa verkkotaajuuden säätöä), mistä osoituksena on Fortumin pilottiprojekti, jossa joukko sähkölämmitteisiä kotitalouksia muodostaa 100 kW:n virtuaalivoimalaitoksen (Fortum 2016a).

Virtuaalivoimalaitoksen toimitussuhteet

Esimerkki



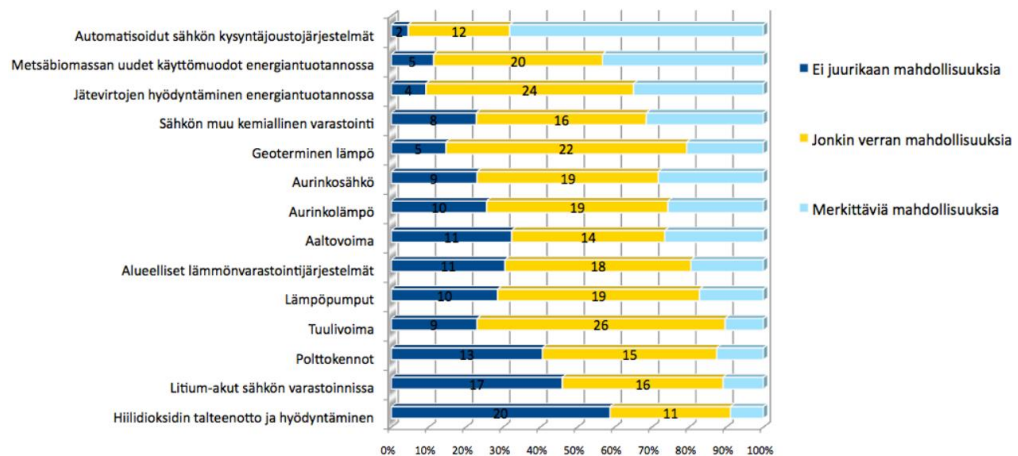
Kuva 1. Fortumin pilotti, jossa 100 kW:n kysyntäjoustopalvelu koostuu joukosta sähkölämmitteisiä koteja (Fortum 2016a).

Vastaavanlaista kysyntäjoustopilotoita toteutetaan myös kaukolämpöjärjestelmissä Espoon ja Keski-Uudenmaan alueilla antamalla kaukolämmölle tuntitason hintasignaali, joka yhdessä asuntojen sisälämpötilojen kanssa tulee vaikuttamaan kaukolämmön käyttöajankohtiin (Fortum 2015). Molempien pilotoitien onnistumisesta kertoo niiden laajeneminen kattamaan esimerkiksi tuhat sähkölämmitteistä kotia (Fortum 2016b).

Nämä kaksi pilottiprojektia ovat hyviä esimerkkejä kysyntäjoustopalvelusta, joka pystyy toimimaan automaattisesti ja asukkaan sitä huomaamatta. Kysyntäjoustopalveluissa ollaan muutenkin pyrkimässä automaattisiin ratkaisuihin, jotka perustuvat muun muassa kodinkoneiden Internet-yhteyksiin (esimerkkinä Siemens HomeConnect) sekä laitteiden ohjaamiseen älykytkimellä, jolloin asiakkaalle maksetaan mukanaolosta säätösähkömarkkinoilla (GridIO 2016) ja hetkellisestä sähkönkäytännön keskeyttämisestä. Käytännössä kysyntäjoustopalveluita ollaan ensiksi toteuttamassa järjestelmille, joiden hetkellinen sammuttaminen tai käyttöajankohdan siirtäminen ei aiheuta näkyviä haittoja käyttäjälle.

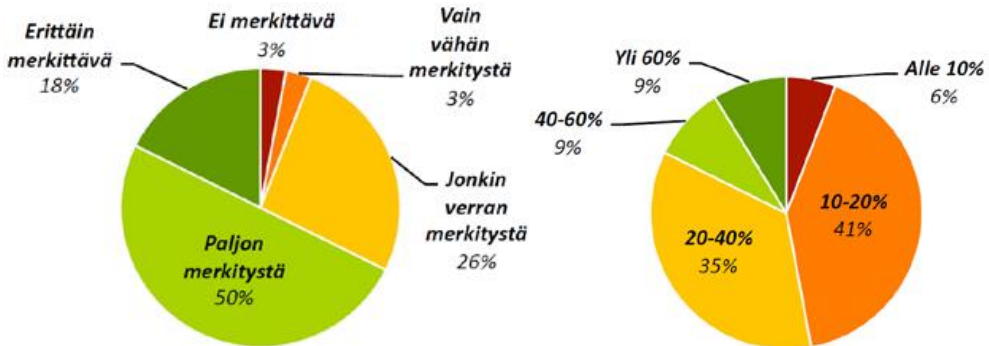
3 Kysyntäjoustopotentialin merkitys Suomessa 2030-luvulla

