



Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)

Citation

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., ... Belonogova, N. (2015). Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportin tiivistelmä. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Year

2015

Version

Publisher's PDF (version of record)

Link to publication

[TUTCRIS Portal \(http://www.tut.fi/tutcris\)](http://www.tut.fi/tutcris)

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright, please contact tutcris@tut.fi, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)

-

Loppuraportin tiivistelmä

Pertti Järventausta, Sami Repo, Petri Trygg, Antti Rautiainen,
Antti Mutanen, Kimmo Lummi, Antti Supponen, Juhani Heljo,
Jaakko Sorri, Pirkko Harsia, Martti Honkiniemi, Kari Kallioharju,
Veijo Piikkilä, Jaakko Luoma, Jarmo Partanen, Samuli Honkapuro,
Petri Valtonen, Jussi Tuunanen, Nadezda Belonogova

Tampereen teknillinen yliopisto - Tampere University of Technology

Pertti Järventausta, Sami Repo, Petri Trygg, Antti Rautiainen, Antti Mutanen, Kimmo Lummi, Antti Supponen, Juhani Heljo, Jaakko Sorri, Pirkko Harsia, Martti Honkinie-
mi, Kari Kallioharju, Veijo Piikkilä, Jaakko Luoma, Jarmo Partanen, Samuli Honkapu-
ro, Petri Valtonen, Jussi Tuunanen, Nadezda Belonogova

Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)

Loppuraportin tiivistelmä

Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan laitos

Tampere 2015

ISBN 978-952-15-3486-7

ESIPUHE

Energiateollisuus ry:n koordinoima energia-alan sähköverkko- ja palveluntuotantoalan tutkimusta edistävä yhteistoimintaelin Sähkötutkimuspooli (ST-pooli) käynnisti vuonna 2013 tutkimushankkeen ”Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR-pooli)”, joka alkoi 1.8.2013 ja päättyi 31.3.2015.

Tässä raportissa esitetään yhteenveto tutkimusprojektikonaisuudesta, jonka päärahoittajana on toiminut Sähkötutkimuspooli (ST-pooli), ja jonka rahoitukseen sekä johtoryhmätyöskentelyyn projektiosapuolina on osallistunut yhteensä 15 yritystä ja järjestöä.

Tutkimusprojektin toteutuksesta ovat vastanneet yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY), Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) ja Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) tutkimusryhmät. Tutkimuksen toteutukseen ovat osallistuneet seuraavat henkilöt:

- TTY / Sähkötekniikan laitos: prof. Pertti Järventausta, prof. Sami Repo, TkT Petri Trygg, DI Antti Rautiainen, DI Antti Mutanen, DI Kimmo Lummi, tekn. yo. Antti Supponen
- TTY / Rakennustekniikan laitos: DI Juhani Heljo ja DI Jaakko Sorri
- TAMK / Rakentaminen ja teknologia-yksikkö: yliopettaja Pirkko Harsia, lehtori Martti Honkiniemi, lehtori Kari Kallioharju, lehtori Veijo Piikkilä, tekn. yo Jaakko Luoma
- LUT / Sähkömarkkinalaboratorio: prof. Jarmo Partanen, TkT Samuli Honkapuro, DI Petri Valtonen, DI Jussi Tuunanen, DI Nadezda Belonogova

Tutkimusprojektin toteutusta on ohjannut ja valvonut johtoryhmä, johon on kuulunut edustajia kaikista hankkeen projektiosapuolista, joita ovat olleet Sähkötutkimuspooli, Energiateollisuus ry (Sähköverkko ja Sähkökauppa), Ympäristöministeriö, Elenia Oy, Turku Energia Sähköverkot Oy, ABB Oy (Wiring Accessories), Enoro Oy, Empower IM Oy, Landis+Gyr Oy, Schneider Electric Buildings Finland Oy, Senaattikiinteistöt Oy, Sähköinfo Oy, TeliaSonera Finland Oyj. Lisäksi tutkimusprojektia ovat rahoittaneet Ulla Tuomisen säätiö ja Sähköturvallisuuden edistämiskeskus (STEK).

Tutkimusprojektin toteutukseen on liittynyt keskeisesti myös yritysten ja eri sidosryhmien kanssa järjestetyt työpajat.

TIIVISTELMÄ

Perinteisessä sähköenergiajärjestelmässä vaihtelevaan kulutukseen on sopeuduttu tuotantoa säätämällä esim. vesivoima- ja lauhdevoimalaitosten avulla. Jatkossa yhä suurempi osa tuotannosta on sellaista, jota ei teknisesti voida tai ei taloudellisesti kannata säätää, kuten sääriippuva tuuli- ja aurinkovoima, sekä tasaisesti ajettava ydinvoima. Kuormitus tarjoaa edullisen ratkaisun lisätä järjestelmään joustavuutta ainoastaan säätökapasiteetiksi rakennettavan sähköntuotannon sijaan. Tuntitason tehotasapainon hallinnan lisäksi joustavasti ohjattavissa oleva kuormitus muodostaa merkittävän potentiaalin myös voimajärjestelmän erilaisille nopeille reserveille. Näiden tarve korostuu järjestelmässä olevan pyörivän massan (inertian) määrän vähentyessä.

Valtakunnallisten tehohippujen aikaan sähköenergian hinta yleensä nousee selvästi. Samaan aikaan käytössä on yleensä paljon päästöjä aiheuttavia energiantuotantomuotoja. Kysynnän jouston avulla voidaan sähkönkulutusta siirtää kalliista tehohippuista edullisempiin ajankohtiin. Mikäli kysyntäjouston seurauksena tuotanto muuttuu esimerkiksi hiililauhteella tuotetusta sähköstä vesivoimaksi, pienentyvät myös sähköntuotannon päästöt. Sähkönjakeluverkon tasolla saattaa kuitenkin esiintyä tilanteita, jolloin paikallisen verkon huippukuormitus osuu ajankohtaan, jolloin halpa energia ja kysynnän jousto lisäävät entisestään verkon huippukuormitusta. Tämä lisää osaltaan kysynnän jouston problematiikkaa.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen on taustalla myös uusissa rakentamiseen liittyvissä energiatehokkuusmääräyksissä, joiden tavoitteena on ohjata rakentamista yhä energiatehokkaampaan ja uusiutuvia energialähteitä hyödyntävään suuntaan. Energiatehokkuutta arvioitaessa tuleekin kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota myös hetkellisiin tehohippuihin ja käyttöprofiileihin. Kysynnän jouston tarve ja tavoitteet tulee nähdä myös tarpeellisena osana tulevassa lähes nollaenergia eli nZEB-rakentamisessa.

Kysynnän jousto sisältää laajan joukon erilaisia toimintoja, joiden merkitys, tarve ja ansaintalogiikka vaihtelevat toimijan näkökulmasta. Kysynnän joustolla voidaan ymmärtää välillinen esimerkiksi hinnoittelurakenteilla toteutettava vaikuttaminen asiakkaan käyttäytymiseen, vaihtelevaan energian hintaan pohjautuvat suorat ohjaustoimenpiteet sekä siirto- ja jakeluverkon tarpeista tulevat ohjaukset, kuten kuorman toimiminen kantaverkko-yhtiön reservinä tai yötariffiin kytketyn kuorman porrastaminen. Seuraavassa on kuvattu lyhyesti kysynnän jouston mahdollisuuksia ja tarpeita eri toimijoiden näkökulmasta:

- **Kantaverkko-yhtiölle** kysynnän jousto tarjoaa mahdollisuuksia tehotasapainon hallintaan ja taajuuden säätöön käyttö- ja häiriöreservien osalta sekä mahdollisesti myös joustavuutta tehopula -tilanteiden hallintaan.
- Sähkön **vähittäismyyjä** voi hyödyntää kysynnän joustoa sähkön hankinnan suunnittelussa, tasevastaavana oman taseensa hallinnassa muiden toimenpiteiden rinnalla, säätösähkömarkkinoiden tarjouksissa sekä uusien tuotteiden ja oman liiketoiminnan kehittämisessä.
- **Jakeluverkko-yhtiö** voi hyödyntää kysynnän jouston mahdollisuuksia pitkän aikavälin verkon suunnittelussa verkon mitoitustehon näkökulmasta sekä reaaliaikaisessa käyttötoiminnassa esim. poikkeustilanteiden aikaisen huipputehon hallinnassa.
- Sähkön **loppukäyttäjän** näkökulmasta kysynnän jousto mahdollistaa mm. sähkön käytön edullisen hinnan aikana, ostosähkön vähentämisen, oman pientuotannon täysimääräisen hyödyntämisen, huipputehojen pienentämisen sekä mahdollisesti liittymäkoon rajoittamisen.

- **Laite- ja järjestelmätoimittajille sekä palvelun tarjoajille** (esim. kuormia aggregoiva ”jousto-operaattori”) kysynnän jousto tarjoaa uusia tuote- ja liiketoimintamahdollisuuksia.

Kysynnän jouston laajamittainen hyödyntäminen edellyttää eri toimijoiden välistä yhteistyötä.

Etäluettavat energiamittarit (AMR, Automated Meter Reading), joiden osalta Suomi on edelläkävijä maailmanlaajuisesti, mahdollistavat todelliseen tuntikulutukseen pohjautuvan taseselvityksen sekä vähittäismarkkinoille uusia tunti hinnoitteluun perustuvia hinnoittelumalleja. Nämä puolestaan mahdollistavat asiakkaan osallistumisen kysynnän jouston tuntimarkkinoille. Lisäksi etäluentajärjestelmää käytetään jo tänä päivänä kuormien ohjaamiseen asiakkaan käytössä olevien tariffien mukaisesti (esim. yö-/päiväsähkö). Olemassa olevaa AMR-infrastruktuuria on kansantaloudellisessa mielessä järkevää käyttää myös suoraan kuorman ohjaukseen siinä määrin kuin asennettu infrastruktuuri sen mahdollistaa.

Kysynnän jouston potentiaalia tarkasteltiin energian kulutuksen ja tyypillisimpien laitetehojen lähtökohdista. Vuodenajasta, vuorokaudesta ja vuorokauden tunnista riippuen potentiaalit vaihtelevat voimakkaasti. Suurimmat ohjauspotentiaalit ovat lämmityskaudella sähkölämmityksessä sekä käyttöveden lämmityksessä läpi vuoden. Mahdollisuuksia on myös isompien kiinteistöjen ilmanvaihdon, jäädytyksen ja valaistuksen ohjauksessa sekä mm. ulkovalaistuksessa, auto- lämmityksissä, erilaisissa lisälämmitysvastuksissa sekä erikoiskohteissa, kuten kasvihuoneet.

Tehtyjen analyysien ja verkkoyhtiöille tehdyn kyselyn perusteella AMR-mittareiden ohjausaikatauluun kytketyn ohjausreleen kautta on ohjattavassa yli 1 000 MW pääosin erilaista sähkölämmitys- ja lämminvesivaraajakuormaa. Tämä ohjattavissa oleva kuormitus olisi otettavissa käyttöön hyvinkin nopeasti, ja hyödynnettävissä esim. day-ahead (Elspot) -markkinoilla toimittaessa. Käytännön toteutus vaatii kuitenkin vielä tietojärjestelmärajapintojen standardointia siten, että ohjaussignaalit kulkevat saumattomasti sähkömyyjien ja verkkoyhtiöiden välillä. AMR-mittareiden ns. kuormanohjausreleeseen on kytkettynä samaa suuruusluokkaa oleva määrä ohjattavaa kuormaa, jota voitaisiin hyödyntää päivän sisällä tapahtuvissa ohjauksissa (intra-day (Elbas), säätösähkömarkkina). Riittävän nopeaan ja luotettavaan tiedonsiirtoon sekä mittareiden ja keskusten asennuksiin liittyy ohjausaikatauluun perustuvaan ohjaukseen verrattuna enemmän teknisiä haasteita. Jakeluverkkoyhtiöiden valvontamallia, esim. innovaatiokannustimen muodossa, tuleekin kehittää siten, että se luo kannusteita verkkoyhtiöille edistää AMR-mittareiden kautta ohjattavissa olevan ohjauspotentiaalin täysimääräistä hyödyntämistä.

Day-ahead ja intra-day markkinoita merkittävämmän taloudellisen potentiaalin tarjoavat kanta-verkkoyhtiön olemassa olevat, maailmanlaajuisesti edistykselliset, käyttö- ja häiriöreservimarkkinat. Nykyistä AMR –teknologiaa ei voida sellaisenaan käyttää nopeisiin ohjauksiin, vaan reservimarkkinoille tarjottava kuorman ohjaus vaatii teknisesti kehittyneempiä ratkaisuja. Todennäköisesti reservimarkkinoille tarjottava kysynnän jousto laajenee ensin isompien kiinteistöjen kuormien ohjauksista; esim. reservimarkkinoille hyvin soveltuvat ilmanvaihto-, jäädytys- ja valaistuskuormat muodostavat satojen megawattien suuruisen kuormituksen valtakunnan tasolla.

Isompien kiinteistöjen (palvelu-, liike ja toimistorakennukset) ohjauksissa kiinteistöautomaatiojärjestelmät ovat ensisijainen ratkaisu kysynnän jouston toimintojen kehittämiseen. Myös pienasiakkaiden (kotitalous- ja vapaa-ajan kiinteistöt) kuormien ohjauksissa tarvitaan AMR-mittaria kehittyneempiä järjestelmiä, jos halutaan tarjota ohjauksia reservimarkkinoille tai toteutetaan älykkäämpiä ohjauksia, esim. kun asiakkaalla on omaa pientuotantoa. Taloudellinen kannattavuus on yleisesti ottaen sitä parempi, mitä reaaliaikaisemmillä markkinoilla operoidaan.

Sähkön myyjän näkökulmasta Day-ahead tai intra-day markkinoihin tai tasehallintaan liittyvällä kysynnän joustolla saavutettavien taloudellisten hyötyjen realisoitumista edesauttaa se, että kysynnän jouston toteutukseen vaadittava infrastruktuuri on lähes valmiina. Mikäli kysyntäjoustotuotteen tarjoaa joku muu kuin asiakkaan sähkömyyjä, tulee luoda menettely, jolla ratkaistaan tasevastuuseen liittyvät kysymykset.

