



Pilvipalvelut laaja-alaisen vaihtelevan energiantuotannon
mahdollistajana
(BC-DC-konsortio)

Tilannekuvaraportti 2015

Rauli Svento, Oulun yliopisto, *konsortion johtaja*
Maria Kopsakangas-Savolainen, Suomen ympäristökeskus
Matti Latva-Aho, Oulun yliopisto
Sami Niemelä, Ilmatieteen laitos
Jussi Kangasharju, Helsingin yliopisto
Maija-Leena Huotari, Oulun yliopisto



Pilvipalvelut laaja-alaisen vaihtelevan energiantuotannon mahdollistajana (BC-DC)

Tilannekuvaraportti
Rauli Svento 22.12.2015

1. Tiivistelmä

'Pilvipalvelut laaja-alaisen vaihtelevan energiantuotannon mahdollistajana' (BC-DC) hanke tuottaa tutkimuspohjaisen käytännön toteutuksen hajautetun energiantuotannon tehokkaaseen hyödyntämiseen. Konsortion tavoitteena on löytää ratkaisuja, jotka mahdollistavat vaihtelevien uusiutuvien energialähteiden mahdollisimman suuren ja samalla kustannustehokkaan käytön. Hankkeessa selvitetään, kuinka taloudelliset markkinamekanismit yhdistettynä uuden sukupolven ICT ja digipalveluihin sekä uuden tyyppisiin säännusteisiin mahdollistavat asetetun tavoitteen. Projektin tuloksena kehitetään pilvipalveluun pohjautuva digitaalinen kauppapaikka hajautetun energiantuotannon vaihdantaan.

Tulosten hyödynnettävyyttä edistetään tiedon hallinnan tutkimukseen perustuvan vuorovaikutusmallin pohjalta. Vuorovaikutuksen tavoitteena on muodostaa aktiivinen yhteisö, jonka puitteissa tutkijoiden ja yhteisön jäsenten tietoa ja ymmärrystä hajautetun energian tuotannon mahdollisuuksista syvennetään ja jaetaan.

2. Mihin ongelmaan konsortio hakee ratkaisua?

Sähkömarkkinoiden tulevan rakennemuutoksen keskeiset ajurit, uusiutuvien luonnonvarojen lisääntyvä käyttö sekä sähköverkkojen muuttuminen älykkäiksi mahdollistavat uudenlaisen taloudelliseen, tekniseen ja yhteiskunnalliseen tehokkuuteen pyrkivän laajamittaista uusiutuvaa energiapotentiaalia hyödyntävän toimintatavan. BC-DC konsortio kehittää uudenlaisia kaksipuoleiseen markkinalogiikkaan perustuvia digitaalisia palveluita tämän toimintavan toteuttamiseksi.

3. Mikä on toimintaympäristön tiedontaso tässä ongelmakentässä?

3.1. Katsaus toimialan nykytilanteeseen ja muutokseen

Sähkömarkkinoiden toimivuutta on pyritty parantamaan jo usean vuosikymmenen ajan uudelleen organisoimalla markkinoiden rakennetta ja vapauttamalla markkinat kilpailulle niissä toiminnoissa missä se on mahdollista ja järkevää. Seuraten mm. Chilen ja Iso-Britannian esimerkkiä Suomi uudelleen organisoii sähkömarkkinansa 1995 jolloin sähkön tuotanto ja myynti vapautettiin kilpailulle. Koska sähkön siirto- ja jakeluverkkotoiminta omaavat selkeitä luonnollisen monopolin piirteitä jätettiin ne kilpailun ulkopuolelle ja ne ovat edelleen säänneltyjä toimintoja. Suomessa sääntelystä vastaa Energiavirasto.

Sähkömarkkina kohtaa seuraavan merkittävän rakennemuutoksen varsin nopeasti. Älykkäät verkot yhdessä pientuotannon ja kuluttajien asennemuutosten kanssa ovat tämän murroksen keskeisiä ajureita. Muutokseen liittyy myös merkittävä uusiutuvien energialähteiden käytön kasvu. Uusiutuviin energialähteisiin – tuuleen ja aurinkoon – liittyy myös haasteita. Ne ovat ajallisesti vaihtelevia, vaihtelun ennustettavuuteen liittyy epävarmuutta, eikä niitä voida perinteisten

energiamuotojen tapaan ajaa tarvittaessa ylös ja alas. Tämä murros avaa myös mahdollisuuksia innovaatioille ja uusille palveluille.

Sähkömarkkina muuttuu niin kutsutuksi kaksipuoleiseksi markkinaksi kuluttajien ollessa aktiivisia markkinaosapuolia. Tämä mahdollistaa uusien alustaratkaisujen ja toimijoiden tulon markkinoille. Alustojen avulla voidaan muodostaa uusia palvelukonsepteja, joissa käyttäjät voivat paitsi ostaa ja myydä sähköä myös ostaa ja myydä omaa kulutustaan. Kysynnän joustavuuden mahdollisuuden oikea ja oivaltava hyödyntäminen saattaa parhaimmillaan merkittävästikin helpottaa markkinoille syntyvää tasapainotusongelmaa.

Sähkömarkkinoiden läpikäymä muutos on kiihtynyt viime aikoina maailmanlaajuisesti. Tämä muutos pohjautuu kolmeen tekijään: 1) fossiilisten polttoaineiden vähenemiseen, 2) ilmastonmuutoksen hillinnässä energia ja siihen liittyvä toiminta (sekä kulutus että tuotanto) ovat olennaisessa asemassa ja 3) globaali energiankysyntä kasvaa jatkuvasti (johtuen pääasiassa väestön kasvusta ja kehittyvien maiden teollistumisesta).

Energiaan liittyvässä systeemitason muutoksessa keskiössä on energiatehokkuuden parantaminen ja uusituvan energian roolin kasvattaminen kestäväällä tavalla. Muutokseen liittyviä avainsanoja ovat älykkyys ja joustavuus. Parin viimeisen vuosikymmenen aikana uusiutuvaan energiaan perustuva kapasiteetti on lisääntynyt huomattavasti ympäri maailman. Merkittävä osa tästä kapasiteetista liittyy tuuli- ja aurinkovoiman hyödyntämiseen. Näiden tuotantomuotojen erityinen haaste on niiden vaihtelevuus – aurinko paistaa ja tuulen nopeus muuttuu luonnon lakien mukaan. Nk. perinteisen tuotantokapasiteetin ollessa kyseessä ihminen voi päättää milloin tuotantoa tapahtuu ja optimoida energiajärjestelmänsä tuottamaan siten, että kysyntä tyydytetään mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Tämä ei ole mahdollista vaihtelevan uusiutuvan energian suhteen jolloin sähköntuotannossa kysynnän ja tarjonnan välistä yhteyttä täytyy pyrkiä lisäämään muilla keinoilla. Nämä keinot voidaan jakaa kahteen kategoriaan joista toinen pitää sisällään vaihtelevaan energiantuotantoa tukevan muun tuotantokapasiteetin ja toinen kysyntään liittyviä elementtejä.