Automaattisia kysyntäjoustopotentialia ja yleisemminkin älykkäitä ohjausratkaisuja pidetään Suomessa vientimarkkinoille potentiaalisena ratkaisuna; tämä havainto nousi esille myös SET-hankkeen delfoi-kyselyn vastauksissa, jossa sähkön kysyntäjoustopotentialilla nähtiin suurin vientipotentiaali 2030-luvulla, jättäen taakseen muun muassa metsäbiomassan uudet käyttötavat ja jätevirtojen hyödyntämisen energiantuotannossa. Nykytilanteeseen verrattuna kysyntäjoustopotentialin tulevaisuuden avoin kysymys on vielä sellaisten liiketoimintamallien ja palveluiden kehittäminen, että ne tekevät kysyntäjoustopotentialista taloudellisesti houkuttelevia tavallisille kotitalouksille sekä taloyhtiöille (Annala 2015).



Kuva 2. Delfoi-kyselyn tulokset eri teknologioiden vientipotentiaalista 2030-luvulla.

Edellä mainitusta energiajärjestelmän murroksesta ja uusien palveluiden kehityksestä johtuen myös kysyntäjouaston vaikutus nähtiin merkittävästi kasvavan nykyisestä tasosta. Kysyttäessä kysyntäjouaston piirissä olevaa tehoa suhteessa huippukulutukseen (oletettavasti yli 15 000 MW 2030-luvulla), yli 40 % vastaajista arvioi kysyntäjouaston piirissä olevan tehon olevan 10-20 % kuvan 3 kaavioiden mukaisesti.

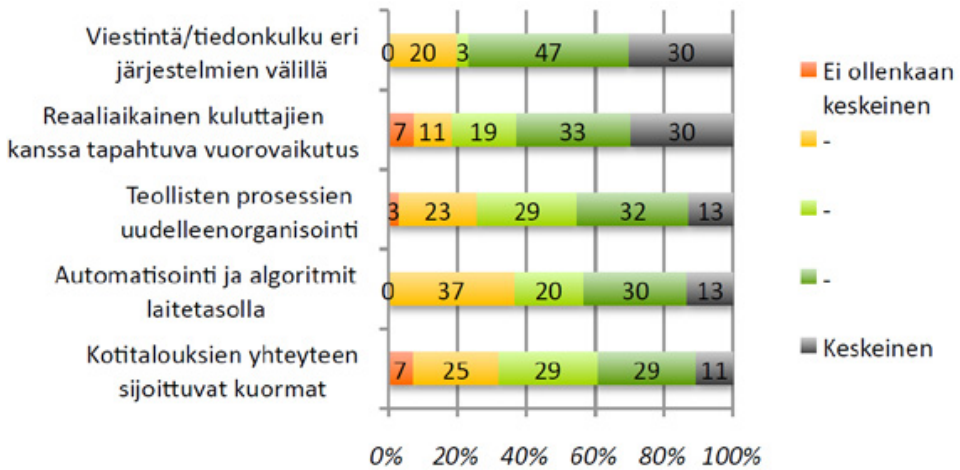


Kuva 3. Delfoi-vastaajien arvio kysyntäjoustojärjestelmien merkityksestä sekä niiden piirissä olevasta tehosta suhteessa huippukulutukseen.