Sähkömyyjällä ja jakeluverkkoyhtiöllä on periaatteellinen eturistiriita suhteessa kysynnän joustoon. Kun kuormituksia ohjataan kaikille asiakkaille yhtenäisen ohjaussignaalin, kuten sähkön markkinahinnan perusteella, vähenee normaali kuormien risteily, mikä kasvattaa verkon tehoja. Tehopohjaisen maksukomponentin sisältävä siirtotariffi puolestaan luo asiakkaalle kannusteen kiinnittää huomiota myös omiin huipputehoihin. Todellisella jakeluverkolla ja kuormitustiedoilla tehdyissä simuloinneissa ilmeni, että tarkastellussa jakeluverkossa huipputehot (suurin tuntikeskiteho) kasvavat merkittävästi, mikäli kuormia ohjataan markkinaperusteisesti. Tätä kuormien kasvua on simulointien perusteella mahdollista tasoittaa tehopohjaisilla siirtotariffeilla. Tehopohjainen hinnoittelu voidaan toteuttaa esim. asiakkaan toteutuneeseen huipputehoon tai liittymispisteeseen määriteltyyn tehorajaan tai -kaistaan perustuvan maksukomponentin avulla. Sähkön myyjän hinnoittelu voi siitä huolimatta perustua edelleen tuntihinnoitteluun, esim. spot-hintaan, jolloin asiakkailla on kannuste optimoida kuormia myös markkinahintojen perusteella. Tehopohjainen hinnoittelu voidaan nähdä jopa edellytyksenä järjestelmän kokonaistehokkuuden toteutumisen näkökulmasta, jotta markkinahinta-pohjaisella ohjauksella saavutettava hyöty ei eliminoidu verkon kapasiteettitarpeen kasvamisena ja siten asiakkaiden korkeampina siirtomaksuina.

Keskeistä kysynnän jouston laajamittaiselle hyödyntämiselle on muodostaa kokonaisvaltainen näkemys kysynnän jouston toiminnallisuudesta ja eri toimijoiden mahdollisesti ristikkäisistäkin rooleista, kaikkien toimijoiden liiketoimintaa tukevasta markkinamallista, tiedonsiirto-rajapintojen yhteensovittamisesta sekä kysynnän joustoa edistävän lainsäädännön kehittämisestä. Erityisesti kysyntäjouston ansaintalogiikka vaatii kehittämistä, asiakkaiden ymmärrystä tulee lisätä ja asiakkaille tulee tarjota kannusteita kysynnän joustoon osallistumiseen. Kuorman ohjauksen käyttöönotto edellyttää myös uusien ja uusittavien kiinteistöjen sähköverkon ja laitevalintojen suunnittelun tavoitteellista ohjausta. Lainsäädäntöön liittyvien kysymysten lisäksi keskeisiä esteitä kysynnän jouston toteutumiselle yleisesti ovat hajanainen toimialakenttä (suuri määrä erilaisia toimijoita), standardoimattomat prosessit, tietojärjestelmien rajapinnat ja toimintavasteiden suuri hajonta, sekä asiakkaan kuormien ohjattavuustiedon puuttuminen.

Tutkimusprojektin lopputuloksena esitetään lukuisa joukko toimenpiteitä, joilla voidaan edesauttaa laajamittaisen kysynnän jouston yleistymistä. Vastuu toimenpiteistä jakautuu laajasti toimialan yrityksille (mm. sähkön myyjät ja verkkoyhtiöt), toimialan järjestöjen edustajille sekä viranomaisille. Toimenpiteet liittyvät:

- kysynnän jouston **tuotteistamiseen** sähkön myyjän ja jakeluverkkoyhtiön toimintojen osalta,
- eri sidosryhmien **informointiin** ja koulutukseen,
- **toimintatapojen yhtenäistämiseen** toimintaprosessien sekä teknisten järjestelmien osalta,
- **lainsäädännön, viranomaismääräysten ja ohjeiden kehittämiseen**, joihin sisältyy erityisesti verkkoliiketoiminnan valvontamallin ja rakennusmääräysten kehittäminen.

Vaikka kysynnän jouston laajamittainen käyttöönotto edellyttää vielä paljon erilaisia toimenpiteitä, niin olemassa oleva infrastruktuuri ja markkinapaikat sekä meneillään oleva kehitystyö luo uskoa kysynnän jouston laajamittaisen toteutuksen käynnistymiselle lähitulevaisuudessa.

ABSTRACT

This research report provides the results of the research project called “*Demand Response – Practical Solutions and Impacts for DSOs in Finland*”. This research work was carried out between August 2013 and January 2015 in collaboration with Tampere University of Technology, TUT (electrical and civil engineering), Tampere University of Applied Sciences, TAMK, and Lappeenranta University of Technology, LUT. Project was funded by Finnish Electricity Research Pool, Finnish Energy Industries, STEK (the Finnish Association for Electrical Safety), Ulla Tuominen Foundation, Ministry of Environment, Elenia Oy, Turku Energia Sähköverkot Oy, ABB Oy (Wiring Accessories), Enoro Oy, Empower IM Oy, Landis+Gyr Oy, Schneider Electric Buildings Finland Oy, Senaattikiinteistöt Oy, Sähköinfo Oy, and TeliaSonera Finland Oyj.

The main objectives of the research project have been to solve out how different demand response (DR) resources can be utilized for different purposes, and what would be applicable technical solutions for load control in new and existing buildings. Furthermore, one aim has been to analyze the impacts of the DR for distribution system operators (DSO), and to suggest how DSOs can alleviate possible negative impacts of the market based demand response. Research work has included questionnaires to stakeholders, expert workshops, and technical and economic simulations, in which real-life market, consumption, network, and building data have been applied.

Five main tasks of the research project have been

- 1) Requirements and pricing and market structures for DR
- 2) Technical and economic potential of the DR in Finland
- 3) Technical solutions for load control in building installations
- 4) The impacts of the DR for DSOs
- 5) Legislation and regulation

In addition to research reports, results have been or will be reported in following scientific publications, which can be downloaded from project website (<http://dr.wordpress.tamk.fi>).

- Honkapuro S., et. al., “Demand Response in Finland – Potential Obstacles in Practical Implementation”. Proceedings of 12th Nordic Conference on Electricity Distribution System Management and Development (NORDAC 2014), Stockholm, September 2014
- Honkapuro S., et.al, “Practical Implementation of Demand Response in Finland”. Accepted to 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, June 2015
- Lummi K., et. al., “Implementation Possibilities of Power-based Distribution Tariff by using Smart Metering Technology”. Accepted to 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, June 2015
- Valtonen P., et. al, “Economic potential of load control in balancing power market.” Accepted to 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, June 2015
- Rautiainen et. al., “Power-based Distribution Tariffs of Small Customers as Incentives for Demand Response – Case Study of a Real DNO’s Network”. Submitted article to IEEE Transactions to Smart Grids
- Honkapuro S., et. al., “Demand Side Management in Open Electricity Markets from Retailer Viewpoint”. Accepted to 12th International Conference on the European Energy Market, Lisbon, Portugal, May 2015
- Supponen A., et. al., “Network Impacts of Distribution Tariff Schemes with Active Customers”. Submitted abstract to PowerTech2015 conference in Eindhoven, Netherlands, 29 June - 2 July 2015

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 8 |
| 1.1 | TUTKIMUSPROJEKTIN TAVOITTEET JA OSATEHTÄVÄT | 8 |
| 1.2 | TUTKIMUSPROJEKTIN TOTEUTUS, VERKKOAINEISTO JA JULKAISUT | 9 |
| 2 | KYSYNNÄN JOUSTON TARPEET JA HYÖDYT ERI TOIMIJOILLE | 12 |
| 2.1 | YLEISTÄ | 12 |
| 2.2 | KYSYNNÄN JOUSTON INFRASTRUKTUURI | 15 |
| 2.3 | KYSYNNÄN JOUSTON HYÖDYT JA VAIKUTUKSET ERI TOIMIJOILLE | 19 |
| 3 | TUTKIMUSPROJEKTIN KESKEISET TULOKSET | 22 |
| 3.1 | KYSYNNÄN JOUSTON TEKNINEN POTENTIAALI JA ASIAKASPÄÄN TEKNISET RATKAISUT | 22 |
| 3.1.1 | <i>Tekninen potentiaali</i> | 22 |
| 3.1.2 | <i>Asiakaspään tekniset ratkaisut</i> | 28 |
| 3.2 | KYSYNNÄN JOUSTON TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS | 31 |
| 3.3 | KYSYNTÄJOUSTON VAIKUTUKSET JAKELUVERKKOYHTIÖILLE | 33 |
| 3.4 | KYSYNNÄN JOUSTON TOTEUTUSMAHDOLLISUUDET ERI MARKKINAPAIKOILLA | 35 |
| 3.5 | KYSYNNÄN JOUSTON LAAJAMITTAISEN SOVELTAMISEN ESTEITÄ | 36 |
| 4 | TOIMENPIDE-EHDOTUKSET | 38 |

1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään yhteenveto Tampereen teknillisen yliopiston (TTY), Lappeenrannan teknillisessä yliopiston (LUT) ja Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) tutkimusryhmien yhteistyönä toteuttamasta tutkimusprojektikokonaisuudesta. Raportissa kuvataan eri osatehtävien toteutusta ja keskeisiä tuloksia, joita on kuvattu laajemmin ja yksityiskohtaisemmin hankkeen loppuraportissa sekä sen aikana tehdyissä kansainvälisissä julkaisuissa ja opinnäytetöissä sekä muissa erillisdokumenteissa, jotka löytyvät projektin verkkosivulta.

Tutkimusprojektin toteutuksessa on myös hyödynnetty rinnakkaisten hankkeiden tuloksia, erityisesti Cleen Oy:n 5-vuotinen tutkimusohjelma ”Smart Grids and Energy Market (SGEM)”. Projektin aikana on myös osallistuttu mm. ”FInZEB - Lähes nollaenergiarakentaminen Suomessa” -kehityshankkeeseen sekä vaikutettu aihepiiriin liittyvään lainsäädännön ja suositusten kehittämiseen mm. osallistumalla Energiatehokkuuslain kommentointiin ja käsittelyyn Eduskunnassa.

Tutkimusprojektin aihe on ollut hyvin ajankohtainen, mikä näkyy mm. siinä, että toimialan yritykset ovat selvästi aktivoituneet viimeisten kahden vuoden aikana kysynnän jouston toimintojen kehittämiseen, pilotointiin ja tuotteistamiseen.

1.1 *Tutkimusprojektin tavoitteet ja osatehtävät*

Kysynnän joustoon liittyvä lähestymistapa on tutkimusprojektissa ollut käytännön kysymyksiin liittyvä, näkökulman ollessa kuitenkin hyvin laaja-alainen. Keskeistä kysynnän jouston laajamittaiselle hyödyntämiselle on teknisten kysymysten lisäksi muodostaa kokonaisvaltainen näkemys kysynnän jouston toiminnallisuudesta ja eri toimijoiden mahdollisesti ristikkäisistäkin rooleista, kaikkien toimijoiden liiketoimintaan tukevasta markkinamallista, tiedonsiirto-rajapintojen yhteensovittamisesta sekä kysynnän joustoa edistävän lainsäädännön kehittämisestä.

Tutkimusprojektin kokonaisvaltaisena tavoitteena on ollut muodostaa näkemys siitä, miten ja millä aikataululla erilaisia kuormanohjausresursseja voidaan hyödyntää eri kysynnän jouston toiminnoissa sekä tarkastella kysyntäjouston roolia jakeluverkkoyhtiöiden kannalta. Yhtenä keskeisenä tavoitteena on ollut selvittää Suomeen soveltuvat käytännön tekniset ratkaisut kuorman ohjaamiseksi olemassa olevissa rakennuksissa ja toisaalta uusissa tyyppitaloissa. Lisäksi tavoitteena on ollut määritellä suosituksia liittyen tekniseen kiinteistön sähköverkon suunnitteluun, lainsäädännön muutostarpeisiin ja sähkömarkkinoiden kehittämiseen sekä analysoida kysynnän

joustopuolien vaikutuksia jakeluverkkoyhtiöille ja näiden mahdollisuuksia vastata näihin vaikutuksiin. Tarkasteluissa on otettu huomioon, millä aikajänteellä mahdollisia ratkaisuja voidaan hyödyntää, huomioiden lyhyellä aikavälillä sovellettavat ratkaisut ja pidemmällä aikavälillä tapahtuva kehitys liittyen mm. älykkäiden automaatiojärjestelmien, sähköautojen ja paikallisen pientuotannon yleistymiseen.

Tavoitteena on ollut luoda myös näkemys siitä, miten alan käytänteitä ja osaamista kehitetään niin, että uudiskohteiden asennuksissa sekä olemassa olevien kiinteistöjen muutos- ja lisäasennuksissa osataan ottaa huomioon kuormanohjauksen tarpeet ja tavoitteet. Merkittävänä osana tulosten jalkauttamista on tiedon suora siirtyminen osaksi alan koulutusta niin yliopisto- kuin AMK-tasolla.

Tutkimus on rajattu ensisijaisesti Suomessa käytettävään infrastruktuuriin sekä nykyisiin sähkömarkkinoiden toimintatapoihin ja lainsäädäntöön. Muissa maissa sovellettavia käytäntöjä ja kehitystyötä ei projektissa ole laajemmin selvitetty.

Tutkimusprojekti on jakautunut viiteen osatehtävään, joiden toteutus on tapahtunut projektiosapuolien yhteistyönä:

- Kysynnän joustopuolien tarpeet, hinnoittelurakenteet ja markkinamekanismit
- Kysynnän joustopuolien teknis-taloudellinen potentiaali
- Kuluttajapään tekniset ratkaisut erilaisissa kohteissa
- Kysyntäjoustopuolien vaikutukset jakeluverkkoyhtiöille
- Lainsäädäntö ja viranomaisvalvonta

Tutkimusprojektin keskeiset tulokset on esitetty tiivistetysti luvussa 2 ja yksityiskohtaisemmin raportin muissa luvussa.

1.2 Tutkimusprojektin toteutus, verkkoaineisto ja julkaisut

Osana tutkimusprojektia toteutettiin jakeluverkkoyhtiöille, sähkön myyntiyhtiöille, urakoitsijoille ja sähkösuunnittelijoille sekä AMR-mittaritoimittajille kohdennetut laajat kyselytutkimukset, joita on esitelty tarkemmin laajemmassa loppuraportissa.

Tutkimusprojektissa tehtiin laajasti erilaisia laskennallisia tarkasteluja ja simuloituja, joissa hyödynnettiin mm. erään myyntiyhtiön todellista aineistoa talvikuukausilta (n. 290 GWh kokonaismyynti), erään jakeluverkkoyhtiön verkkotietoja (110/20 kV:n sähköaseman syöttämä keski-

jänniteverkko (457 km), 469 jakelumuuntajaa ja pienjänniteverkko (793 km) ja kyseisen verkkoalueen asiakkaiden (7612 kpl) todellisia tuntitehomittauksia useammalta vuodelta, yksittäisten kohteiden tarkempia mittauksia (mm. Vuoreksen asuntomessualue) sekä erilaisia rakennuskantaa ja energiankäyttöön liittyviä tietokantoja. Ohjauspotentiaaleja arvioitiin energiankulutustietojen sekä tyypillisten laite- ja mitoitustietojen pohjalta, jolloin syntyi kuva kokonaispotentiaalista ja todennäköisistä ohjausmahdollisuuksista. Tunnuslukujen valossa tarkasteltu verkkoalue edustaa kohtalaisen hyvin keskimääräistä suomalaista jakeluverkkoa.