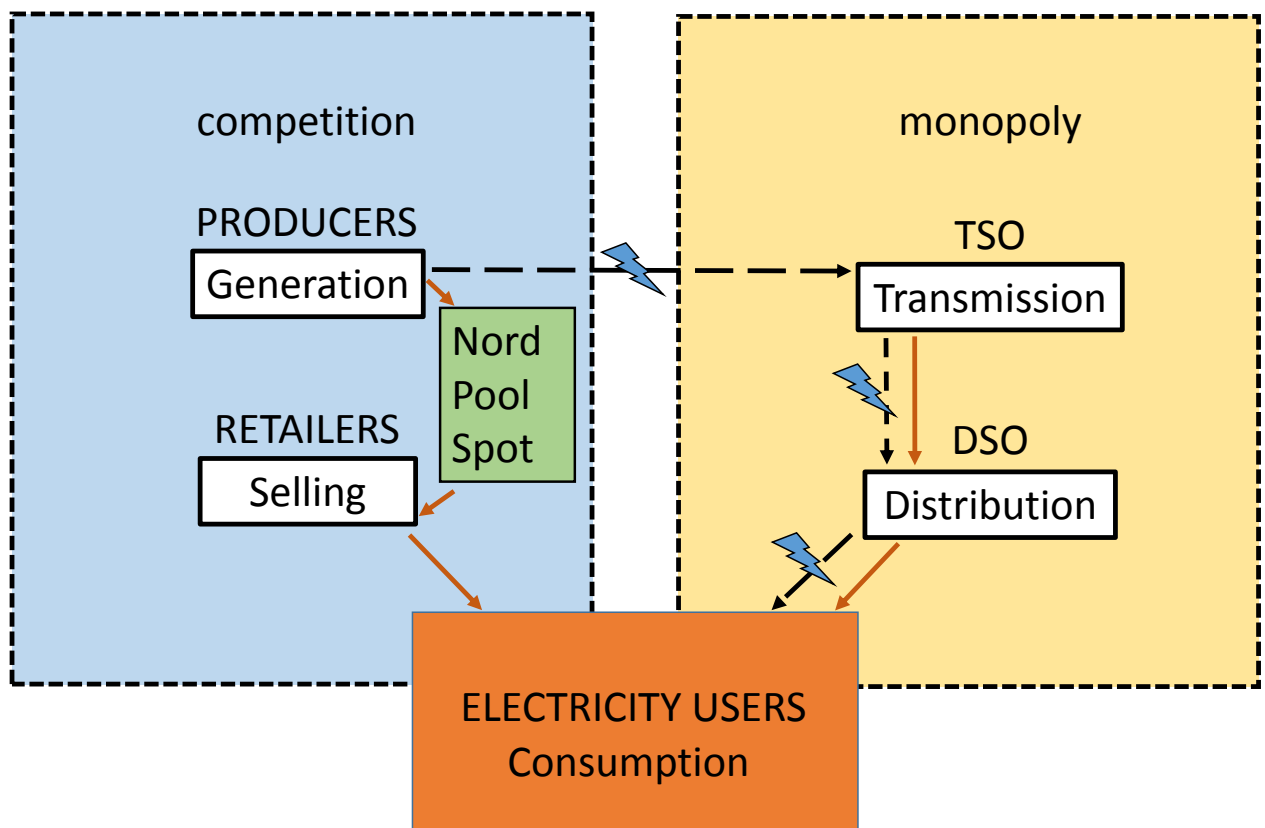
Tuotantopuolella tarvitaan sellaista kapasiteettia, joka voidaan kutsua toimintaan nopealla aikajänteellä, mikäli uusiutuvaan energiantuotantoon liittyvää tuotantoa ei markkinoille saada. Lyhytaikaiseen kysynnän ja tarjonnan tasapainotukseen liittyvän kapasiteetin merkitys korostuu. Molemmat näistä aiheuttavat systeemitasolla lisäkustannuksia jotka tulevat yhteiskunnan kannettaviksi jotain kanavaa myöten.

Integrintikustannusten minimoimisen näkökulmasta on olennaista lisätä tuotannon ja kysynnän välistä korrelaatiota. Useiden tutkimusten mukaan integrintikustannuksia voidaan pienentää olennaisesti parantamalla systeemis suunnittelua ja kehittämällä mekanismeja jotka lisäävät kysyntään liittyvää joustavuutta. Näiden nk. vaihtelevan energiantuotannon integrintikustannusten minimoimisen kannalta yhteiskunnan päättäjien rooli on olennainen kun tehdään pitkän aikavälin investointisuunnitelmia liittyen niin tuotantorakenteeseen, älykkäisiin sähköverkkoihin kuin kysynnän joustavuutta lisääviin ratkaisuihinkin. Näiden kysymysten ympärille on alkanut kiihtyvällä tahdilla generoitua sekä uusiutuvan energian integrintikustannuksiin että kysynnän joustavuuteen ja hinnoitteluun liittyvää kirjallisuutta. Järjestelmäkontekstiin liittyvässä kirjallisuudessa on tutkittu reaaliaikaisen hinnoittelun vaikutuksia järjestelmän ja siihen liittyvien investointien tehokkuuskysymyksiin (Borenstein ja Holland 2005, Borenstein 2005, 2007a, 2007b, 2009, Kopsakangas-Savolainen ja Svento 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2014)), markkinavoiman käyttöön hinnoittelussa (Borenstein ja Bushnell 1999, Borenstein, Bushnell ja Wolak 2002, Joskow ja Kahn 2002) sekä varallisuusvaikutuksiin (Borenstein 2007).

Perustuloksena järjestelmätason tehokkuustutkimuksista voidaan pitää Borensteinin ja Hollandin (2005) kiteyttämää näkemystä, jonka mukaan potentiaaliset kokonaisedut reaaliaikaiseen hinnoitteluun siirtymisestä suurella varmuudella ylittävät moninkertaisesti tällaisen ohjelman implementoinnin kustannukset. Integroitukustannusten taloudellisen ja yhteiskunnallisen arvon määrittämiseen on keskitytty mm. julkaisuissa Gowrisankaran et al. (2015), Hirth et al. (2015) sekä Kopsakangas-Savolainen ja Svento (2013).

3.2. Sähkötömarkkinoiden toimintaympäristö Pohjoismaissa

Kuviossa 1 esitetään tiivistettynä Sähkötömarkkinoiden rakenne ja keskeisimmät toimijat siten kuin ne Pohjoismaisilla markkinoilla näyttäytyvät.