4 Linkittyvät teknologiat ja potentiaaliset toimijat

Kuten yllä kerrottiin, kysyntäjoustojärjestelmät linkittyvät läheisesti uusiutuviin energiamuotoihin sekä digitalisaatioon. Perinteisten energia-alan toimijoiden (Fingrid, sähköyhtiöt) ohella kysyntäjoustojärjestelmät ovatkin potentiaalinen toiminta-alue ICT-alan sekä uusiutuvien energian yrityksille. Yksi Delfoi-kysymyksistä pyrki avaamaankin keskeisimpiä tekijöitä onnistuneen kysyntäjoustojärjestelmän toteuttamisessa. Vastausten perusteella automaattisen kysyntäjoustojärjestelmän toteuttaminen vaatii toimivia yhteyksiä sekä laitteiden että järjestelmien välillä, jotta esimerkiksi sähkönkulutuksesta voitaisiin saada reaaliaikaista tietoa kotitalouteen valmiiksi asennetulta energiamittarilta.

Toimivan tietoliikenteen ohella myös toimivien käyttöliittymien sekä välittömän vuorovaikutuksen todettiin olevan keskeisiä tekijöitä onnistuneessa kysyntäjoustojärjestelmässä: kysyntäjouaston tarpeen ja siitä syntyvien hyötyjen tulisi ensin tulla konkreettisesti tutuiksi, jotta kysyntäjoustojärjestelmät voisivat laajeta 2030-lukuun mentäessä kuvion 3 mukaiselle tasolle. Tämä tarve onkin avaamassa markkinoita GridIO:n ja Theren kaltaisille palveluntarjoajille, jotka kehittävät toimivan tekniikan päälle energiansäästöön/kysyntäjoustoan kannustavia käyttöliittymiä sekä palveluita, joissa kuluttaja saa taloudellista hyötyä älyreleen asentamisesta.



Kuva 4. Delfoi-vastaajien näkemys eri tekijöiden keskeisyydestä onnistuneessa kysyntäjoustojärjestelmässä.

5 Kysyntäjouston yleistymistä edistävät toimenpiteet

SET-projektin työpajassa ideoitiin toimenpiteitä, joilla voidaan edesauttaa kysyntäjoustojärjestelmien edistymistä Suomessa 2030-lukuun mennessä. Koska kysyntäjousto liittyy läheisesti energiankäyttöön, niin yhtenä edistävänä tekijänä nähtiin energiankulutusdatan avaaminen, joka antaisi mahdollisuuden potentiaalisten asiakkaiden löytämiseen sekä uusien palveluiden rakentamiseen.

Esimerkiksi tieto siitä, miten naapuri käyttää energiaa voi synnyttää kannustimen oman energiankäytön muutokseen (säästö, kestävä energianlähteet). Samalla tämä synnyttää vakavia tietoturvakysymyksiä, jotka pitää ratkaista regulaation avulla (esim. naapurin vakoilu, varkauudet). Yritysten täytyisikin tiedostaa kysyntäjoustoan liittyvät tarpeet ja mahdollisuudet: kuluttajat odottavat helposti saatavilla olevia ja ymmärrettäviä palveluja, joista koitua hyöty on helposti nähtävissä. Yksi mahdollisuus tässä voisi olla kysyntäjouston pelillistäminen, missä voisi ansaita omalla osallistumisellaan.

Säätelyn osalta kysyntäjoustojärjestelmiä voidaan edesauttaa esimerkiksi sähkömarkkina-, maankäytön- ja rakentamislain päivittämisellä siten, että nykyiset suuret erot eri kuntien välillä poistuvat, mikä helpottaisi hankintojen tekemistä ja lupakäytäntöjen hallintaa. Lainsäädäntö sekä EU-säädökset voisivat ylipäättään tukea kysyntäjoustoalumiuden huomioimista niin uusissa rakennuksissa kuin esimerkiksi lämmityslaitteiden ohjauksjärjestelmissä; tällöin markkinoille saataisiin laitekantaa, jota voitaisiin hyödyntää osana tulevaisuuden energiajärjestelmää. Lisäksi lainsäädäntö voisi vaatia uusille rakennuksille nykyistä kattavampia sähkö- ja

automaatiosuunnitelmia, joissa pitäisi huomioida kysyntäjoustopöytäjärjestelmien lisäysmahdollisuus esimerkiksi varauksina sähkökeskuksessa.

Kysynnänjoustopöytäjärjestelmien laajenemisen ehdoton edellytys on laitteiden ja järjestelmien välinen yhteensopivuus yhteisten standardien avulla (vrt. matkapuhelinten GSM-verkko). Tekniikan ollessa valmiina laitteet voisivat mahdollistaa kuluttajien osallistumisen ”kysyntäjoustopöytäjärjestelmään”, jossa he ansaitsisivat tarjolla negawatteja sovittuina ajankohtina.