Tutkimusprojektin toteutukseen on liittynyt keskeisesti myös yritysten ja eri sidosryhmien kanssa järjestetyt työpajat (yht. 4 kpl), joissa toisaalta tutkijat saivat arvokasta tietoa yrityksiltä ja toisaalta mahdollistivat osaltaan projektin tulosten leviämistä alan toimijoiden keskuuteen. Tutkimusprojektin aikana järjestettyjä työpajoja on kuvattu tarkemmin laajemmassa loppuraportissa. Projektin tuloksia on esitelty projektin aikana myös useammassa toimialan seminaareissa.

Tutkimusprojektin julkinen dokumentaatio löytyy projektin verkkosivulta osoitteesta:

<http://dr.wordpress.tamk.fi/>

Tutkimusprojektin tuloksien pohjalta on valmistunut/valmistumassa useita kansainvälisiä konferenssi- ja lehtijulkaisuja. Valmisteilla on kevään 2015 aikana myös useampi julkaisu kotimaisiin alan lehtiin. Tutkimustuloksia sisältyy useampaan jo valmistuneeseen tai v. 2015 valmistuvaan opinnäytetyöhön. Loppuraportin lisäksi projektiin liittyvää muuta dokumentaatio on listattu seuraavassa:

- Kansainväliset julkaisut
 - Honkapuro S., et. al., Demand Response in Finland – Potential Obstacles in Practical Implementation. Proceedings of 12th Nordic Conference on Electricity Distribution System Management and Development (NORDAC 2014), Stockholm, September 2014
 - Honkapuro S., et.al, Practical Implementation of Demand Response in Finland. Accepted to 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, June 2015
 - Lummi K., et. al., Implementation Possibilities of Power-based Distribution Tariff by using Smart Metering Technology. Accepted to 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, June 2015

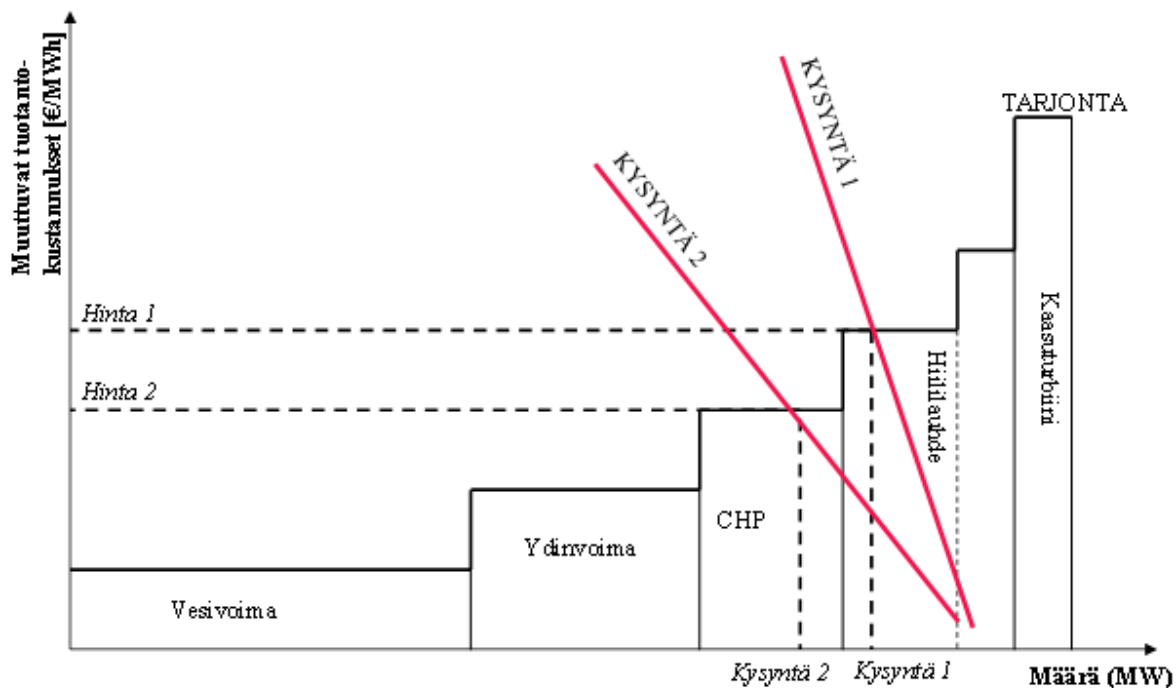
- Valtonen P., et. al, Economic potential of load control in balancing power market. Accepted to 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, June 2015
- Rautiainen et. al., Power-based Distribution Tariffs of Small Customers as Incentives for Demand Response – Case Study of a Real DNO's Network. Submitted article to IEEE Transactions to Smart Grids
- Honkapuro S., et. al., Demand Side Management in Open Electricity Markets from Retailer Viewpoint. Accepted to 12th International Conference on the European Energy Market, Lisbon, Portugal, May 2015
- Supponen A., et. al., Network Impacts of Distribution Tariff Schemes with Active Customers. Submitted abstract to PowerTech2015 conference in Eindhoven, Netherlands, 29 June - 2 July 2015
- Opinnäytetyöt (joihin sisältyy DR-pooli projektin tuloksia)
 - Rautiainen Antti, Aspects of electric vehicles and demand response in electricity grids. Väitöskirjan käsikirjoitus, 2015
 - Tuunanen Jussi, Effects of the network load changes on electricity distribution business. Väitöskirjan käsikirjoitus, 2015
 - Valtonen Petri, Utilization of DER as part of electricity retailer profit optimization in a smart grid environment. Väitöskirjan käsikirjoitus, 2015
 - Luoma Jaakko, Liike-, toimisto- ja koulurakennuksien sähkökuormat kysynnän jouston reserveinä. Diplomityö, 2015
 - Eskelinen Heikki, Kiinteistöautomaatiojärjestelmät osana kysynnän jouston toteutumisista. Opinnäytetyö, TAMK, 2014
 - Salminen Sami, Automaatiojärjestelmien hyödyntäminen kysynnän jouston teknisessä toteutuksessa. Opinnäytetyö, TAMK, 2014
 - Rantanen Jesse, Asuinkiinteistöjen sähköverkot. Opinnäytetyö, TAMK, 2014
 - Siivonen Joonas, Tekniset ratkaisut julkisissa kiinteistöissä. Opinnäytetyö, TAMK, 2014
 - Koivisto Matti, Verkkoyhtiöiden ohjeistus. Opinnäytetyön käsikirjoitus, TAMK 2015

2 Kysynnän jouston tarpeet ja hyödyt eri toimijoille

2.1 Yleistä

Sähköjärjestelmässä tuotannon ja kulutuksen on oltava joka hetki yhtä suuret. Mikäli kulutus on tuotantoa suurempi, lähtee verkon taajuus laskemaan, päinvastaisessa tilanteessa taajuus nousee. Perinteisessä energijärjestelmässä tuotanto on seurannut kulutusta, eli järjestelmän tehotasapainon hallinta on toteutettu tuotantoa säätämällä (esim. vesivoima ja lauhdelaitokset). Eri-laisen sääriippuvan uusiutuvan tuotannon (tuuli- ja aurinkosähkö) sekä tasaisesti ajettavan ydinvoiman lisääntyessä tarvitaan entistä enemmän tehotasapainon hallintaan osallistuvaa säätökapasiteettia. Tuotannon jota ei teknisesti voida tai ei taloudellisesti kannata säätää lisääntyessä tehotasapainon ylläpito on haastavampaa. Tämän lisäksi sähköjärjestelmässä olevan inertian (liike-energian) pienentyminen uusiutuvan tuotannon myötä lisää haasteita. Tämän takia osan sähkön kulutuksesta tulisikin seurata tuotantoa ja tehotasapainon hallitsemiseksi järjestelmään tulisi nykyistä enemmän sisällyttää kysynnän joustoa sekä erilaisia energiavarastoja. Siten kysynnän jousto auttaa osaltaan ylläpitämään energijärjestelmän luotettavuutta sekä edistää päästöttömän ja uusiutuvan tuotannon markkinoille saamista. Joustavasti käyttäytyvä ja ohjattavissa oleva kuormitus muodostaa merkittävän potentiaalin myös koko voimajärjestelmän erilaisille reserveille. Sähkön kysynnän jouston edistäminen onkin keskeinen tavoite älykkään sähköverkon kehittämisessä. Se tulee myös nähdä tarpeellisena osana tulevassa lähes nolla-energia eli nZEB -rakentamisessa.

Sähkön hinta tukkumarkkinoilla määräytyy joka tunnille kysynnän ja tarjonnan (markkinaosapuolien toimittamien osto- ja myyntitarjousten) perusteella, kuvan 2.1 mukaisesti. Tukkumarkkinahinta, joka on yhteinen kaikille markkinaosapuolille, muodostuu kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspisteessä. Tarjouskäyrässä sähkön tarjonta asettuu tuotannon marginaalikustannusten mukaisesti halvimmasta kalleimpaan. Siten kullakin tunnilla sähkön hinta määräytyy kalleimman käytössä olevan tuotantomuodon mukaan. Valtakunnallisten sähköntehohuippujen aikaan energian hinta yleensä nousee selvästi, ja näiden aikaan on käytössä myös paljon päästöjä aiheuttavia energiantuotantomuotoja. Kysynnän pienentyessä (siirryttäessä kuvassa kysyntäkäyrältä 1 käyrälle 2) markkinahinta laskee, jolloin hyötyvät kaikki sähkönkäyttäjät, eivät ainoastaan kulu-tustaan pienentäneet käyttäjät. Mikäli tuotanto muuttuu kysyntäjouston seurauksena vähäpäästöisemmäksi, siirrytään esimerkiksi hiililauhteesta yhteistuotantoon (CHP), pienentyvät myös sähköntuotannon päästöt.



Kuva 2.1 Sähköenergian tukkumarkkinahinnan muodostuminen

Kysynnän jouston avulla voidaan sähkönkulutusta siirtää tehuhuipusta toisiin ajankohtiin. Vastaavasti sähkön kysynnän kuoppien ja halvan energiahinnan ajankohtiin on mahdollista lisätä sähkönkulutusta korvaamalla muita energiamuotoja sähköllä (esim. tulevaisuudessa verkosta ladattavat sähköajoneuvot). Sähkönjakeluverkon tasolla saattaa kuitenkin esiintyä tilanteita, jolloin verkon huippukuormitus osuu ajankohtaan, jolloin energia olisi halpaa, mikä voi lisätä entisestään verkon huippukuormitusta. Tämä lisää osaltaan kysynnän jouston problematiikkaa.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen on taustalla myös uusissa rakentamiseen liittyvissä energiatehokkuusmääräyksissä, joiden tavoitteena on ohjata rakentamista yhä energiatehokkaampaan ja uusiutuvia energialähteitä hyödyntävään suuntaan. Eri ratkaisujen vaikutuksia sähköverkon kulutushuippuihin ei ole juurikaan selvitetty, koska energiakulutuksen laskenta tapahtuu sähkön osalta vuositasolla. Energiatehokkuutta arvioitaessa tulisi kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota myös hetkellisiin tehuhuippuihin ja käyttöprofiileihin. EU-tasolla on hyväksytty uusi energiatehokkuusdirektiivi, joka tuo sähköyhtiöille uusia velvoitteita. Kysynnän jouston ja huoltovarmuuden edistäminen kytkeytyvät näissä asioissa yhteen. Samaa tekniikkaa, jota hyödynnetään normaalitilassa kysynnän jouston potentiaalina, voidaan hyödyntää myös huoltovarmuuden parantamisessa esim. tehopulatilanteissa ja paikallisissa varavoimaratkaisuisa. Älykkäällä ra-

kentamisella voidaan edistää samaan aikaan sekä taloudellista ja ympäristöystävällisempää energiankäyttötapaa ja tehokkaasti toimivia sähkömarkkinoita että turvallisuusnäkökohtia.

Sähkoyhtiöillä oli ennen sähkömarkkinoiden vapautumista osin yhtiökohtaisia, osin yhteiseen kytkentäsuositukseen perustuvia vaatimuksia erityisesti sähkölämmityskiinteistöjen tehonrajoituksista ja tehonohjausvarauksista. Yleisesti kiinteistöjen sähköverkkoja tai niiden ohjausjärjestelmiä ei ole kuitenkaan enää suunniteltu eikä suunnittelua ole ohjattu ottamaan huomioon kuormanohjaustarpeita. Kuorman ohjauksen käyttöönotto edellyttää uusien ja uudistettavien kiinteistöjen sähköverkon ja laitevalintojen suunnittelun tavoitteellista ohjausta. Tällä hetkellä suunnittelua ohjaa tilaajan asettamat tavoitteet eikä niissä yleisesti ole tuotu esiin varautumista kysynnän joustoon.

Keskeistä kysynnän jouston laajamittaiselle hyödyntämiselle on muodostaa kokonaisvaltainen näkemys kysynnän jouston toiminnallisuudesta ja eri toimijoiden mahdollisesti ristikkäisistäkin rooleista, kaikkien toimijoiden liiketoimintaan tukevasta markkinamallista, tiedonsiirto-rajapintojen yhteensovittamisesta sekä kysynnän joustoa edistävän lainsäädännön kehittämisestä. Erityisesti kysyntäjouston ansaintalogiikka vaatii kehittämistä, asiakkaiden ymmärrystä tulee lisätä ja asiakkaille tulee tarjota kannusteita osallistumiseen. Taloudellisten hyötyjen ohella houkuttelevuutta voidaan lisätä korostamalla kysyntäjouston merkitystä järjestelmän käyttövarmuuden ja uusiutuvan tuotannon kannalta.

Kysynnän jousto muodostaa moniulotteisen kokonaisuuden, joka sisältää erilaisia kysynnän jouston markkinapaikkoja, ajan suhteen vaihtelevia ohjattavia kuormia, teknisiä toteutusmahdollisuuksia sekä esim. tiedonhallintaan ja lainsäädäntöön liittyviä kysymyksiä. Kysynnän jouston markkinapaikat tai tarpeet sisältävät tuntipohjaiset day-ahead ja intra-day –markkinat, sää-
tösähkömarkkinan, taajuusohjatut käyttö- ja häiriöreservi –markkinat, voimajärjestelmän tehopula tilanteen, jakeluverkkoyhtiön teho-pohjaiset tariffirakenteet, jakeluverkkoyhtiön verkon kapasiteetin hallinnan sekä sähkön loppukäyttäjän omat tarpeet. Näitä on tarkasteltu tarkemmin kapaleessa 2.3. Asiakaspäässä kysynnän jouston kehityskohteita ja tarkastelunäkökulmia ovat mm. kuorman ohjauksen tekninen toteutus ja erilaisten ratkaisujen tekninen valmius, ohjattavat kuormitustyytit (esim. lämmitys, jäädytys, IV...) ja niiden tekninen ohjauspotentiaali sisältäen olemassa olevat ja uudet rakennukset. Lisäksi tarkastelussa ovat sähkömarkkinamallit ja eri toimijoiden roolit, taloudellinen potentiaali eri toiminnoissa ja markkinapaikoilla, lainsäädäntöön

ja viranomaismääräyksiin liittyvät esteet ja kannusteet, tiedonhallintaan (ennen ohjausta / ohjaushetkellä / ohjauksen jälkeen) ja tietoturvaan (security / privacy) liittyvät kysymykset.