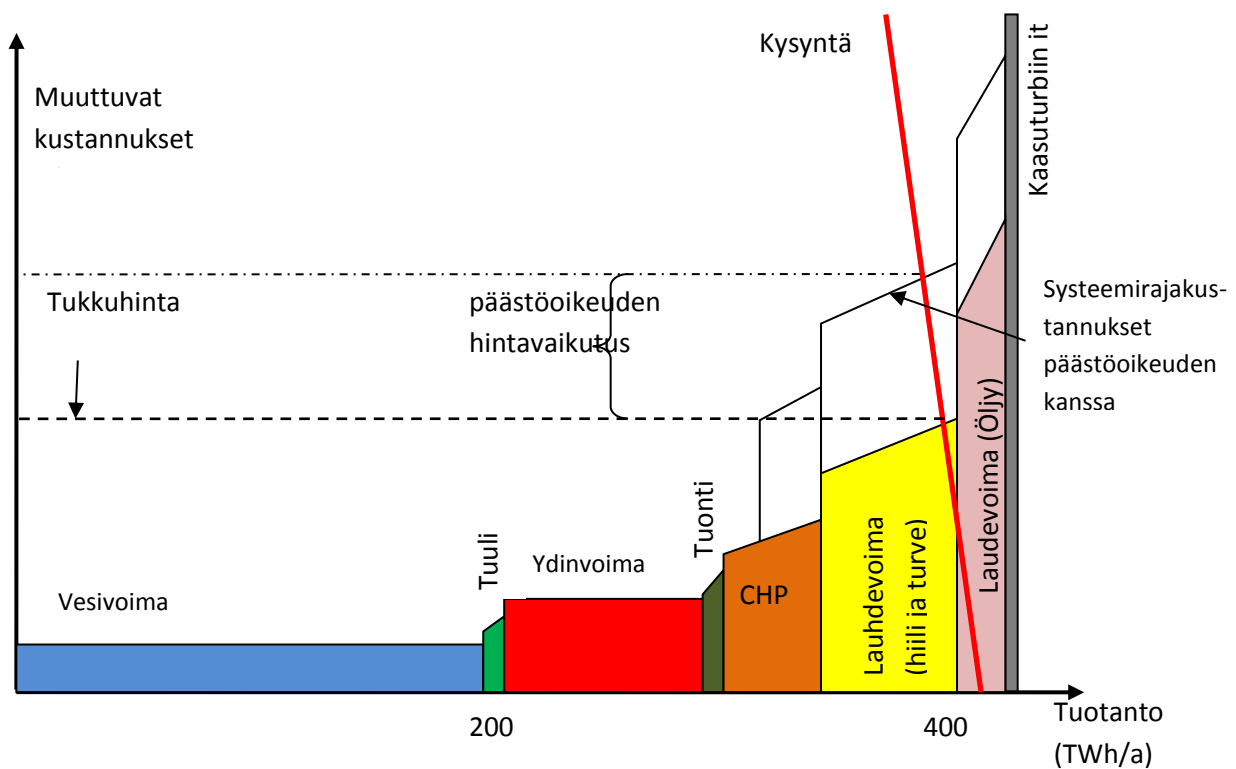
Kuvio 1. Sähkötömarkkinoiden nykyinen rakenne

Tukkumarkkinat

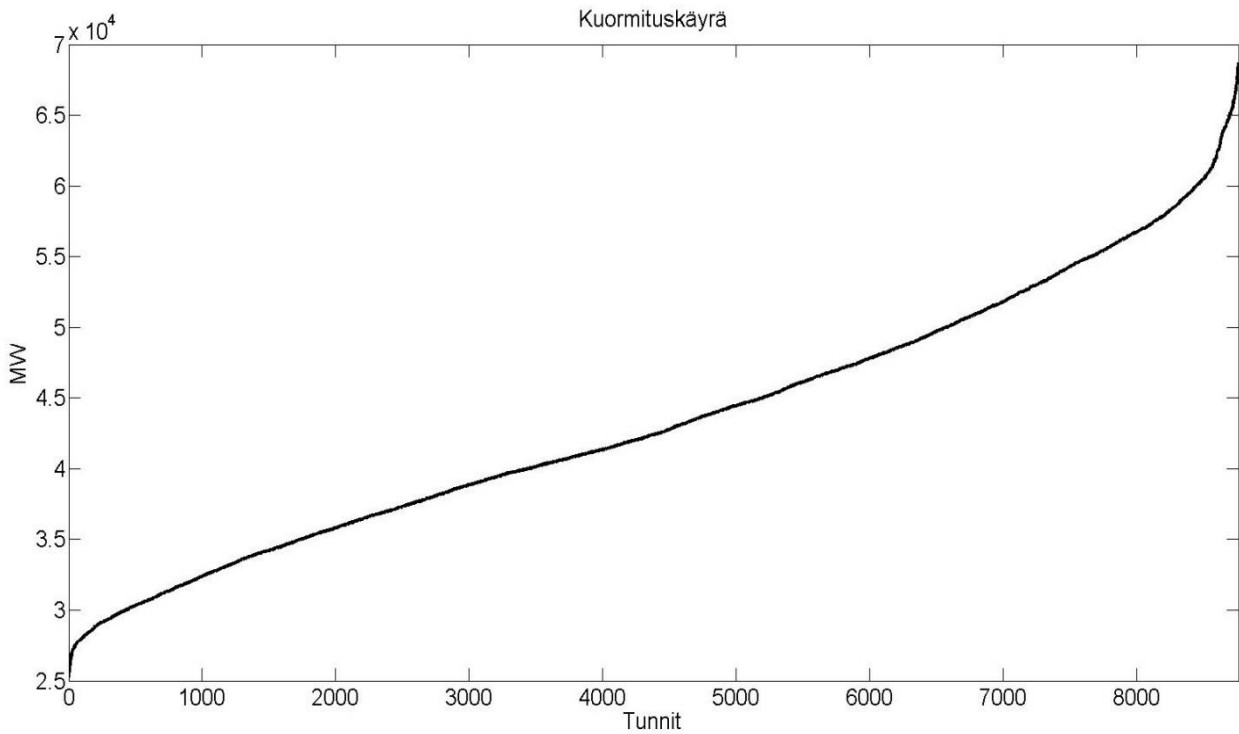
Suomi toimii osana Pohjoismaisia sähkötömarkkinoita. Pohjoismaiden yhteisen sähkötömarkkinoiden keskiössä toimivat Ruotsi, Norja, Suomi ja Tanska. Viime vuosina Pohjoismaainen sähkötömarkkina on laajentunut kun Viro, Liettua ja Latvia ovat liittyneet siihen. Maiden kapasiteettirakenteet eroavat toisistaan selvästi. Norjassa sähköntuotanto pohjautuu lähes kokonaan vesivoimaan. Ruotsissa vesivoiman lisäksi ydinvoiman osuus on merkittävä. Suomessa lämpö- ja ydinvoima ovat tärkeimmät tuotantomuodot ja Tanskassa tuotanto pohjautuu perinteisen lämpövoimatötuotannon lisäksi myös tuulivoimaan. Vahvana vaikuttimena sähkötömarkkinoiden yhdistämiselle olikin alkujaan tuotannon resurssitehokkuuden parantaminen, koska yhtenäisellä markkina-alueella kokonaistuotanto-kapasiteetti saadaan tehokkaammin hyödynnettyä.