Murrosta voidaan edesauttaa myös kohdistamalla nykyisiä tukia, kuten korjausavustuksia, yhteisöllisiin energiahankkeisiin (taloyhtiöt, kaupunginosat jne.). Lisäksi T&K-tukea voitaisiin suunnata alueellisiin kysyntäjoustopöytäjärjestelmään (esimerkkinä Ahvenanmaa). Fokus alueellisiin energiaratkaisuihin voikin olla myös identiteettikysymys, joka synnyttää positiivista alueellista väreilyä. Alueellista identiteettiä voitaisiin lisäksi kehittää mm. erilaisin tapahtumin ja interaktiivisin näytöin, joilla alueellinen energiankäyttö tehdään näkyväksi ja ymmärrettäväksi. Tämä osaltaan edesauttaisi sekä kuluttajien että sähköalan ammattilaisten asennemuutosta, mikä laajentaisi esimerkiksi tuntihintaisten sopimusten käyttöönottoa ja näitä hyödyntävien lämmitys- ja ohjausjärjestelmien asentamista koteihin.

Myös julkinen sektori voisi toimia esimerkkinä käynnistämällä kysyntäjoustopöytäjärjestelmään liittyviä investointeja sekä tukemalla pilottiprojekteja, joissa hyödynnettäisiin jo olemassa olevaa älymittarointia sekä testattaisiin tehoerusteisen hinnoittelun huomioimista esimerkiksi kiinteistöjen lämmityksen ohjaamisessa.

6 Energiamurroksen tuomat mahdollisuudet ja epävarmuudet

Työpajassa nähtiin selvästi, että kysyntäjoustopöytäjärjestelmät ovat olennainen osa tulevaisuuden energijärjestelmää, jossa energian vaihteleva tuotanto vaatii joustavaa kulutusta. Tämä korostuu Pohjoismaissa, joissa energian hinta on alhainen ja sähkönkulutus on suurimmillaan talvikaudella (akkuvarastot eivät tällöin relevantti vaihtoehto). Energiamurroksen voidaankin todeta avaavan vientimarkkinoita suomalaisille kysyntäjoustopöytäjärjestelmille niin Pohjoismaissa kuin laajemminkin Euroopassa. Tässä on tosin huomioitava paikalliset eroavaisuudet, eli esimerkiksi Saksassa kysyntäjoustopöytäjärjestelmän tulisi kyetä toimimaan sulavasti akuilla varustetun aurinkovoimalan kanssa ja varastoimaan verkossa olevaa ylimääräistä sähköenergiaa akkuihin ja lämmitysjärjestelmään.

Energiamurroksen osalta yhtenä epävarmuutena/vielä ratkaistavana asiana nähtiinkin toimivien ratkaisujen löytäminen energianvarastointiin, sillä akkujärjestelmät soveltuvat parhaiten lyhytaikaiseen energianvarastointiin sekä sähköverkon tasapainon ylläpitoon. Yksi mahdollinen ratkaisu voi liittyä esimerkiksi sähkö- ja kaasuverkkojen integrointiin, jolloin ylimääräistä sähköenergiaa käytettäisiin vedyn ja maakaasun tuotantoon. Toinen Suomessa mahdollinen

ratkaisu voisi olla biomassan hyödyntäminen lauhde- sekä yhteistuotantovoimalaitoksissa, joiden roolina olisi perusvoiman tuotannon ohella sähköverkon tasapainon ylläpitäminen.

Keskustelun aikana myös kysyntäjoustopalveluiden pullonkaulaksi tunnistettiin alhainen investointihalukkuus uusiin ratkaisuihin, mihin vaikuttaa osaltaan alhainen energianhinta; tähän voidaan vaikuttaa mm. kehittämällä kiinteistökohtaista tiedonsaantia kysyntäjoustopalveluihin liittyvistä ansaintamahdollisuuksista. Toinen epävarmuus liittyy esimerkiksi taloyhtiöiden kaltaisten toimijoiden mukaan saamiseen, mihin tarvitaan selkeitä ja myös taloudellisesti kannattavia palveluita: vielä tällä hetkellä kysyntäjoustopalvelu on kuluttajille marginaalinen ilmiö, vaikka sitä on alettu markkinoimaan kuluttajille esimerkiksi Helenin Lämpölupaus-kampanjan yhteydessä.