Kuormien ohjauksen toteutus vaikuttaa toimijoiden rooliin. Ohjaus voidaan toteuttaa joko etäluettavalla energiamittarin (AMR), erillisen ohjausjärjestelmän (HEMS) tai kiinteistöautomaatiojärjestelmien (BACS) kautta. AMR-pohjaisessa ohjauksessa osapuolena toteutuksessa on jakeluverkkoyhtiö, kun taas erillisten automaatiojärjestelmien (HEMS, BACS) kautta toteutettavassa kuormanohjauksessa verkkoyhtiön osallistumista ei edellytetä. Kummassakaan vaihtoehdossa ei kuitenkaan vielä ole standardoituja rajapintoja tai toimintamalleja. Kysyntäjoustopuotteiden kehityksessä ja myynnissä aktiivisin toimija on todennäköisimmin sähkön myyjä. Kysynnän jouston laajamittainen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin eri toimijoiden välistä aktiivista yhteistyötä, ja mikäli kysyntäjoustopuotteen tarjoaa joku muu kuin asiakkaan sähkönmyyjä, tulee luoda menettely, jolla ratkaistaan tasevastuuseen liittyvät kysymykset.

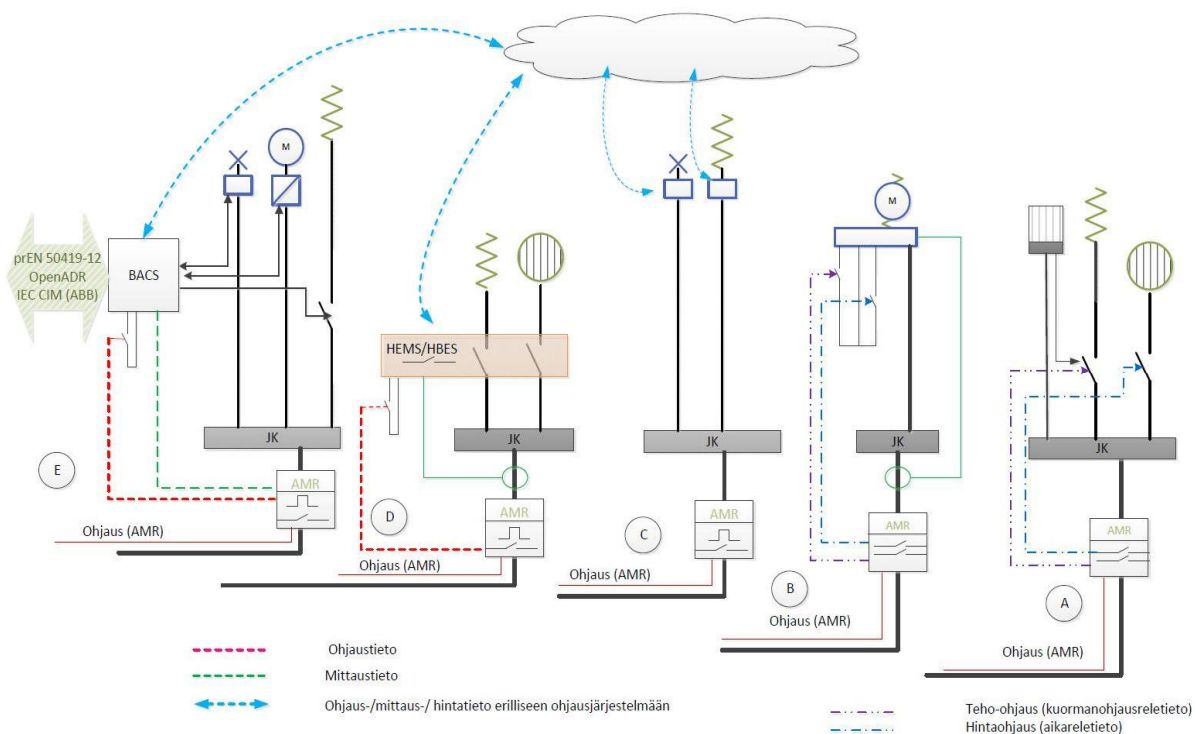
2.2 Kysynnän jouston infrastruktuuri

Tutkimusprojektissa keskeisessä roolissa on ollut selvittää asennetun AMR-infrastruktuurin mahdollisuudet kysynnän jouston laajamittaiseen toteuttamiseen. Myös muita teknisiä ratkaisuja laitevalmistajakohtaisista ohjausjärjestelmistä suurien kiinteistöjen kiinteistöautomaatiojärjestelmiin asti on projektissa tarkastelu laajasti.

Kuvassa 2.2 on kuvattu vaihtoehtoisia tarkastelunäkökuja kiinteistöjen kuormien ohjausmahdollisuuksista, jotka jaoteltiin tutkimusprojektissa seuraavasti:

- tapahtuuko ohjaus AMR-mittarin välityksellä
 - ohjaus AMR-mittarin ohjausreleeltä suoraan kuormalle (A)
 - välitys AMR-mittarin reletiedosta automaatiojärjestelmään tai yksittäinen laitteen omaan älykkyyteen (B)
- erillisellä järjestelmällä tai siihen varautumisella
 - ohjaustieto sähköverkosta tai muusta järjestelmästä suoraan kiinteistöautomaatiojärjestelmään (E)
- ohjaustieto erilliseen ohjausjärjestelmään (esim. HEMS) (D) tai yksittäiselle laitteelle (C)

Näiden lisäksi kysynnän joustona voidaan nähdä manuaaliset, kuluttajan ohjaustoimet, jotka tehdään sähkön hinnan mukaan.



Kuva 2.2 Ohjaustiedon välityspäriaatteet kiinteistön sähköverkkoon ja kuormiin. AMR-ohjaus voidaan toteuttaa myös AMR-mittarin sijaan muullakin reletiedolla.

Kiinteistön sähköverkon rakenteen näkökulmasta ei ole niinkään olennaista ohjaustiedon välitysmuoto (“reletieto”) vaan se, miten eri laitteet ja laiteryhmittä saadaan ohjattua, mikä on ohjauksen vaikutus käyttäjille tai turvallisuudelle ja mikä on käyttäjän saama hyöty ohjauksesta. Kysynnän jouston vaatimat ryhmittelyt ja ohjauksen vaatimat kytkennät, kontaktorit, laitevalinnat, johdotukset tai automaatiojärjestelmät tulisi suunnitella ja asentaa sähköjärjestelmän rakennusvaiheessa. Jälkeenpäin asennusmuutokset ovat yleisesti hyvin hankalia toteuttaa.

Suomi on maailman johtavia maita kysyntäjoustoinfrastruktuurin suhteen mitä tulee etäluettaviin energiamittareihin (AMR). Suomessa on lähes kaikilla asiakkailla on etäluettavat mittarit, jotka mittaavat tunnitaisen energiankäytön ja joiden tulee asetuksen (66/2009) mukaan myös “kyetä vastaanottamaan ja panemaan täytäntöön tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja”.

Etäluettavat mittarit mahdollistavat todelliseen tuntikulutukseen pohjautuvan taseselvityksen sekä vähittäismarkkinoille uusia tunti hinnoitteluun perustuvia hinnoittelumalleja, miltä osin Suomi on edelläkävijä jopa maailmanlaajuisesti. Tunti hinnoittelu tukee välillisesti kysynnän joustoa.

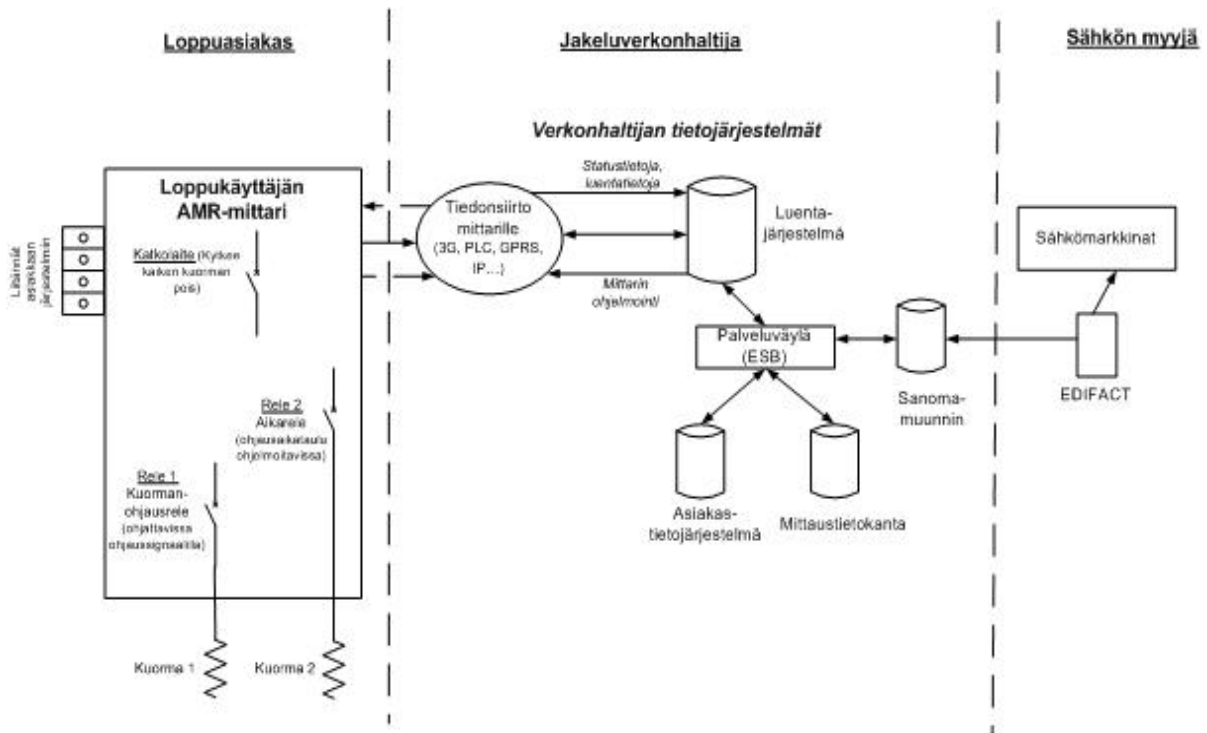
Todelliseen kulutukseen perustuva hinnoittelu ja tuntitason taseselvitys mahdollistavat asiakkaan osallistumisen kysynnän jouston tuntipohjaisille markkinoille teknisestä infrastruktuurista riippumatta, sekä joustosta saatavan hyödyn oikeudenmukaisen kohdistamisen asiakkaalle.

AMR-mittareiden releiden ohjattavaksi on kytkettynä suuri määrä aikaohjattavaa kuormaa sekä tehorajoituskuormaa pääosin sähkölämmitteisissä kiinteistöissä, mikä myös on poikkeuksellista maailmanlaajuisesti. Niissä on jo aiemmin toteutettu kysynnän joustoa myös 2-aikatariffeilla (päivä/yö tai kausisähkö).

Olemassa olevaa AMR-infrastruktuuria on kansantaloudellisessa mielessä järkevää käyttää mahdollisimman laajasti siinä laajuudessa kuin nykyinen asennettu infrastruktuuri sen mahdollistaa. AMR-infrastruktuurin avulla kysynnän joustoon liittyviä tuotteita on otettavissa käyttöön hyvinkin nopeasti esim. sähkön myyjän toiminnoissa.

Pelkät mittarit eivät kuitenkaan yksistään mahdollista kysyntäjoustoa, vaan mittareiden ohjauksessa tulee olla fyysisiä kuormia, ja ICT-infrastruktuurin tulee mahdollistaa mittaus- ja ohjaussignaalien välittäminen markkinaosapuolten (asiakas, jakeluverkkoyhtiö, sähkön myyjä, aggregaattori, kantaverkkoyhtiö) välillä. Ohjaussignaalien välittämistä on kuvattu kuvassa 2.3, jossa on esitetty pelkistetty kaaviokuva tiedonsiirrosta loppukäyttäjän AMR-mittarin ja sähkömarkkinoiden välillä. Haasteita tässä asettaa erityisesti toimijoiden ja tietojärjestelmien heterogeenisyys. Lisäksi kuluttajapäässä mittareiden ohjaustietoa on jäänyt sinetöityyn osaan keskuksia, mikä käytännössä ei mahdollista kolmannelle osapuolelle ohjaustiedon hyödyntämistä.

Tarkastelussa on ollut omana osanaan asuinkiinteistöt sekä palvelu- ja toimitilarakennukset. Olemassa olevissa asuinrakennuksissa on vähän käytössä kiinteistöautomaatioratkaisuja ja niissä tehonohjaus, ainakin lähitulevaisuudessa, olisi toteutettavissa ensisijaisesti AMR-mittarin ohjausreleillä tai uusilla erillisillä ohjauspalveluilla. Palvelu- ja toimitilakiinteistöissä, kuten toimistorakennuksissa, kouluissa, kaupan tiloissa, on laajalti käytössä jonkin tasoisia kiinteistöautomaatiojärjestelmiä. Niissä ohjaus olisi luontevinta, ja teknisesti yleisesti yksinkertaisinta, tehdä automaatiojärjestelmän kautta. Palvelu- ja toimitilarakennuksista tarkastelun ulkopuolelle jätetään teollisuuskiinteistöt sekä maatalouden kiinteistöt.



Kuva 2.3 Kysyntäjouaston tiedonsiirron pelkistetty prosessikaavio sähkön myyjän ja loppuasiakkaan välillä.

Asuinrakennuksissa on lisääntynyt viime vuosina erilaiset kiinteistöohjaus- ja automaatiojärjestelmät, vaikka niiden kokonaisuus on edelleen hyvin pieni. Ohjausjärjestelmiä, kotiautomaatiota ja laite- tai järjestelmäkohtaista "älykkyyttä" on tullut tekniikan kehittymisen myötä yhä enemmän. Näissä järjestelmissä on, ainakin osassa, mahdollisuuksia kehittyneempiin kuormanohjaustapoihin kuin AMR-mittarin reletiedon tai erillisen ohjauksen muodossa. Ratkaisujen laajamittaisessa käyttöönotossa ja ylläpidossa on kuitenkin paljon haasteita. Niissä, on ne sitten kokonaisjärjestelmiä tai laitekohtaisia, on käytössä laajalti valmistajakohtaisia ratkaisuja, mikä lisää jossain määrin laajamittaisen kysynnän jouston toteutumisen riskejä. Tällöin laitevalikoima on rajattu ja käyttö- ja ylläpito tulee työlääksi varsinkin tilanteissa, joissa ratkaisun valmistus on lopetettu. Laitekohtaiset ratkaisut ovat usein suljettuja, vain tiettyyn käyttötarkoitukseen tehtyjä. Osaa olemassa olevasta mahdollisuuksista ei ole otettu käyttöön (esim. maalämpöpumppujen Smart Grid –toiminnot).