Sähkön tukkukauppaa käydään siis yhteisen sähköpörssin, Nord Poolin, välityksellä. Vaikka kaupankäynti Nord Poolin kautta on vapaaehtoista, oli sen välittämän sähkökaupan osuus n. 75 prosenttia pohjoismaiden kokonaiskulutuksesta. (katso Nord Pool, 2015). Nord Pool kokoaa markkinatoimijoiden määrä-hinta -tarjoukset yhteen ja määrittää tunnittaisen systeemihinnan markkinoilla. Jos siirtokapasiteetit alueiden välillä eivät rajoita markkinan toimintaa, on systeemihinta yhtenäinen koko Nord Pool -alueella. Todellisuudessa siirtokapasiteettirajoitteet estävät usein hinnan yhdenmukaisuuden ja tukkumarkkinahinta eroaa tarjousalueiden välillä. Tuotantolaitoksen sijainti ei tällöin vaikuta markkinan tulemaan ja sähköä tuotetaan aina siellä missä se on kustannustehokkainta.

Sähkön tuotanto oli pohjoismaissa vuonna 2013 yhteensä 380 TWh (katso Nordic Market Report, 2014). Kokonaistuotannosta perinteisten tuotantomuotojen osuus oli seuraava: 203 TWh vesivoimaa, 86 TWh ydinvoimaa ja 70 TWh lämpövoimaa. Erityisesti tuulivoimatuotannon osuus on ollut voimakkaasti kasvavaa viimeisten vuosien aikana. Tuotantorakenteen kuvaus ja hinnan määrittäminen on esitetty *Kuviossa 2*. Kokonaiskulutukseen vuosittain vaikuttaa talouden yleinen kehitys ja sääolosuhteet, mutta kysyntäpuolella sähkönkulutus noudattelee pääosin yhtenäistä trendiä. Vuoden 2013 kuormituskäyrä, eli kulutusprofiili järjestettynä suuruuden mukaan, on esitetty *Kuviossa 3*.

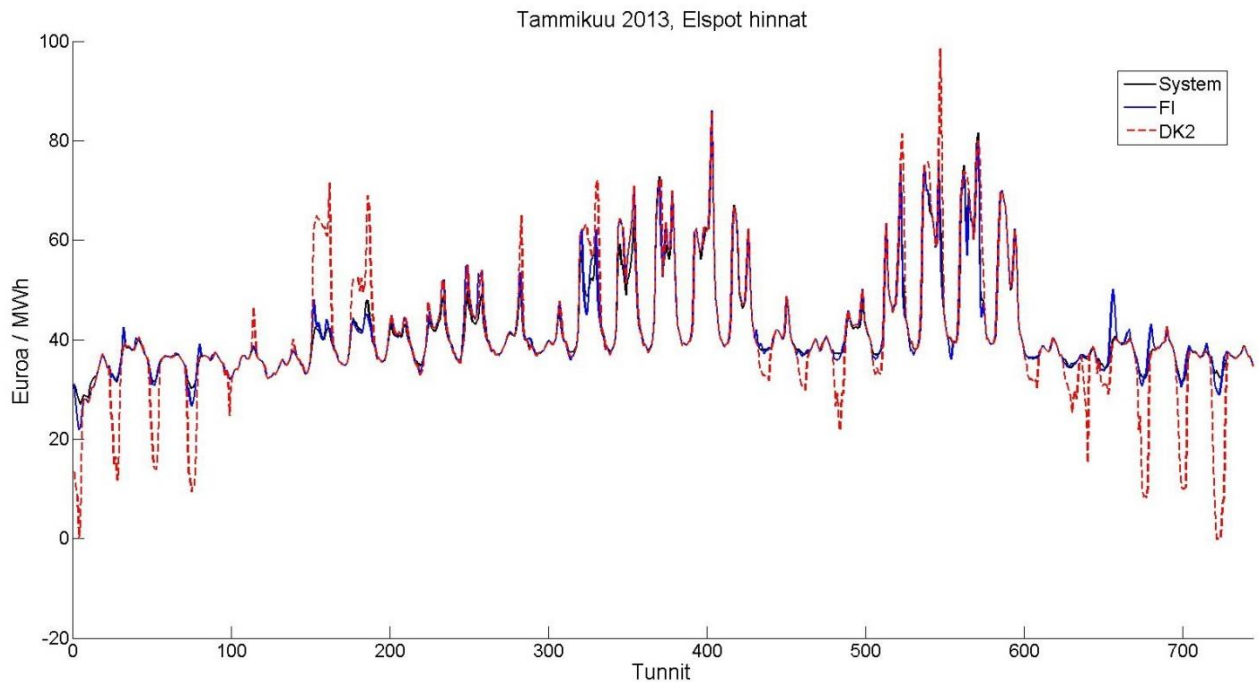


Kuvio 2. Tuotantorakenne ja hinnanmuodostus pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla



Kuvio 3. Vuoden 2013 kuormituskäyrä.

Mikäli Pohjoismaisilla markkinoilla on siirtokapasiteetin johdosta rajoitteita, jaetaan markkina useaan hinta-alueeseen. Kuviossa 4 on esitetty kolme eri Tammikuun hinta-aikasarjaa vuodelta 2013: systeemihinta, Suomen aluehinta ja Tanskan alue2 hinta. Tanskassa on suhteessa huomattavasti enemmän tuulivoimakapasiteettia, kuin Suomessa ja tämä voidaan havaita kuviosta selvästi vaihtelevimmista hinnoista. Onkin oletettavaa, että kun Suomen vaihteleva sähköntuotannon-kapasiteetti lisääntyy, myös Suomen aluehinta muuttuu volatiilimmaksi. Vaihtelevat hinnat indikoivat myös sitä, kuinka paljon haasteita järjestelmätasolla kohdataan kun pyritään pitämään kysyntä ja tarjonta balanssissa jokaisena ajanhetkenä. Tämä aiheuttaa järjestelmälle useanlaisia kustannuksia. Tässä kuvailtu ilmiö ei ole ominainen vain Pohjoismaisille markkinoille vaan ilmenee jopa voimakkaammin globaaleilla markkinoilla joissa ei ole keskimäärin käytössä yhtä paljon hyvin tasapainotukseen soveltuvaa vesivoimaa. BC-DC konsortio pyrkii omalta osaltaan vastaamaan mm. edellä kuvattuun haasteeseen kehittämällä pilvipohjaisen ratkaisun, jota hyödyntäen on mahdollista integroida laajamittaista vaihtelevaa energiantuotantoa järjestelmään sosiaalisesti, teknisesti ja taloudellisesti tehokkaalla ja kestäväällä tavalla.