Yhteenveto

Kysyntäjoustopalvelut ovat olennainen osa nykyisiä sähköverkkoja Pohjoismaissa. Energia-alan murros on johtamassa hajautettujen ja tuotannoltaan vaihtelevien energialähteiden lisääntyvään osuuteen energiajärjestelmässä, jolloin joustavasta kulutuksesta on tulossa entistä tärkeämpi osatekijä järjestelmässä ja potentiaalinen vientiratkaisu alan toimijoille.

Tässä teemapaperissa annettiin esimerkkejä palveluista, joiden avulla yksityisetkin kuluttajat voivat automaattisesti osallistua kysyntäjoustopalveluille. Jotta kysyntäjoustopalveluiden voisi tulla merkittävä osa 2030-luvun energiajärjestelmää Suomessa, uusien laitteiden sekä rakennusten tulisi omata tekninen valmius kysyntäjoustopalveluiden hyödyntämiseen. Lisäksi kysyntäjoustopalveluiden tulisi olla helposti ymmärrettäviä, jotta esimerkiksi taloyhtiöt sekä lämmitysjärjestelmien uusijat saadaan kiinnostumaan niiden käyttämisestä.

Lähteet

Annala S. 2015. Households' willingness to engage in demand response in the Finnish retail electricity market: an empirical study <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/113819/Salla%20Annala%20A4.pdf?sequence=2>

Fingrid. 2014. Kysyntäjoustoprojektit. <http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/kysyntajoustoprojektit/Sivut/default.aspx>

Fortum. 2015. Kysyntäjoustoprojektiälykkäämpää kaukolämpöä asuinkerrostaloihin. <http://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-ja-leanheat-yhteistyohon-ta-yhtymän-ja-jarvenpaan-mestariasuntojen-kanssa-kysyntajoustoprojektiälykkäämpää.aspx>

Fortum. 2016a. Virtuaalivoimalaitos. <http://www.fortum.com/fi/konserni/tutkimus-ja-kehitys/virtuaalivoimalaitos/sivut/default.aspx>

Fortum. 2016b. Virtuaalivoimalaitos. <http://www.fortum.com/countries/fi/energiansaasto-ja-ratkaisut/vpp/Pages/default.aspx>

GridIO. 2016. Mikä on GridIO? <https://gridio.io/#about>

Järventausta P. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli) https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnän_jousto_loppuraportti.pdf

Tätä raporttia ovat olleet valmistelemissa ja kirjoittamassa Tero Ahonen ja Samuli Honkapuro (Lappeenrantaan teknillinen yliopisto). Työpajassa kysynnänjoustoprojektien keskustelun fasilitaattoreina toimivat Kaisa Matschoss (Helsingin yliopisto), Jouni Juntunen (Aalto-yliopisto) ja Mikko Rask (Helsingin yliopisto), sekä kirjureina Minna Lumme (Aalto-yliopisto) ja Jukka-Pekka Bergman (Lappeenrantaan teknillinen yliopisto).

Tämä julkaisu liittyy Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (293405) (www.smartenergytransition.fi). SET-hanke tutkii, miten Suomi voi hyötyä hajautetun ja vaihtelevan uusiutuvan energian ympärille nousevista murroksellisista teknologioista. Kyse on ratkaisuisista, joissa energiaa voidaan varastoida tai sen tarvetta ohjata vaihtelevan tuotannon mukaan. Näihin ratkaisuihin liittyvät olennaisesti uudet digitaaliset ratkaisut, kuten esineiden internet. Samalla murrokseen liittyy myös kehitys, jossa rakennusten ja liikenteen energian tarve pienenee, energiaomavaraisuus kasvaa, ja rakennukset ja liikennevälineet muodostavat yhä kiinteämmän osan energiajärjestelmää.



ISBN 978-952-60-7283-8 (pdf)
 ISSN-L 1799-4950
 ISSN 1799-4950 (painettu)
 ISSN 1799-4969 (pdf)

Aalto-yliopisto
Kauppakorkeakoulu
Johtamisen laitos
www.aalto.fi

**KAUPPA +
 TALOUS**

**TAIDE +
 MUOTOILU +
 ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +
 TEKNOLOGIA**

CROSSOVER

**DOCTORAL
 DISSERTATIONS**