Toistaiseksi kuormanohjauksen kehittämisen näkökulma on ollut pääasiassa yleisessä sähköjärjestelmässä ja sen edellyttämässä teknisissä ratkaisuissa sekä kysynnän joustoja tukevilla sähkömarkkinamalleilla. Ilman riittävää huomiota on jäänyt kiinteistöjen käyttäjien toiminta, tarpeet ja ratkaisut. Toimivan ja tavoiteltuja tuloksia tekevien ratkaisujen tulee kuitenkin pohjau-

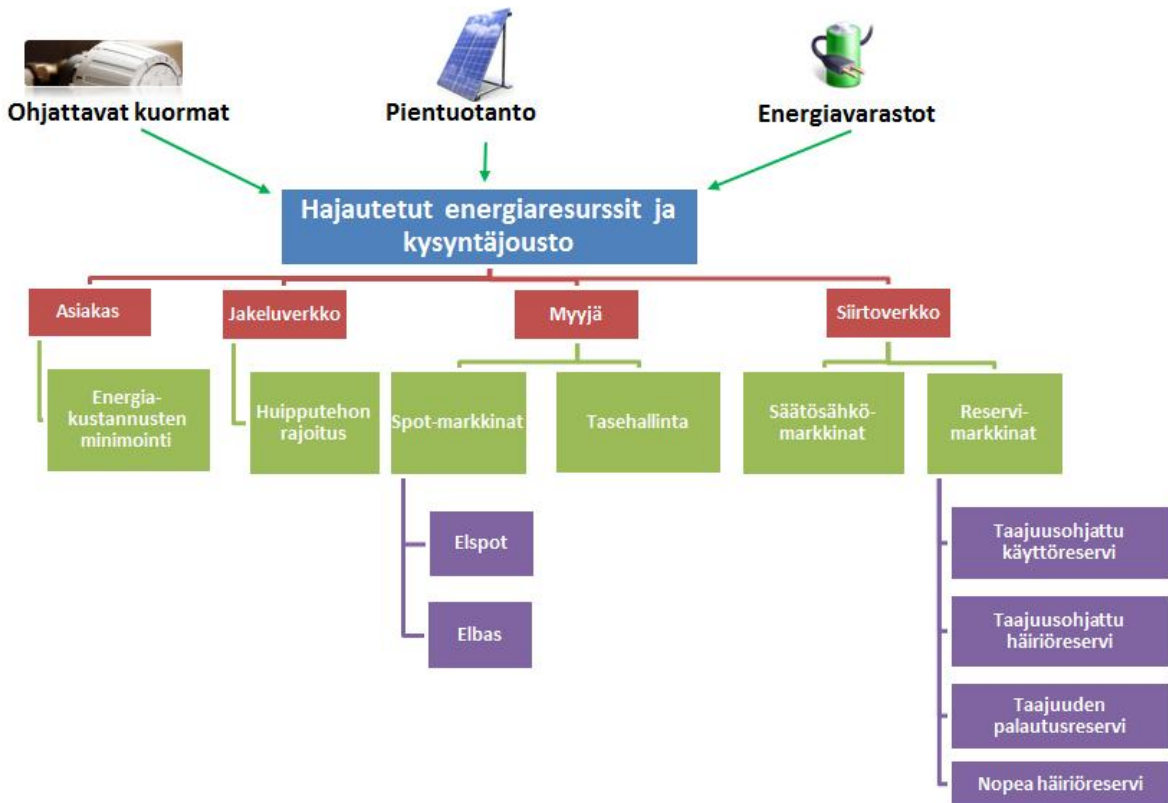
tua kokonaisvaltaiseen näkemykseen siitä, miten eri toimijat saadaan toimimaan yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi.

Erialaisten kiinteistöjen ja asiakaspään teknisiä ratkaisuja, kiinteistöautomaatiota ja kysynnän joustoon liittyvään infrastruktuuria on käsitelty laajasti projektin laajemmassa loppuraportissa sekä taustajulkaisuissa.

2.3 Kysynnän jouston hyödyt ja vaikutukset eri toimijoille

Käsite ”kysynnän jousto (Demand Response, DR)” sisältää laajan joukon erilaisia toimintoja, joiden merkitys, tarve ja ansaintalogiikka vaihtelevat toimijan näkökulmasta. Tässä kysynnän joustolla ymmärretään erilainen välillinen, esim. hinnoittelurakenteilla toteutettava, vaikuttaminen asiakkaan käyttäytymiseen, vaihtelevaan energian hintaan pohjautuvat suorat ohjaustoimenpiteet sekä siirto- ja jakeluverkon tarpeista tulevat erilaiset ohjaukset (esim. kuorman toimiminen kantaverkkoyhtiön reservinä tai yötariffiin kytketyn kuorman porrastaminen). Kysynnän jouston toiminnallisuutta kehitettäessä pitää huolehtia, että ne noudattavat vallitsevia sähkömarkkinamalleja ja -käytäntöjä, esimerkiksi tasevastuun pitää toteutua myös kuormia ohjattaessa.

Kuvassa 2.4 on havainnollistettu kysyntäjouston hyödyntämistä eri osapuolten (asiakas, jakeluverkkoyhtiö, sähkönmyyjä, siirtoverkkoyhtiö) kannalta. Lisäksi kysynnän jouston tekninen ja liiketoiminnallinen toteuttaminen tarjoaa uusia tuotemahdollisuuksia niin laite- ja järjestelmätoimittajille kuin palvelun tarjoajille (esim. kuormien aggregoijana toimiva ”jousto-operaattori”).



Kuva 2.4 Kysyntäjoustop ja hajautettujen energiaressit eri markkinaosapuolten näkökulmista.

Kantaverkkoyhtiölle kysynnän jousto tarjoaa uusia mahdollisuuksia tehotasapainon hallintaan ja taajuuden säätöön käyttö- ja häiriöreservien osalta sekä mahdollisesti myös joustavuutta tehopula-tilanteiden hallintaan. Esimerkiksi yöllä päällä olevat kuormat, kuten varaavat sähkölämmitykset, voisivat tarjota täydennystä reservitehoon, koska samaan aikaan tuotannon reserviteho (vesivoima) on pienimmillään.

Sähkön vähittäismyyjä voi hyödyntää kysynnän joustoja sähkön hankinnan suunnittelussa, tasevastaavana oman taseensa hallinnassa muiden toimenpiteiden (esim. päivän sisäinen Elbas-kauppa) rinnalla, säätösähkömarkkinoiden tarjouksissa sekä uusien tuotteiden ja oman liiketoiminnan kehittämisessä.

Jakeluverkkoyhtiö voi hyödyntää kysynnän joustop mahdollisuuksia pitkän aikavälin verkon suunnittelussa verkon mitoitusasteen näkökulmasta sekä reaaliaikaisessa käyttötoiminnassa esim. poikkeustilanteiden aikaisen huipputehon hallinnassa.

Sähkön vähittäismyyjän ja jakeluverkkoyhtiön asiakkaan, eli sähkön loppukäyttäjän näkökulmasta kysynnän jousto mahdollistaa mm. sähkön käytön edullisen hinnan aikana, sähkön myyjän ja jakeluverkkoyhtiön hinnoittelusta saatavat taloudelliset hyödyt, ostosähkön vähentämisen, asiakkaan oman pientuotannon täysimääräisen hyödyntämisen, huipputehojen pienentämisen sekä mahdollisesti liittymäkoon rajoittamisen. Pientuottajan näkökulmasta oma tuotanto on taloudellisesti kannattavinta silloin, kun sen pystyy käyttämään omassa kiinteistössä. Kannattavuus heikkenee merkittävästi, mikäli pientuottaja myy tuottamaansa sähköä markkinoille, johtuen ostetun ja myydyn sähkön erilaisista kustannuksista. Kuluttaja maksaa verkosta ottamastaan energiasta siirtomaksun (n. 30 % sähkölaskusta), verot (n. 30 %) sekä sähköenergian hinnan (n. 40 %). Mikäli kuluttaja puolestaan myy ylijäämätuotantoa verkkoon, saa hän korvauksen ainoastaan sähköenergiasta. Kysyntäjousto parantaa siten pientuotannon kannattavuutta, mikäli sen avulla asiakas voi käyttää itse suuremman osan tuottamastaan sähköenergiasta. Aurinkopaneeleilla tuotettua ylijäämäsähköä on mahdollista käyttää kesäaikaan esim. lämpimän käyttöveden lämmitykseen tai rakennuksen jäähdytykseen. Vaikka aurinkopaneeleiden tuotto on maksimissaan kesällä, tuottavat paneelit sähköä jossain määrin myös lämmityskauden aikana.

3 Tutkimusprojektin keskeiset tulokset

3.1 *Kysynnän jouston tekninen potentiaali ja asiakaspään tekniset ratkaisut*

Kysynnän jouston teknistä ohjauspotentiaalia analysointiin projektissa toisaalta erilaisten rakennuskantaan liittyvien tietokantojen, energiatilastojen ja laskentamallien avulla sekä toisaalta tyyppillisten laitetehojen ja mitoitusperusteiden sekä todellisten mittauskohteiden avulla.

3.1.1 Tekninen potentiaali

Energian kulutusten perusteella saadaan arvioitua eri kulutusryhmien keskimääräisiä käytössä olevia tehoja. Lämmityksen osalta arviot saadaan tehtyä valituilla ulkolämpötiloilla, jolloin saadaan tietoa ohjausmahdollisuuksista eri vuodenaikoina (eri ulkolämpötiloilla). Nämä energian kulutukseen pohjautuvat arviot kuvaavat keskitehoja viikkotasolla. Laitetehojen kautta saadaan arvioitua asennettujen sähkötehojen määrät ja tarkempaa tietoa ohjausmahdollisuuksista vuorokausi- tunti- ja rakennustasolla. Nämä laitetehoihin (asennettuun tehoon) perustuvat tehot ovat usein huomattavasti suurempia kuin käytössä olevat keskimääräiset tehot. Tässä kohdassa pääpaino on laitetehoissa (teknisessä potentiaalissa). Alussa on kuitenkin esitetty tiivistelmä energian kulutukseen perustuvista potentiaalitarkasteluista.

Arvio rakennuskannan sähkötehon tarpeesta on esitetty taulukossa 3.1 energiankulutukseen perustuvan tarkastelun pohjalta. Kyseinen taulukko on laskettu 0 °C ulkolämpötilalla, mikä on likimain keskimääräinen ulkolämpötila lämmitys-kaudella Suomessa. Tuotantorakennusten osuus, joka ei sisällä varsinaista tuotantoa, on taulukossa epävarmin.

Lämmitykseen liittyvät ohjauspotentiaalit riippuvat siis voimakkaasti ulkolämpötilasta. Energiankulutuslaskelmiin perustuvien teholaskelmien perusteella koko rakennuskannan sähköteho (viikkokeskiteho) muuttuu lämmityskaudella noin 100 MW yhtä ulkolämpötila-asteen muutosta kohti. Tässä arvioissa ei ole mukana sähköllä toimivia lisälämmittämiä, jotka lisäävät tehotarvetta ulkolämpötilan laskiessa pakkasen puolelle.

Taulukko 3.1 Rakennuskannan keskimääräinen sähkötehon tarve ulkolämpötilalla 0 C, joka on keskimääräinen ulkolämpötila lämmityskaudella. Kovilla pakkasilla lämmitystehot ovat yli kaksinkertaiset. Erityis-tarkasteluun on poimittu ilmanvaihtopuhaltimien sähkötehon tarve. Tämä sisältyy talotekniikkasähköön.

| Rakennuskannan keskimääräisen sähkötehon tarvearvio 0 °C ulkolämpötilalla (keskimääräinen ulkolämpötila lämmityskaudella). Lähde: TEHOREM -mallin kehitysversio | tilojen sähkölämmitys | lämmin käyttö- vesi | toiminta- sähkö | valaistus- sähkö | talo- tekniikka | yhteen- sä | Tarkempi tarkastelu- kohde: Ilmanvaihto- koneet päivä- aikaan |
|--|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------|--|
| | MW | MW | MW | MW | MW | MW | MW |
| Omakotitalot | 1379 | 193 | 609 | 118 | 137 | 2436 | 49 |
| Rivitalot | 207 | 28 | 131 | 26 | 28 | 420 | 12 |
| Asuinkerrostalot | 30 | 4 | 333 | 71 | 108 | 546 | 41 |
| Yksityiset palvelurakennukset | 183 | 23 | 264 | 267 | 148 | 885 | 146 |
| Julkiset palvelurakennukset | 61 | 6 | 147 | 151 | 91 | 457 | 64 |
| Tuotantorakennukset | 317 | 32 | 846 | 363 | 304 | 1863 | 224 |
| Vapaa-ajan asuinrakennukset | 130 | 2 | 31 | 9 | 9 | 182 | 0 |
| | | | | | | 0 | |
| asuinrakennukset yhteensä | 1616 | 225 | 1074 | 215 | 273 | 3402 | 102 |
| palvelurakennukset yhteensä | 243 | 29 | 412 | 418 | 239 | 1341 | 209 |
| asuin- ja palvelurakennukset yhteensä | 1859 | 254 | 1485 | 633 | 512 | 4743 | 312 |
| kaikki rakennukset yhteensä | 2306 | 288 | 2363 | 1004 | 825 | 6788 | 536 |

Sähkölämmitys aiheuttaa suuren sähkötehon tarpeen. Sähkölämmitys on ollut käytössä erityisesti pientaloissa, rivitalokiinteistöissä ja pienissä yksityisissä palvelurakennuksissa. Taulukossa 3.2 on arvioitu sähkölämmityslaitteiden asennustehoja sekä SLY-ohjaukseen perustuvaa ohjauspotentiaalia. Arvion mukaan aikaohjausreleen (kello-ohjaus) tehopotentiaali on yli 3200 MW. Lisäksi kiinteistöissä olisi ohjausmahdollisuus n. 2900 MW:n lämmityslaitetehoon joko AMR-mittarin kuormanohjausreleen tai muun järjestelmän avulla. Näiden lisäksi sähkölämmityskiinteistöissä tehdään huipputehon ohjausta mm. sähkökiukaiden vuorotteluohjauksella.

Taulukko 3.2 Arvio pientalojen ja rivitaloasuntojen asennetuista sähkölämmitystehoista ja ohjauspotentiaalista.