Kuvio 4. Vuoden 2013 tammikuun Elspot systeemihinta ja aluehinnat Suomi ja Tanska2.

Vähittäismarkkinat

Vähittäismarkkinat toimivat sähköntuottajien ja pienten (ja osaltaan keskisuurten) kuluttajien välissä. Vähittäismarkkinayritykset ostavat sähköä kilpailullisilta tukkumarkkinoilta ja myyvät sitä edelleen kuluttajille. Pohjoismaissa vähittäismarkkinat ovat kansallisia, vaikkakin myös vähittäismarkkinoiden integroinnista on ollut keskusteluja. Useimmat sähkön vähittäismyyjät ovat osa isompaa yritystä joilla on toimintaa myös jakeluverkko- ja tuotantotoimialoilla. Vähittäismyynti on kuitenkin lain mukaan eriytettävä muista toiminnoista ja toiminnot eivät saa ristisubventoida toisiaan. Sähkön vähittäismyynti ei vaadi lisenssiä eikä toimijoiden lukumäärää ole rajoitettu. Myöskään sähkön vähittäismyyntihintoja ei ole mitenkään säännelty¹ vaan markkinat toimivat täysin vapaaseen kilpailuun perustuen².

Mikrotuotannolla tarkoitetaan sellaista tuotantoa joka pääosin kulutetaan itse ja sitä syötetään vain satunnaisesti ja pienissä määrin verkkoon. Tyypillisimpiä mikrotuotannon energialähteitä ovat tuuli, aurinko ja biopolttoaineet. Mikrotuotantoa on Pohjoismaissa erityisesti omakotitalojen ja kesämökkien yhteydessä, mutta erityisesti kaksisuuntaisuuteen perustuva toiminta on vielä harvinaista. Kaksisuuntaisuuden tehokas hyödyntäminen vaatii nk. älykkään sähköverkon sekä reaaliaikaisen mittauksen. Eräänä kaksisuuntaista toimintaa hillitsevä tekijänä onkin arvioitu olevan sen aiheuttamat haasteet sähkönjakeluverkolle jossa kysynnän ja tarjonnan täytyy olla tasapainossa joka hetki. Työ- ja elinkeinoministeriön mukaan alueelliset jakeluverkot tulevat tulevaisuudessakin säilyttämään monopoliasemansa liittyen jakeluverkon ylläpitoon ja kehittämiseen. Kaksisuuntaisuus on kuitenkin eräs edellytys laajamittaisen hajautetun energiantuotannon tavoitteen saavuttamisessa ja onkin olennaista että sekä teknisiä että taloudellisia ratkaisuja kehitetään tästä näkökulmasta. Myöskin kaksisuuntaisuutta mahdollisesti hidastavaa sääntelyä tulee tarkastella kriittisesti. Kaksisuuntaisuuden hyödyntäminen laajamittaisen

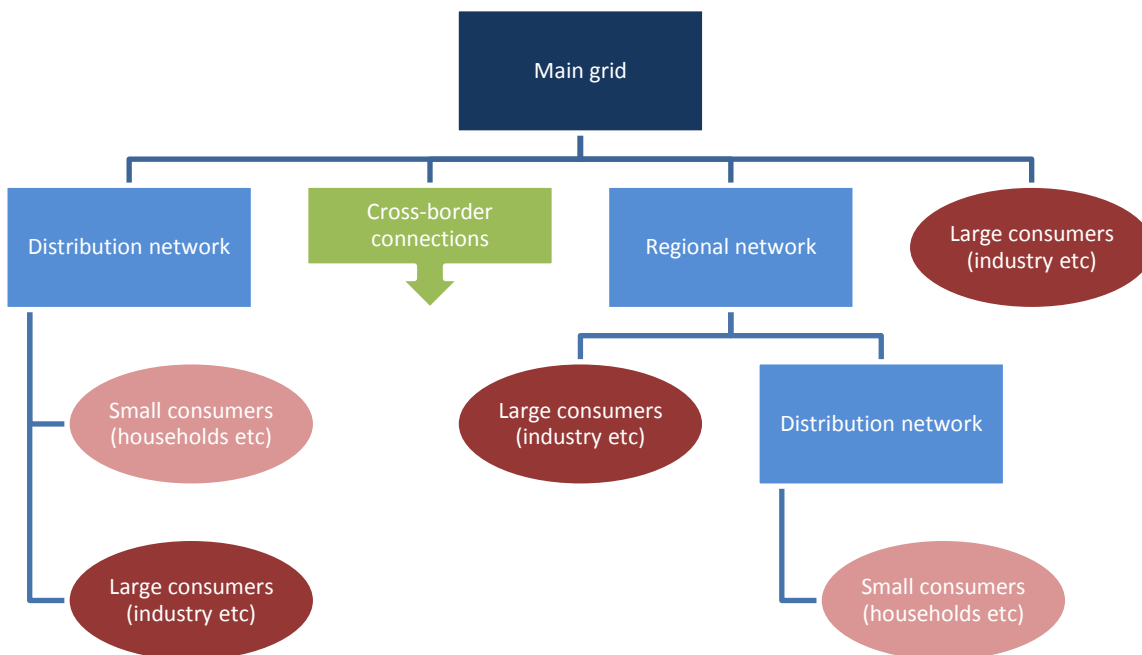
¹ Sähkön siirtoon liittyvät jakeluverkkohinnat kuuluvat sääntelyn piiriin.

² Eräänä poikkeuksena voidaan pitää muutamien alueellisesti merkittävien yhtiöiden velvollisuutta toimittaa energiaa alueensa kuluttajille. Tällä taataan sähkön saannin maantieteellinen kattavuus.

vaihtelevan energiantuotannon tehokkaassa integroinnissa onkin eräs haaste, johon BC-DC konsortion pyrkii löytämään ratkaisuja.

Sähkön jakelu- ja siirto

Toisin kuin sähkön myynti ja tuotanto sähkön jakelu ja siirto ovat säänneltyjä toimintoja. Sähkön siirto- ja jakeluverkko muodostuu eri jännitetasoilla toimivista osioista. Sähkön suurjännitesirrosta vastaa Pohjoismaissa kansallisen tason toimija, kun taas aluetason verkko on alueellisten toimijoiden omistuksessa. Alueellinen ja paikallinen jakeluverkko toimii jännitetasoilla 110kV ja 0.4-11kV. Alueellinen toimija vastaa asiakkaiden verkkoon kytkennästä. Sähkön verkkotoimintaan liittyvä rakenne on esitetty yksinkertaistettuna kuviossa 5.



Kuvio 5. Sähkön siirto- ja jakeluverkkotoiminnan rakenne Suomessa (mukaeltu Helynen et al. 2004: 78)

Älykkäät sähköverkot

Jo pelkästään Suomessa oli vuonna 2014 käynnissä n. 30 projektia koskien älykkäitä sähköverkkoja. Älykkäät sähköverkot yhdessä kysynnän joustavuuden ja hajautetun tuotannon kanssa luo mahdollisesti täysin uudenlaista liiketoimintaa ja tarvetta täysin uudenlaisille toimijoille alalla. Teknisesti arvioitu vähimmäisvaatimus uudenlaisen toiminnan kehittymiselle on reaaliaikaiset älykkäät mittarit. Suomi on tässä edelläkävijä ja älykkäät mittarit kattavat jo lähes 100 % kiinteistöistä (97 % vuonna 2013).

Älykkäitä sähköverkkoja luonnehtii täysin uudenlainen mahdollisuus informaatio- ja kommunikaatioteknologian käyttöön joka mahdollistaa mm. tehokkaamman kuorman hallinnan ja tähän liittyvä uuden liiketoiminnan

3.3. Kuluttajat

Sähkön kuluttajat voidaan karkeasti jakaa pienkuluttajiin ja toimialakuluttajiin. Laajamittaisen vaihtelevan energiantuotannon integroiminen energiajärjestelmään muuttaa kuluttajien roolia olennaisesti. Aikaisemmin pienkuluttajat on nähty passiivisina osapuolina ja lähinnä kuorman tuottajina joihin tuottajien on täytynyt reagoida. Tämä rooli on nyt voimakkaasti muuttumassa kohti aktiivista markkinatoimijaa. Pienkuluttajien rooli niin energiantuottajana, jouston mahdollistajana ja varaston tarjoajana luo järjestelmälle paljon haasteita, mutta myös suuren määrän mahdollisuuksia. Koska teollisuus ei useinkaan voi reagoida kulutusmuutoksellaan nopeasti muuttuviin markkinatilanteisiin, korostaa tämä edelleen pienempien kuluttajien roolia muuttuvien sähkömarkkinoiden mahdollistajana. Eräs BC-DC konsortion tavoite onkin löytää sekä teknisiä että taloudellisia mekanismeja joiden avulla tämä kuluttajien käyttäytymiseen liittyvä potentiaali saataisiin täysimittaisesti hyödynnettyä.

3.4. Uudet toimijat

ESCO

Sähkömarkkinoille on viime vuosina ilmaantunut jo uudenlaisia toimijoita tarjoamaan mm. uudenlaisia palveluita. Eräs merkittävä ryhmä näistä toimijoista on nk. sähkönpalvelutuottaja (Energy Service Companies, ESCO). Motiva määrittelee sähkönpalveluyhtiön seuraavasti:

“total responsibility for either implementation, effecting of the saving, organising the funding or all the above can be undertaken by a company specialising in energy conservation, a so-called ESCO company (Energy Service Company). In such cases, the investment is repaid by the savings produced by the measures during the agreement term, so that it does not tie up the company’s investment resources or its human resources to the same degree.” (Motiva 2009).

ESCO toiminnan on havaittu kohtaavan vielä nykytilanteessa sekä ulkoisia että sisäisiä esteitä, jotka on esitetty kuviossa 6.

Barriers of ESCO service in Finland

Internal Barriers

Investment processes

- Excessive emphasis on firm's core processes
- Sticking with old habits and procedures
- Lack of knowledge about benefits of energy efficiency

External Barriers

Political Environment

- Public procurement laws
- Unclear guidelines
- Unpredictable lawgiving
- Not enough compelling aspects in subsidy systems

Kuvio 6. ESCO liiketoiminnan esteitä Suomessa (Sinkkonen 2013: 97)

Aggregaattorit

Eräs uusi toimija sähkömarkkinoilla on nk. aggregaattori. Ikäheimo, Evens & Kärkkäinen (2010) määrittelevät aggregaattorin seuraavasti:

“...a company who acts as intermediary between electricity end users, who provide distributed energy resources, and those power system participants who wish to exploit these services.” (Ikäheimo, Evens & Kärkkäinen 2010: 10)

Aggregaattorit voidaan jakaa eri ryhmiin sen mukaan minkä tyyppistä aggregointia ne harrastavat esim. kysynnän aggregointi versus hajautetun tuotannon aggregointi. Wang et al. (2015) erottelee toisistaan kolmen tyyppisiä aggregoijia: tuotanto, kysyntä ja kaupallinen aggregoija. Tuotannon aggregoija yhdistää pientuottajien tuotannon saavuttaakseen skaalaetuja markkinoilla toimimiseen (virtual power plants). Kysynnän aggregoijat yhdistävät pienkuluttajia ja toimivat näiden ja vähittäis- ja jakelumarkkinoiden välimaastossa. Kuluttajat voivat tällöin toimia myös pientuottajina tai sähkön varaston tarjoajina. Kaupalliset aggregoijat ostavat ja myyvät paikallisesti energiaa ja ovat myös vastuussa paikallisesti systeemitasapainosta.

Fingridillä on meneillään viisi pilotointiprojektia jotka koskevat kysynnän hallintaa ja pitävät sisällään myös aggregointia. Aggregoijina näissä toimivat SEAM, Energiakolmio ja There Corporation. (Koponen 2014, Jäppinen 2015). Myös Empower IM tarjoaa kysyntää ja systeemibalanssiin liittyviä aggregointipalveluja (Koponen (2014).

Sääntely, tuet ja esteet

Useat organisaatiot vaikuttavat sähkömarkkinoiden toimintaan nyt ja tulevaisuudessa ja näiden roolia tulee kriittisesti tarkastella. Sähkömarkkinan toimintaympäristön kannalta tällaisia organisaatiota ovat Suomen osalta mm.

- The Bioenergy Association of Finland (<http://www.bioenergia.fi/>)
- Confederation of Finnish Industries (EK) (<http://ek.fi/>)
- The Federation of Finnish Technology Industries (<http://teknologiateollisuus.fi/>)
- Finnish Biogas Association (<http://www.biokaasuyhdistys.net/>)
- Finnish Energy Industries (<http://energia.fi/>)
- Finnish Forest Industries Federation (<http://www.forestindustries.fi/>)
- Finnish Heat Pump Association (<http://www.sulpu.fi/>)
- Finnish Local Renewable Energy Association (<http://www.lahienergia.org/>)
- Finnish Petroleum and Biofuels Association (<http://www.oil.fi/>)
- Finnish Solar Technology Association (<http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/>)
- Finnish Wind Power Association (<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/>)
- Small Hydro Association in Finland (<http://www.pienvesivoimayhdistys.fi/>)

Myös julkiset instituutiot ja sääntelyviranomaiset ovat olennaisessa roolissa siirryttäessä kohti tulevaisuuden energijärjestelmää. Tällaisia toimijoita on Suomen osalta ainakin seuraavat:

- Finnish Customs (<http://www.tulli.fi/fi/>)
- Energy Market Authority (<https://www.energiavirasto.fi/>)
- Finnish Environment Institute (SYKE) (<http://www.syke.fi/>)
- Government Institute for Economic Research (VATT) (<http://www.vatt.fi/>)
- Ministry of Agriculture and Forestry (<http://www.mmm.fi/>)

- Ministry of Employment and the Economy (<https://www.tem.fi/>)
- Ministry of the Environment (<http://www.ym.fi/>)
- Ministry of Finance (<http://vm.fi/>)
- Motiva Oy (<http://motiva.fi/>)
- National Emergency Supply Agency (<http://www.nesa.fi/>)
- Natural Resources Institute Finland (LUKE) (<https://www.luke.fi/>)
- Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) (<http://www.stuk.fi/>)
- Tekes – the Finnish Funding Agency for Innovation (<http://www.tekes.fi/>)
- VTT, Technical Research Centre of Finland (www.vtt.fi).