Pientalo + rivitaloasunnot. Sähkölämmityksen tehoarvio

| | Kaikki | Verkkoyhtiön ohjauskytkentä (arvio) | SLY-ohjatut | | Ohjaus-potentiaali arvio |
|---|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | | | Suora tai osittain varaava | Sähkövaraaja + vesikierr.lämm. | |
| Määrä | 604643 kpl | 125000 kpl | 280000 kpl | 60000 kpl | |
| Kerrosala | 78695863 m ² | 16269065 m ² | 36442706 m ² | 7809151 m ² | |
| Sähkölämmityksen kokonaisteho (arvio) 25 W/m ³ | 5115 MW | 1057 MW | 2369 MW | 508 MW | |
| Varaava lämmitys ("yöohjaus") á teho | | | | | |
| Läminvesivaraajat 3 kW | | 375 MW | 840 MW | | |
| Varaajat | | | | 630 MW | |
| Osittain varaava lämmitys (arvio) | | | 1441 MW | | |
| Kello-ohjausvaraus (arvio) K2 | | 375 MW | 2281 MW | 630 MW | 3286 MW |
| | | | | | |
| Lämmitys, teho-ohjaus -varaus | | | | | |
| Huonekohtainen lämmitys (60 % tehosta) | | 637 MW | 827 MW | | |
| Osittain varaavat lämmitykset | | | 1125 MW | | |
| Varaaja/päiväkäyttö | | | | 300 MW | |
| Teho-ohjausvaraus (arvio) K1 | | 637 MW | 1952 MW | 300 MW | 2888 MW |

Taulukossa ei ole tarkasteltu sähkönkäytön lisäämismahdollisuuksia kysyntäjoustotoimenpiteenä. Esimerkiksi lähes kaikissa öljylämmityskattiloissa on sähkövastukset varalla. Niillä voidaan tarvittaessa lämmittää öljyn sijasta. Sähkön kulutus näissä vastuksissa on nykyään lähes nolla, mutta sähkön käytön lisäysmahdollisuudet ovat merkittävät.

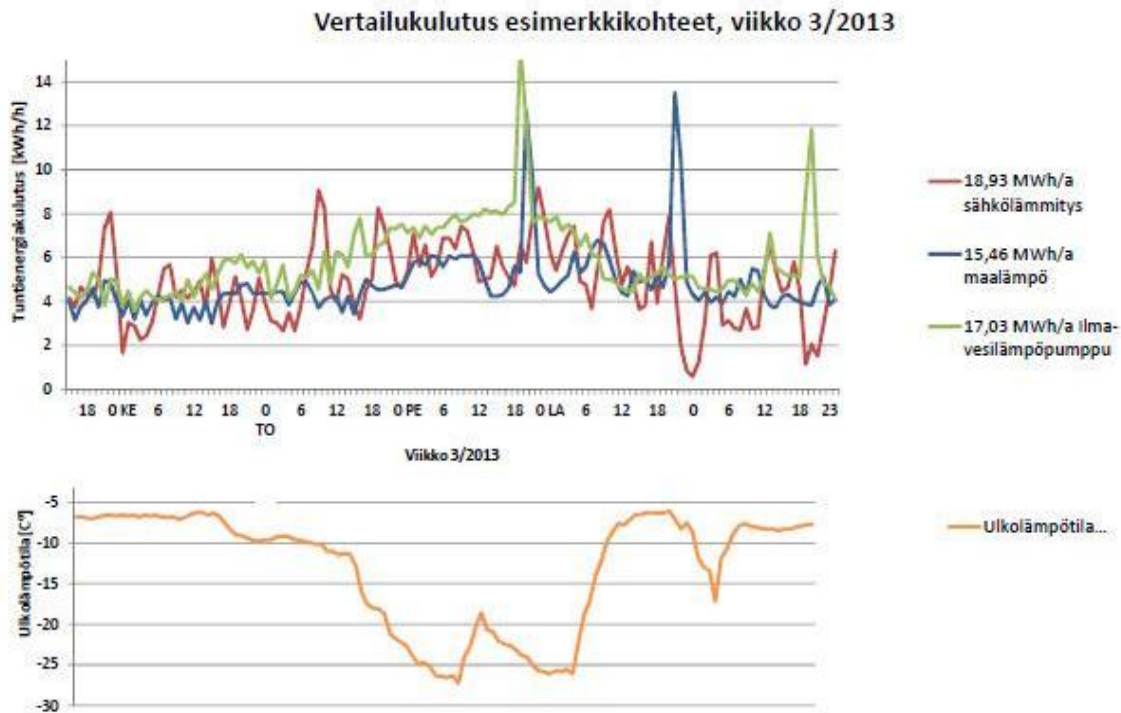
Suurimmat ohjauspotentiaalit näyttäisivät olevan omakotitalojen sähkölämmityksessä sekä lämpöpumppujen sähkökäytössä lämmityskaudella. Lämpimän käyttöveden tehontarpeesta noin neljäsosa tulee muissa kuin sähkölämmitystaloissa (pääasiassa puulämmitystaloissa) käytetyistä lämminvesivaraajista. Vapaa-ajan rakennuksissa sähkötehon ohjaukseen on merkittävästi suuremmat mahdollisuudet kylmillä ilmoilla kuin mitä voisi taulukon perusteella päätellä. Tämä johtuu siitä, että nämä tyyppillisesti peruslämmössä olevat rakennukset ovat talvella vähäisellä käytöllä ja siten lämpöviihtyvyystekijät eivät rajoita ohjausta.

Sähkölämmitys edustaa suurta, hyvin ennakoitavaa tehoa ja sähkölämmityskohteisiin on tehty laajalti valmiiksi ohjauskytkentöjä. 1990-luvun puoleen väliin asti sähköyhtiöillä oli merkittävä rooli kiinteistöjen sähköverkkojen suunnittelun ohjauksessa ja paikallisten vaatimusten esittämisessä erityisesti tehojen ja kuormitusten ohjauksen osalta. Sähkölaitosyhdistyksen Sähkölämmityksen kytkentäsuosituksen (SLY 7/92) periaatteet ovat käytössä edelleen hyvin laajasti. Vakio-kytkentä on antanut yhteisen pohjan kytkennöille ja merkinnöille ja on osaltaan mahdollistanut sen, että sähkölämmityskohteisiin on saatavilla vakiokeskuksia.

Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset ja rakentamisen muut ohjaus- ja markkinointitoimet ovat aiheuttaneet muutoksia pientalorakentamisessa. Omakotitaloissa kuormanohjausmahdollisuuksiin tulee vaikuttamaan lämmitystapavalintojen muutokset. Huonekohtaisen sähkölämmityksen osuus tulee vähenemään ja lämpöpumppulämmitysten osuus tulee lisääntymään voimakkaasti. Vuoden 2014 lopussa uusista pientaloista jopa 55 %:iin valittiin maalämpöpumppulämmitys ja vanhoihin kohteisiin on asennettu runsaasti ilmalämpöpumppuja. Tämän hetkisissä rakentamista ohjaavissa säädöksissä ja suosituksissa ei ole elementtejä, jotka ohjaavat toteuttamaan sähkötehoja tasaavia, saati rajoittavia, ratkaisuja. Pientaloihin tehdään ylisuuriakin liittymiä (3x35 A tai 3x50 A) lämpöpumppujen käynnistysvirtojen, lisälämmitysvastusten ja suurten kiuastehojen vuoksi. Kerrostalojen linjasaneerausten yhteydessä uudistetaan huoneistojen nousujohdot ja keskukset 3-vaiheisiksi. Tämä voi johtaa kodinkoneiden tehon ja määrän lisääntymiseen sekä mm. sähköisten lattialämmitysten lisääntymiseen myös kaukolämpötaloissa. Laitteissa, kuten maalämpöpumpuissa, olevia ohjausmahdollisuuksia, jotka mahdollistaisivat sekä huipputehon tasoittamisen sekä kuormanohjauksen tekemisen ei ole otettu Suomessa käyttöön.

Kuvassa 3.1 on esimerkki kolmen pientalokohteen kulutuksen vaihteluista kylmimpinä päivinä tarkasteluvuotta. Kohteissa on sähköenergian vuosikulutus samaa suuruusluokkaa, ne sijaitsevat samalla alueella ja ne on rakennettu samaan aikaan. Esimerkkikohteissa on nähtävillä lämpöpumpputaloissa sähkökiukaiden ja saunomisen vaikutus tuntikulutuksen huipun ollessa tarkastelupäivinä perjantai-illassa. Suuret tehovaihtelut ja -piikit voitaisiin suurelta osin välttää joko vuorottelukytkenöillä, tehovaltien käytöllä kuorman ohjauksessa tai hyödyntämällä laitteiden omia rajoitustoimintoja.

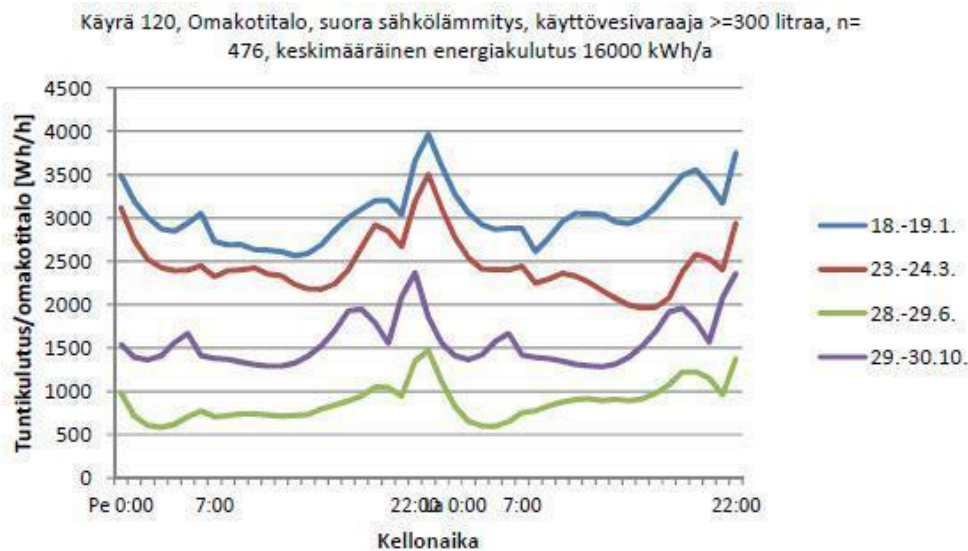
Sähkölämmityskohteissa tyypillisesti sähkötehon huippuaika ajoittuu yöaikaan lämminvesivaraajien päällekytkeytymisen vuoksi. Asuinkiinteistöjen huippukulutusaikoina aamuisin ja iltaisin asunnoissa on päällä tyypillisesti lämmittävää muuta tehoa, jolloin jatkuvatoiminen sähkölämmitys nopeasti säätyvänä kytkeytyy pois päältä. Kuvassa 3.2 on esitetty suoran sähkölämmityksen keskimääräistä tuntienenergijakautumaa eri vuodenaikoina mittausalueen kohteissa.



Kuva 3.1 Kolmen pientalon tuntikulutusvertailu vuoden 2013 huippukulutuksen aikana.

Kysynnän jouston kannalta kerrostalokohteet ovat vaikeammin hyödynnettäviä. Niissä suurimman ja ohjattavissa olevan tehon muodostavat autolämmitys, saunat ja mahdolliset sähköiset lattialämmitykset peseytymistiloissa. Mikäli sähköautojen lataus tulee lisääntymään, aiheuttaa se myös muospaineita autolämmityspisteiden asennuksille ja mahdollisesti myös koko kiinteistön pääjakelulle. Tällöin kysynnän jouston tarpeet voitaisiin ottaa samalla huomioon. Kerrostaloissa on lisääntymässä lämpöpumput, joilla korvataan tai täydennetään öljy- tai kaukolämpöä. Tällöin sähkötehot ja sähköenergian käyttö kasvaa, vaikka kiinteistön kokonaisenergiankulutus pienenee.

Kysynnän jouston kannalta kerrostalokohteet ovat vaikeammin hyödynnettäviä. Niissä suurimman ja ohjattavissa olevan tehon muodostavat autolämmitys, saunat ja mahdolliset sähköiset lattialämmitykset peseytymistiloissa. Mikäli sähköautojen lataus tulee lisääntymään, aiheuttaa se myös muospaineita autolämmityspisteiden asennuksille ja mahdollisesti myös koko kiinteistön pääjakelulle. Tällöin kysynnän jouston tarpeet voitaisiin ottaa samalla huomioon. Kerrostaloissa on lisääntymässä lämpöpumput, joilla korvataan tai täydennetään öljy- tai kaukolämpöä. Tällöin sähkötehot ja sähköenergian käyttö kasvaa, vaikka kiinteistön kokonaisenergiankulutus pienenee.



Kuva 3.2. Mittauskohteiden keskimääräinen tuntienenergiakulutus eri vuodenaikoina. Suora sähkölämmitys.

Toimitila- ja palvelukiinteistöjen sähkötarpeet vaihtelevat suuresti käyttötarkoituksen, rakentamisajankohdan ja teknisten ratkaisujen perusteella. Kiinteistöjen käsittely tyyppikiinteistöperusteisesti ei anna kuin suuntaviivoja mahdollisille ratkaisuille. Ohjattavaa potentiaalia voidaan tarkastella myös järjestelmä- tai laitetyypeittäin, joita erilaisissa palvelu- ja toimitilakiinteistöissä on käytössä. Ohjattavaa kuormaa löytyy mm. ilmanvaihdon, jäähdytyksen, valaistuksen ja sulanapidon aiheuttamasta sähkön käytöstä.

Taulukossa 3.3 on esitetty arviot ilmanvaihdon, jäähdytyksen, valaistuksen ja sulanapitolämmitysten käyttämästä sähkötehosta. Rakennustyyppit ovat jaoteltu Tilastokeskuksen jaottelun mukaan liike-, toimisto- ja opetusrakennuksiin.

Taulukko 3.3 Arvio liike-, toimisto- ja opetusrakennusten sähkötehoista.

| | Rakennusla, lkm | Kerrosala, m ² | Arvio sähkötehosta / MW | | | |
|---------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|--------------------|
| | | | Ilmanvaihto | Jäähdytys | Valaistus | Sulanapito (sähkö) |
| Liikerakennukset | 4 2580 | 283 2083 6 | 160 | 140 | 540 | 30 |
| Toimistorakennukset | 1 0907 | 192 2994 7 | 90 | 160 | 240 | 20 |
| Opetusrakennukset | 8916 | 181 0477 9 | 160 | 40 | 220 | 20 |
| | | | 410 | 340 | 1 000 | 70 |

3.1.2 Asiakaspään tekniset ratkaisut

Asiakaspään teknisten ratkaisujen osalta tavoitteena on ollut löytää ohjausmahdollisuudet eri kiinteistötyypeissä. Tarkastelun pohjana on käytetty tyypillisiä olemassa olevien kohteiden sähköjärjestelmien ratkaisuja. Niiden pohjalta on koottu näkemyksiä siitä, miten uudiskohteissa tulisi ohjeistaa perusrakenteita niin, että kysynnän jousto olisi tulevaisuudessa mahdollista vähäisin muutuskustannuksin tai että ne olisivat jo valmiina kysynnän jouston hyödyntämiseen.