Sääennusteet

Uusiutuvien luonnonvarojen käytön yleistyessä sähkömarkkinoilla niihin liittyvä ennuste-epävarmuus tulee myös korostumaan. Sähkömarkkinoilla kysynnän ja tarjonnan on täsmällisesti vastattava toisiaan joka hetki. Sopimukset tarjonnasta ja kysynnästä kuitenkin tehdään markkinoista riippuen tulevaisuuteen asettuvassa aikaikkunassa. Tämän hetkisen käytännön mukaan pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sopimukset tehdään 24 tunnin päähän. Tuuli- ja aurinkovoiman käyttö myös lisää alueellisuuden ja paikallisuuden roolia tuotannon hajautuessa parhaiten voimantuotantoon sopiville alueille.

Nämä kehityspiirteet aiheuttavat merkittävää tarvetta kehittää uudentyyppisiä tarkentuvia sääennusteita. Suomessa on tehty merkittävää työtä sekä tuuli- että aurinko-olosuhteiden kartoituksessa ja tutkimuksessa erityisesti Ilmatieteen laitoksen piirissä. Tuuliatlas (Tammelin 2013) luo erinomaisen pohjan tuulivoiman ennustettavuuden tarkastelulle. Kolme keskeistä kehityssuuntaa on kuitenkin nähtävissä ennustetarkkuuden ja käytettävyyden parantamiseksi. Ensinnä alkuolosuhteet ennusteen lähtöhetkelle on pystyttävä identifioimaan nykyistä tarkemmin hyödyntäen paremmin kaukokartoitustuotteita kuten mm. säätutka ja –satelliitti aineistoa. Lähtötilanteella ja sen täsmällisellä identifioinnilla on osoitettu olevan huomattava merkitys ennustetarkkuudelle erityisesti sähkömarkkinoiden aikaskaalassa. Toinen tärkeä kehityskohde liittyy tarkan erotuskyvyn säämallimenetelmien kehittämiseen ja tarkentamiseen erityisesti tuuli- ja aurinkoenergian tuotantoennustamisen kannalta ottaen huomioon pohjoisten olosuhteiden erityispiirteet. Hankkeen kehityskohteina on mm. ilman epäpuhtauksien vaikutuksen huomioiminen aurinkoenergian tuotantoennusteissa sekä jäätämisolosuhteiden ennustuskyvyn parantaminen. Kolmas kehityspiirre liittyy determinististen ennusteiden taustalla olevan epävarmuuden avaamiseen todennäköisyysjakaumiksi. Tunnistamalla ja arvioimalla numeeriseen alkutilannetietoon ja ennustemenetelmiin liittyvät epävarmuudet, voidaan sää- ja tuotantoennuste esittää itse säätilanteesta riippuvana todennäköisyysjakaumana. Tämän avulla ennusteeseen liittyvää riskisyyttä voidaan arvioida ja hinnoitella.

BC-DC hankkeessa nämä kaikki kehityspiirteet ovat Ilmatieteen laitoksen tutkimusryhmässä tutkimus- ja kehitystyön kohteena. Tavoitteena on kehittää paikallisia lyhyen frekvenssin sääennusteita, jotka pääsevät siihen tarkkuuteen, että ne voidaan myös muuntaa energiaennusteiksi kehitettävän digitaalisen palvelun käyttöön.

Pilvipalvelut

Pilvipalveluiden tutkimuksessa on edetty kahdella keskeisellä rintamalla. Yhtäältä itse verkkokonseptin tutkimus on täsmentynyt opportunististen ja informaatiopohjaisten verkkojen tutkimukseen. Opportunististen verkkojen tutkimus on pitkälti keskittynyt Internet of Things kehityksen avaamiin mahdollisuuksiin, 'opportunitieihin'. Kahden keskenään kommunikoivan

laitteen yhteys avaa aina uusia mahdollisuuksia tiedon välitykseen ja palveluiden tarjoamiseen. Informaatioverkkojen tutkimuksen keskiössä on ollut tiedon sijoittelun ja hakemisen tutkimus. Tiedon sijoittelun suhteen on 'kätkenällä' ollut keskeinen ja tiedon haun suhteen 'tulvimisella' keskeinen rooli. Kätkenällä haetaan vastausta minne ja minkälaisissa osissa tiedostot kannattaa verkkoon sijoittaa ja loppujen lopuksi osoittautuu, että yksinkertaiset tiedostojen sijoittelulogiikat toimivat hyvinkin tehokkaasti. Tulvimisen tutkinnalla puolestaan on haettu vastausta kysymykseen, millä etäisyydellä haut kannattaa toteuttaa ja kuinka etäisyyttä kannattaa etsinnän kuluessa laventaa.

Perinteisesti pilvipalvelut toteutetaan palvelinkeskuksiin istutetuissa servereissä ja tämä toimintatapa on edelleen yleisesti käytössä ja varsin toimintavarma. Moderni pilvipalvelututkimus asettaa kuitenkin kysymyksen, onko sittenkin tehokkaampaa hajauttaa pilvipalvelut samaan tapaan kuin tiedon sijoittelu jo on hajautettu. Siirryttäisiin pois yksittäisistä servereistä pilvitoiminnoista muodostuviin sumuihin. BC-DC hankkeen kannalta tähän liittyy kaksi keskeistä mahdollisuutta. Ensinnäkin tällä toimintatavalla voitaisiin yhdistää vihreät verkkologiikka myös tiedon välittymiseen. Palvelun toteutuksen reitityksessä kuljetaankin aina niiden solmukohtien kautta, jotka itse käyttävät uusiutuvaa energiaa voimanlähteenään. Toinen mahdollisuus avautuu siitä, että hajautetun energiantuotannon ohjaus ja säätely tapahtuisikin hajautettujen pilvipalveluiden kautta, jolloin kokonaisuuden hallinta ja optimointi tehostuu entisestään. Molemmat nämä kysymykset ovat BC-DC hankkeen tutkimuskeskiössä.