Suurimmassa osassa sähkölämmitteisiä pientaloja on valmiina ohjausta varten SLY-kytkentää soveltavat asennukset. Niitä on pääosin hyödynnetty AMR-mittarin 2-aikatariffin avulla. Kiinteistöjen sähköverkon rakenteet mahdollistaisivat myös teho-ohjauksen AMR-mittareiden välityksellä, jos niissä on kaksi ohjausrelettä ja ne on kytkettyinä. Vastaavat rakenteet on myös käytössä sähkölämmitteisissä rivitaloissa, mutta niissä haasteen aiheuttavat kiinteistökohtaiset ohjaustiedot.

Tekninen kehitys on tuonut 2010-luvulla useita erilaisia, useimmiten yhden valmistajan tukemia, lämmityksen etäohjaus- ja optimointiratkaisuja sekä lämmityslaittevalmistajien omia ohjausjärjestelmiä ja niihin liitettyjä mobiiliohjausmahdollisuuksia pientalokohteisiin. Näistä osa hyödyntää myös SLY-peruskytkentää kuluttajapään laitteiston ohjauksessa. Ohjaustieto voidaan välittää ilman AMR-mittarin ohjaustietoja esim. sähkön hintatietoon perustuvalla palvelulla. Ohjausjärjestelmät tulevat uusissa tai uudistettavissa kohteissa tarjoamaan teknisesti monipuolisia kuorman ohjausmahdollisuuksia osana muita ominaisuuksia. Laittevalmistajakohtaiset ratkaisut voivat kuitenkin olla haasteellisia ylläpidon näkökulmasta. Olennaista niiden hyödyntämisessä on ottaa jo suunnittelussa ja asennusten ryhmittelyssä ohjaustarpeet riittävästi huomioon.

Ohjausjärjestelmien lisäämisen kustannukset vanhoissa kiinteistöissä syntyvät kytkentämuutoksista, keskusten uudistamistarpeista ja valitusta ohjaustavasta. Mikäli ohjausperiaatteena käytetään AMR- tai erillisen releen ohjauskäskyjä, aiheutuisi suurimmat kustannukset mittareiden uudelleenkytkennästä. Uudiskohteissa potentiaalisina ratkaisuina olevien automaattioratkaisujen kustannukset ovat suuremmat, mutta toisaalta niillä mahdollistetaan useita muita toimintoja kiinteistössä. Mikäli energiatehokkuussäädöksissä tullaan lisäämään energiankulutuksen mittausta ja seuranta vaatimuksia, aiheutuu tästä joka tapauksessa tarve tehdä aiempaa kehittyneempiä ratkaisuja, jotka myös voisivat samalla mahdollistaa kysynnän jouston ohjaustarpeet.

Olemassa olevassa rakennuskannassa toimitila- ja palvelurakennukset omaavat jo tällä hetkellä yleisesti ainakin jonkin tasoisen kiinteistöautomaatiojärjestelmän. Kiinteistöautomaatioon pohjautuvia ratkaisuja on tarkasteltu laajasti loppuraportissa.

Taulukkoihin 3.4 ja 3.5 on koottuna erityyppisten kuormitusten tehoarvioita sekä niiden ohjausmahdollisuuksia. Taulukon arvot ovat suuruusluokka-arvioita, koska käytettävissä ei ole edes kohdetyyppikohtaisia huipputehotietoja, saati tietoa eri kiinteistöjen laitetehoista. Eri lähtökohdista tapahtuva tehojen arviointi johtaa suuruusluokissa samansuuntaisiin arvoihin, mutta erot ovat arvioissa suuria. Laajemmassa loppuraportissa taulukkoja on taustoitettu laajemmin.

Tarkastellut kiinteistötyypit muodostavat suurimman osan sähköenergian kulutuksista, kun huomioon ei oteta teollisuuden prosessien sähkön kulutusta. Tarkastelujen kiinteistötyyppien lisäksi on joukko erikoistiloja, kuten kylmävarastot, joissa on tarjoilla ohjattavaksi merkittäviä yksittäisiä tehokokonaisuuksia.

Laite- ja kiinteistöryhmittäin kuormitusten tehot ja käyttöprofiilit vaihtelevat niin vuorokauden kuin vuodenaikojenkin mukaisesti. Toisaalta nykyisellään on vähän ohjaustoimenpiteitä, lukuunottamatta sähkölämmityksen kaksiaikahinnoittelua, joka ohjaisi kuormien käyttöaikoja.

Taulukko 3.4. Arvio sähkötehoista ja ohjausmahdollisuuksista (taulukko jatkuu taulukossa 3.5). Tehoarvioiden perusteita on esitetty hankeen loppuraportissa

| 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 ulkovalaistus | ? | | | | | | | | | | | | | |
| Kylmälaitteet ja -varastot | ? | | | | | | | | | | | | | |
| Kasvihuoneet | 300 | ? | | x | x | x | x | x | x | | | x | | ei |
| vesipumppaamot | | | | | | | | | | | | | | |
| Sähkölämmittimet | 5000 | 1800 | x | | x | x | x | x | X | x | | X | x | |
| Lämminvesivaraaja | 1500 | 1200 | x | | | | x | X | x | x | X | X | x | |
| Varaava lämmitys (sähkö) | 500 | 350 | x | | | | x | X | x | | X | X | x | |
| Varaava lämmitys (vesiv), yö | 700 | 630 | x | | | | 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 | x | |

Taulukko 3.5. Arvio teho-ohjauksen vaikutuksista ja rajoitteista

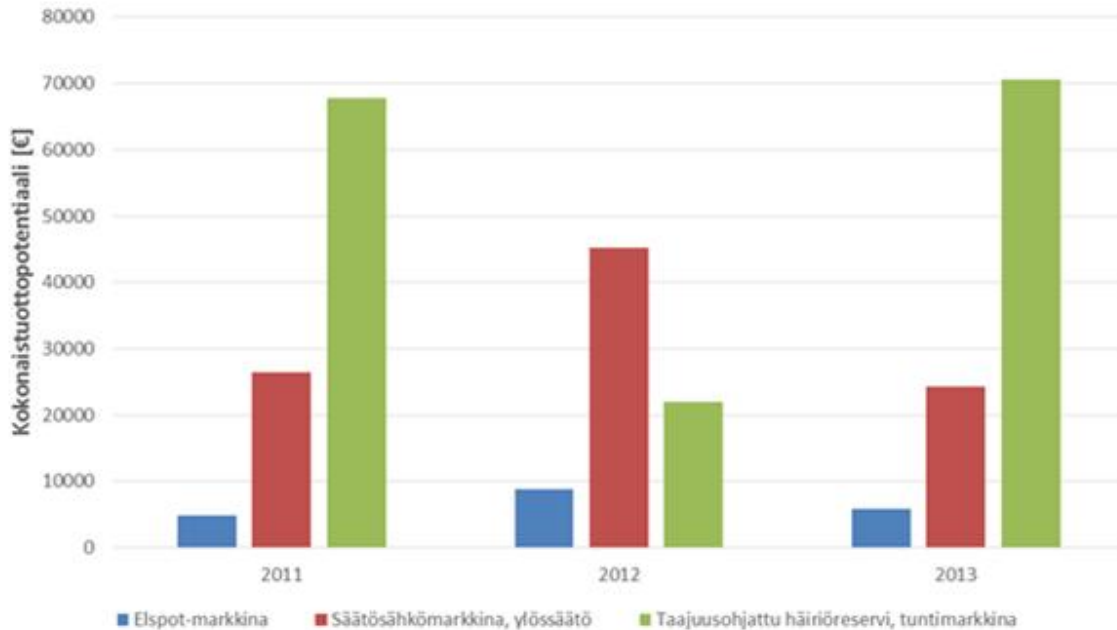
| Ohjattavat kuormatyypit | Ohjauksen vaikutus | | Ohjauksen max.kesto | | | | Ohjauksen estoaika /palautumisaika | ohjauksia/vrk | Lämpötilariippuvuus | | Vaste ohjaukselle I = välitön, II = viivettä III = hidias | Olemassa oleva | Uusissa kohteissa ohjatta-vissa | Vaikutus käyttäjälle "näkyvätömyys"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

3.2 Kysynnän jouston taloudellinen kannattavuus

Kysynnän jouston taloudellinen kannattavuus on yleisesti ottaen sitä parempi, mitä reaaliaikaisemmillä markkinoilla operoidaan; tuotto-odotukset spot-markkinoilta ovat kohtalaisen vaatimatonta verrattuna reservi- ja säätösähkömarkkinoihin.

Projektissa tehdyissä laskelmissa on tarkasteltu suoran sähkölämmityksen ohjauksen tuotto-odotuksia eri markkinapaikoilla. Tarkasteluun on sisällytetty Elspot-, säätösähkö- ja reservi-markkinat sekä kysyntäjouston hyödyntäminen sähkönmyyjän tasehallinnassa. Näiden simulointien perusteella voidaan todeta, että Elspot-markkinan tarjoama taloudellinen potentiaali on melko vaatimaton verrattuna muihin markkinapaikkoihin. Myyjän tasehallinta puolestaan tarjoaa Elspot markkinaan verrattuna yli 3-kertaisen tuottopotentialin. Säätösähkömarkkinan tarjoama teoreettinen maksimituottopotentiali on lähes 7-kertainen, ja yksinkertaistetulla tarjousstrategialla saavutettu käytännön potentiaali noin 4-kertainen, verrattuna Elspot markkinaan. Taa-

juusohjatun häiriöreservin markkina tarjosi kyseisellä tarkasteluajanjaksolla selvästi suurimman laskennallisen tuottopotentialin. Sen teoreettinen tuottopotentiali oli Elspot-markkinaan verrattuna noin 17-kertainen. Kuvassa 3.3 on esitetty 1 MW:n ohjattavan kuorman simuloitu vuotuinen taloudellinen potentiaali eri markkinapaikoilla vuosien 2011-2013 hintatiedoilla.



Kuva 2.6. 1 MW esimerkkikuormanohjauksen kapasiteetin tuottopotentiali eri markkinoilla vuosina 2011-2013.

Kysynnän jouston taloudellinen kannattavuus on yleisesti ottaen sitä parempi, mitä reaaliaikaisemmissa markkinoissa operoidaan. Vaikka reservimarkkinat tarjoavat suuremman taloudellisen potentiaalin, kysynnän jouston toteutus vaatii niiden osalta vielä teknistä kehitystyötä. Day-ahead tai intra-day markkinoihin tai sähkön myyjän tasehallintaan liittyvällä kysynnän joustolla saavutettavien taloudellisten hyötyjen realisoitumista edesauttaa se, että kysynnän jouston toteutukseen vaadittava infrastruktuuri on lähes valmiina.

Edellä esitettyjen simulointien tulokset ovat teoreettisia arvoja, joiden saavuttamiseen liittyy monia käytännön haasteita. Käytännössä laskennallisen potentiaalin saavuttaminen on helpointa Elspot-markkinoiden kohdalla, koska tulevan vuorokauden Elspot hinnat julkaistaan jo käyttötuntia edeltävänä päivänä n. klo 15 Suomen aikaan. Muiden tarkasteltujen markkinoiden hinnat sen sijaan tiedetään vasta toimitustunnin jälkeen, joten ohjausten ajoittaminen optimaalisesti vaatii sähkön kulutuksen- ja hintojen ennustamista. Pahimmassa tapauksessa huonosti ajoitettu

ohjaus voi jopa tuottaa tappiota, jos kuormanohjauksen jälkihuipun kattamiseen tarvittavan energian hankintakustannukset ovat suuremmat kuin poisohjauksesta saatu tuotto.

Näissä tarkasteluissa on simuloitu suoran sähkölämmityskuorman siirtämistä yhdeltä käyttötunnilta seuraavalle tunnille, ja simuloinnit ovat sisältäneet lisäksi rajoituksia ohjauksen estoajasta ja maksimiohjausten määrästä. Em. seikkojen vuoksi kysyntäjoustopuolien taloudelliset hyödyt jäävät tehdyissä simulaatioissa selvästi pienemmiksi verrattuna tilanteisiin, joissa kuormitusta voisi optimoida pidemmän aikaikkunan sisällä, esim. päivän ja yön välillä. Tuloksia tarkasteltaessa täytyy myös huomioida, että tarkastelussa ei ole otettu kantaa käytännön toteutuskustannuksiin, jotka vaikuttavat olennaisesti kysyntäjoustopuolien lopulliseen käytännössä saavutettavaan taloudelliseen potentiaaliin. Lisäksi tulee muistaa, että teoreettinen tuottopotentiaali riippuu merkittävästi tarkasteluajanjakson markkinahinnoista ja hintojen volatiliiteetistä sekä ohjattavissa olevasta potentiaalista, ja voi näin ollen vaihdella merkittävästi tarkasteluajanjaksosta riippuen.

3.3 Kysyntäjoustopuolien vaikutukset jakeluverkkoyhtiöille

Sähkönmyyjällä ja jakeluverkkoyhtiöllä on periaatteellinen eturistiriita suhteessa kysynnän joustoon, mikä näkyy hyvin tutkimusprojektissa tehdyissä laajemmissa kuorman ohjauksen ja verkostovaikutusten simulaatioissa. Spot-hinta -pohjainen kuorman ohjaus voi kasvattaa merkittävästi verkon kulutushuippuja. Toisaalta tehopohjaisella siirtotariffilla voidaan hallita näitä Spot-hinta -pohjaisen ohjauksen vaikutuksia.

Kun kuormituksia ohjataan kaikille asiakkaille yhtenäisen ohjaussignaalin, kuten sähkön markkinahinnan perusteella, vähenee kuormien risteily, mikä kasvattaa verkon tehoja. Vastaavantyyppistä ohjausta on ollut tähänkin saakka käytössä yösaikalla toimivien varaavien sähkölämmitysten yhteydessä, mikä on näkynyt jakeluverkossa kuormituksen kasvuna varaajien kytkeytyessä illalla päälle. Mikäli ohjauksen piiriin otetaan varaavan lämmityksen lisäksi myös suora sähkölämmitys, voi jakeluverkon huippukuormitus kasvaa nykyisestä, erityisesti mikäli verkkoalueella on suosittu enemmän suoraa kuin varaavaa sähkölämmitystä. Todellisella jakeluverkoilla sekä kuormitustiedoilla tehdyissä simuloinneissa on käynyt ilmi, että jakeluverkon huipputehot (suurin tuntikeskiteho) kasvavat tarkastellussa verkossa, mikäli kuormia ohjataan markkinaperusteisesti. Simulointeja on tehty erilaisilla optimointijaksosilla, joista lyhimmissä ohjattava kuorma kytetään tunniksi pois päältä ja seuraavalla tunnilla takaisin. Pisimmässä optimointijaksossa kuormat puolestaan siirretään vuorokauden sisällä optimaalisimpaan ajankohtaan. Verkostovaikutukset ovat samansuuntaisia, riippumatta optimointijakson pituudesta. Lisäksi vaikutuksia on

kaikilla verkkotasoilla; tehot kasvavat jakelumuuntamoilla, keskijännitelähdöillä sekä myös päämuuntajatasolla. Samankaltainen tehojen kasvu on nähtävissä riippumatta siitä, tehdäänkö ohjaukset spot-, säätö- vai reservimarkkinoiden tarpeiden mukaan.