4. Mikä on hankkeen tuoma lisäarvo tämän ongelman ratkaisuun?

Sähkömarkkinan muutoksen keskeiset ajurit ovat luonteeltaan sellaisia, että ne edellyttävät useiden tieteenalojen piirissä tehtäviä innovaatioita. BC-DC hanke on organisoitu juuri näitä tarpeita ja kehitystehtäviä ajatellen. Kukin tutkimusryhmä vastaa oman tieteenalansa näkökulmasta näiden uusien haasteiden ratkaisemisesta. Hankkeen erityinen lisäarvo toteutuu yhdistämällä näitä tieteenalakohtaisia uusia ratkaisuja luovalla tavalla tuottamalla yhdessä sellainen ratkaisu, joka on sekä taloudellisesti, teknisesti että yhteiskunnallisesti tehokas ja kestävä.

5. Millä keinoilla konsortio tekee tämän?

Kunkin tutkimusryhmän toiminta organisoidaan tätä tavoitetta palvelevaksi aikataulutetuksi toiminnaksi. Hankkeen tieteellinen yhteistyö tiivistyy tutkimusryhmien keskinäisen vuorovaikutuksen ja yhteistyön avulla. Yhteistyötä tehdään systemaattisesti eri ryhmien ja koko hankkeen kesken sisältäen teknisen viestinnän, kasvokkain tapaamiset, tieteelliset seminaarit ja muut tapahtumat. Hankkeen käytännöllinen orientaatio edellyttää myös, että onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi tarvitaan käytännön toimijoiden ymmärrystä ja näkemystä. Tämän kannalta on tärkeää sitouttaa hankkeen Advisory Boardin yritykset aitoon, avoimeen ja luovaan yhteistyöhön niin, että kaikki osapuolet ymmärtävät hankkeen pyrkivän yhteisen edun saavuttamiseen.

Hankkeen luoman lisäarvon toteutumisen kannalta on olennaista, että poliittinen päätöksenteko tukee käynnissä olevaa energiamurrosta ja pyrkii poistamaan sen toteutumisen tiellä olevia esteitä hankkeen tulosten edellyttämällä tavalla. Tämä tavoite saavutetaan parhaiten avoimella vuorovaikutteisella kommunikaatiolla.

Laajemman yleisön näkemykset ja tietotaso kartoitetaan ja huomioidaan hankkeen alusta alkaen. Hankkeen vuorovaikutuksen ja viestinnän keinoin pyritään tämän tiedon pohjalta osallistamaan laajempi yleisö tulevan energiamurroksen hallitukseksi toteuttamiseksi. Hankkeen käytännön

sovellettavuus varmistetaan kehittämällä hankkeen aihepiiristä kiinnostunut aktiivinen älykkäiden energiasovellusten yhteisö.

Kirjallisuutta

- Borenstein, S. (2005), "The Long-Run Efficiency of Real-Time Electricity Pricing", *Energy Journal* 26: 1-24.
- Borenstein, S. (2007a), "Customer Risk from Real-Time Retail Electricity Pricing: Bill Volatility and Hedgeability", *Energy Journal* 28: 111-130.
- Borenstein, S. (2007b), "Wealth Transfers Among Large Customers from Implementing Real-Time Retail Electricity Pricing", *Energy Journal* 28: 131-150.
- Borenstein, S. (2009), "Electricity Pricing that Reflect Its Real-Time Cost", *NBER Reporter*, 9-12.
- Borenstein, S. ja Bushnell, J. (1999), "An Empirical Analysis of the Potential for Market Power in a Deregulated California Electricity Industry", *Journal of Industrial Economics* 47: 285-323.
- Borenstein, S., Bushnell, J. ja Wolak, F. (2002), "Measuring Market Inefficiencies in California's Deregulated Wholesale Electricity Market", *American Economic Review* 92: 1376-1045.
- Borenstein, S. ja Holland, S. (2005), "On the Efficiency of Competitive Electricity Markets with Time Invariant Retail Prices", *The Rand Journal of Economics* 36: 469-493.
- Gowrisankaran, G., Stanley, S. R. and Samano, M. (2014). Intermittency and the Value of Renewable Energy. NBER Working Paper No. 17086.
- Helynen, S., Hongisto, M., Hämäläinen, J., Korhikoski, M., Kurkela, E., Kytö, M., ... & Vanttola, T. (2004). *Energia suomessa tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset*. 3. Täysin uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Hirth, L., Ueckerdt, F. and Edenhofer O. (2015). Integration Costs Revisited – An Economic Framework for Wind and Solar Variability. *Renewable Energy* 74: 925-939.
- Ikäheimo, J., Evens, C. ja Kärkkäinen, S. (2010), DER Aggregator Business: The Finnish Case. *VTT Research Report* VTT-R-06961-09.
- Joskow, P. L. ja Kahn, E. (2002), "A Quantitative Analysis of Pricing Behavior in California's Wholesale Electricity Market During Summer 2000", *The Energy Journal* 23: 1-35.
- Jäppinen, J. (2015). Fingridin kysyntäjoustopilottien esittely. Markkinatoimikunta helmikuu 2015. Available at: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Markkinatoimikunta/2015/20150210%20Markkinatoimikunta%20-%203%20-%20Fingridin%20kysynt%C3%A4joustopilottit.pdf>. Cited 22.6.2015.
- Koponen, P. (2014). DSM situation in Finland in 2014. Contribution to the IEA DSM Annual Report 2014. VTT Technical research Centre of Finland, Espoo.
- Kopsakangas-Savolainen, M. ja Svento, R. (2012a), *Modern Energy Markets; Real-Time Pricing, Renewable Resources and Efficient Distribution*, Springer UK, London.
- Kopsakangas-Savolainen, M. ja Svento, R. (2012b), Real-Time Pricing in the Nordic Power Markets. *Energy Economics*, Vol 34, Issue 4. pp. 1131-1142.
- Kopsakangas-Savolainen, M. ja Svento, R. (2013a), Promotion of Market Access for Renewable Energy in the Nordic Power Markets, *Environmental and Resource Economics* 54: 549-569.
- Kopsakangas-Savolainen, M. ja Svento, R. (2013b), Economic value approach to intermittent power generation in the Nordic power markets. *Energy and Environment Research*, Vol. 3, No. 2, Dec.
- Kopsakangas-Savolainen, M. ja Svento, R. (2014), Hydropower production profiles: impacts on capacity structure, emissions and windfall profits. *Journal of Energy*, Vol. 2014, Article ID 710414.
- Nordic Market Report 2014, Development in the Nordic Electricity Market. Nordic Energy Regulators, Report 4/2014.
- Motiva, "The ESCO Concept," 2009.
- A. Sinkkonen, "Barriers of ESCO Service Business in Finland," Master's thesis, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, 2013.

Wang, Q., Zhang, C., Ding, Y., Xydis, G., Wang, J., & Østergaard, J. (2015). Review of real-time electricity markets for integrating Distributed Energy Resources and Demand Response. *Applied Energy*, 138, 695-706.