Tehopohjaiset siirtotariffit puolestaan luovat asiakkaalle kannusteen kiinnittää huomiota myös tehoihin. Verkostosimuloinneilla onkin osoitettu, että tehopohjaiset siirtotariffit tasoittavat markkinahintaohjauksen vaikutuksia verkon tehojen kasvuun. Tehopohjainen hinnoittelu voidaan toteuttaa esimerkiksi asiakkaan toteutuneeseen huipputehoon tai liittymispisteeseen määritellyyn tehorajaan perustuvan maksukomponentin avulla. Sähkön myyjän hinnoittelu voi siitä huolimatta perustua edelleen tunti hinnoitteluun, esim. spot-hintaan, jolloin asiakkailla on kannuste optimoida kuormia myös markkinahintojen perusteella. Tehopohjainen hinnoittelu voidaan nähdä jopa edellytyksenä järjestelmän kokonaistehokkuuden toteutumisen näkökulmasta, jotta markkinahinta-pohjaisella ohjauksella saavutettava hyöty ei eliminoidu verkon kapasiteettitarpeen kasvamisena ja siten asiakkaiden korkeampina siirtomaksuina. Tehopohjaista hinnoittelun teknistä toteutusta edesauttaa osassa AMR-mittareita oleva valmius ohjattavan tehorojoituksen ("software fuse") käyttöönottoon. Tehopohjainen hinnoittelu voidaan kuitenkin toteuttaa myös ilman mittarin ko. ominaisuutta.

Nykyisten kuormitusten lisäksi simuloinneilla on tarkastelu maalämpöpumppujen, pientuotannon ja sähköautojen vaikutuksia. Jos ei-sähkölämmitteiset kiinteistöt siirtyvät maalämpöpumppulämmitykseen, verkon tehot kasvavat. Tehdyissä simuloinneissa on havaittu, että tarkastellussa verkossa lämpöpumppujen aiheuttama kuormituksen kasvu vaikuttaa merkittävästi verkon jännitetasoihin. Uudessa kuormitustilanteessa pitää keskittyä erityisesti siihen, että asiakkaiden liittymäpisteiden jännitteet pysyvät hyväksyttävällä tasolla. Verkon loppupäässä, jossa jännitteenalenemat ovat suurimpia, olisi mahdollista säätää jakelumuuntajien väliottokytkimiä siten, että jännitteet nousevat. Myös jakelumuuntajien kuormitukset nousevat siten, että yhä useampi muuntaja on ajoittain nimellistä suuremmissa kuormissa. Tämä tulee huomioida suunnittelussa vaikka lämmityshuipun aikainen alhainen ulkolämpötila mahdollistaakin nimellistä kuormitusta merkittävästi suuremmat ylikuormitukset jakelumuuntajilla. Simuloinneissa oletuksena oli maalämpöpumpun täystehomitoitus.. Jos lämpöpumput olisivat osateholle mitoitettuja, verkon kuormitukset kasvaisivat vielä simuloitintuloksissa esitettyä enemmän.

Pientuotannon osalta on tarkasteltu asiakkaiden aurinkopaneleiden verkostovaikutuksia. Vaikka pientuotanto vähentää asiakkaan verkosta ottamaa energiaa, ei se pienennä huipputehoa, kos-

ka suurin tuotanto ajoittuu kesäaikaan. Pienen kulutuksen aikana tuotantomäärät ylittävät asiakkaan kulutuksen, ja tehoa lähtee siirtymään verkkoon päin. Tämä vaikutus näkyy tehon siirtosuunnan muutoksissa jakelumuuntamoilla ja keskijännitelähdöillä, ja jopa päämuuntajatasolla jo kohtalaisilla penetraatioasteilla. Asiakkaalta sähköaseman suuntaan siirtyvät tehot ovat kuitenkin selvästi pienempiä kuin huippukulutuksen aikaan verkosta asiakkaalle siirtyvät tehot. Siten pientuotannon muodostuminen mitoittavaksi tekijäksi jakeluverkossa laajassa mittakaavassa on epätodennäköistä.

Sähköautojen vaikutukset riippuvat huomattavasti siitä, millä logiikalla niiden latausta ohjataan. Mikäli niitä ladataan ohjaamattomasti siten, että autojen lataus aloitetaan välittömästi auton saavuttua kotiin, kasvavat verkon kuormat. Simulointien perusteella tämä ei kuitenkaan vaikuttaisi merkittävästi tarkastellun jakeluverkon mitoittamiseen. Mikäli sähköautojen latausta ohjataan verkon kuormitusten mukaisesti, on lataus periaatteessa mahdollista toteuttaa siten, että sillä ei ole vaikutusta jakeluverkon huipputehoihin. Sähköautojen älykäs lataus onkin yksi tulevaisuuden keskeisistä kysynnän joustoresursseista, ja mikäli autojen akuista on mahdollisuus syöttää tehoa verkkoon päin (V2G, vehicle-to-grid), voidaan niitä käyttää myös energiavarastona.

3.4 Kysynnän jouston toteutusmahdollisuudet eri markkinapaikoilla

Day-ahead (Elspot) markkinalla voidaan toteuttaa tuntihintapohjaista ohjausta AMR-mittareiden ohjausaikatauluun kytketyn ohjausreleen kautta. Käyttöön soveltuvaa ohjattavaa kuormaa on olemassa merkittävästi, verkkoyhtiökyselyn ja tehtyjen laskelmien perusteella yli 1000 MW. Käytännön toteutus vaatii vielä tietojärjestelmärajapintojen standardointia siten, että ohjaussignaalit kulkevat saumattomasti sähkönmyyjien ja verkkoyhtiöiden välillä

Päivän sisäisen ohjauksen (intra-day, säätösähkö) toteutus on edellistä haasteellisempaa ja sisältää teknisiä haasteita mm. riittävän nopean ja luotettavan tiedonsiirron sekä mittareiden ja keskusten asennusten osalta. Ohjattavaa kuormaa olisi kuitenkin olemassa merkittävästi (edellä mainitun aikaohjatun kuorman lisäksi luokkaa 1000 MW), joskin monessa ohjattavassa kohteessa puuttuu kytkentä AMR-mittarin kuormanohjausreleen ja ohjattavan kuorman välillä.

Nykyistä AMR –teknologiaa ei voida käyttää sellaisenaan nopeisiin ohjauksiin ja/tai **kantaverkkoyhtiön reservimarkkinoille**. Esim. paikallisen taajuuden mittauksen hyödyntäminen vaatii vähintään mittarin ohjelmiston päivityksen.

AMR-mittaria kehittyneempiä järjestelmiä, kuten kotitautomaatiolaitteistoja (HEMS) tarvitaan pienasiakkaiden ohjauksissa, jos halutaan tarjota ohjauksia **reservimarkkinoille** tai toteutetaan älykkäämpiä ohjauksia liittyen esim. **oma pientuotantoa omaavan asiakkaan ohjauksiin**. Kotitautomaatiojärjestelmiä on jo nykyisin tarjolla, mutta standardoimattomat toiminnot ja rajapinnat vaikeuttavat niiden hyödyntämistä yleisemmin markkinoilla. Kehitys tällä alueella on kuitenkin erittäin nopeaa.

AMR-mittareissa olevaa ”Software fuse” –toimintoa voidaan hyödyntää pienasiakkaan **tehopohjaisen tariffikomponentin toteutukseen**. Toiminto löytyy suuresta osasta mittareita, mutta toiminnon käyttöönotto vaatii yleensä vähintään mittarin ohjelmistopäivitystä. Tehotariffi voidaan kuitenkin toteuttaa myös ilman mittarin ko. toiminallisuutta.

Muiden kuin pienasiakkaiden (kotitalous- ja vapaa-ajan kiinteistöjen) kiinteistöjen ohjauksissa muut kuin AMR-pohjaiset ratkaisut, erilaiset kiinteistöautomaatiojärjestelmät, ovat ensisijainen ratkaisu. Kysynnän jouston laajamittaisempi liikkeellelähtö voikin tapahtua **palvelu-, liike- ja toimistorakennuksista**, joissa kohteissa löytyy monipuolisia taloteknisiä ratkaisuja sekä mahdollisesti selkeämpi liiketoimintahyöty.

3.5 Kysynnän jouston laajamittaisen soveltamisen esteitä

Monet esteistä ja haasteista kysynnän jouston laajamittaiselle soveltamiselle ovat taloudellisia tai poliittisia. Kysynnän jouston pitäisi olla yleistyäkseen riittävän kannattavaa kaikkien kysynnän joustoon osallistuvien osapuolten kannalta. Ilman sitä, että loppuasiakkaat kykenevät kysynnän joustoaan myymään ei se voi laajasti yleistyä. Hinnoittelumallien pitäisi olla riittävän selkeitä, tekniikan tulisi olla luotettavaa ja helppokäyttöistä, sekä myös kysynnän joustoasioita koskevan informaation saatavuuden ja tietämyksen tulisi olla riittävällä tasolla loppukäyttäjien keskuudessa. Näitä esteitä ja rajoitteita voidaan poistaa ja vähentää tuotteistamisen kautta.

Kysynnän jouston edellytykset riippuvat lukuisista erillisistä säädöksistä. Näiden säätämistä ei ole toistaiseksi koordinoitu kysynnän jouston näkökulmasta. Nykyiset rakentamismääräykset eivät ota huomioon rakennusten tehon kulutusta ja energiankäytön ajallista jakautumista, vaan rakennusten energiankulutusta tarkastellaan pääosin vuosienenergiana. Lainsäädäntö edellyttää AMR-mittariin releen, jolla kuormaa voidaan ohjata, mutta ohjausreleen takana ei ole pakko olla kuormaa. Lisäksi kiinteistöistä ja asiakkaiden sisäasennuksista puuttuu usein kuormanohjaus-

johdotukset. Siksi etäluettavien sähkömittareiden kautta ei välttämättä kuormia ole mahdollista ohjata, vaikka mittarissa itsessään olisikin ohjausominaisuus.

Verkkoyhtiöllä ei ole nykytilanteessa kannustinta kysynnän jouston edistämiseen. Kysynnän jousto ei ole Energiaviraston nykyisen kannan mukaan edes sähköverkkotoimintaa. Verkkoliiketoiminnan valvontamalli kannustaa verkkoyhtiöitä Suomessa investointeihin, jolloin myös kysynnän jouston infrastruktuuriin on kannattavaa investoida. Kuitenkaan malli ei kannusta siihen, että kysynnän joustoa käytettäisiin verkon vahvistuksen sijasta. Siksi verkon pullonkaulat kannattaa nykyisten kannusteiden mukaan poistaa ennemmin verkostoinvestoinneilla.

Keskeisiä esteitä kysynnän jouston toteutumiselle yleisesti ovat myös hajanainen toimialakenttä (suuri määrä erilaisia myyjiä ja verkkoyhtiöitä), standardoimattomat prosessit (sellaisissa kohdissa, joissa voisi olla perusteltua olla yhtenäiset käytännöt), tietojärjestelmien rajapinnat ja toimintavasteiden suuri hajonta. Lisäksi tieto asiakkaan kuormista ja niiden ohjattavuudesta usein puuttuu.

4 Toimenpide-ehdotukset

Tutkimusprojektin tulosten johtopäätöksenä esitetään seuraavia toimenpiteitä kysynnän jouston laajamittaisen soveltamisen mahdollistamiseksi ja edistämiseksi Suomessa. Teknologian ja liiketoimintamallien kehittämisen lisäksi keskeistä on vaikuttaminen lainsäädäntöön sekä viranomaismääräyksiin ja ohjeisiin.

Toimenpide-ehdotusten osalta on alla olevaan taulukkoon kirjattu myös toimenpiteen toteuttamisesta ensisijaisesti vastuussa olevat tahot sekä arvio toimenpiteen aikataulusta. Aikataulussa kyse on nimenomaan toimenpiteen toteutuksen aikataulusta, sen vaikutus voi tulla huomattavasti pidemmällä aikajänteellä.

| Toimenpide | Vastuutaho | Aikataulu |
|---|---|------------|
| TUOTTEISTAMINEN | | |
| Kysynnän jouston tuotteistaminen, markkinointi sekä potentiaalisten asiakkaiden löytäminen ja asiakkaiden aktivointi, esim. uusien hinnoittelumallien tai helppokäyttöisen loppuasiakkaan käyttöliittymän avulla. | sähkön myyjät, kanta-verkkoyhtiö, DR-operaattori | < 2 vuotta |
| Tehopohjaisen siirtotariffin tuotteistaminen, jonka tavoitteena on vähentää kysynnän jouston intressiristiriitoja, luo kannusteita asiakkaiden kysynnän joustolle ja tuo kysynnän jouston hyötyjä myös verkkoyhtiöille leikkaamalla suurimpia huipputehoja. | jakeluverkkoyhtiöt | < 6 vuotta |
| INFORMOINTI | | |
| Kokonaisvaltaisen näkemyksen jalkauttaminen, toimijoiden roolien selkiyttäminen ja toimialan yhteistyön vahvistaminen. | Toimialan kaikki toimijat omien sidosryhmiensä osalta (*, tarkennus taulukon jälkeen) | < 2 |
| Yleisen tietoisuuden kasvattaminen siitä, mitä kysynnän jousto koko laajuudessaan tarkoittaa ja miksi sitä tarvitaan, kohderyhmänä erityisesti asiakkaat (sisältää myös kiinteistöjen omistajat) ja viranomaiset. | Tietoisuuden lisäämisessä vastuussa kaikki oman sidosryhmiensä osalta (*, tarkennus taulukon jälkeen) | < 2 |

| | | |
|--|---|--------------------|
| <p>Alan toimijoiden tietoisuuden ja osaamisen lisääminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • perus- ja täydennyskoulutus • yhteiset verkkoaineistot | Opetusta antavat yksiköt | < 2 |
| LAINSÄÄDÄNNÖN, VIRANOMAISMÄÄRÄYSTEN JA OHJEIDEN KEHITTÄMINEN | | |
| <p>Selkeä kannuste verkkoyhtiöiden valvontamalliin kysynnän jouston edistämiseksi mm. tietojärjestelmien rajapintojen ja toiminnallisuuden kehittämiseksi. Kannuste voidaan sisällyttää esim. valvontamallin innovaatiokannustimeen.</p> | Energiavirasto | < 1 tai < 8 vuotta |
| <p>Säädöksen valmistelutyön (sähkömarkkinalaki, rakentamismääräykset, sähköturvallisuuslaki, energiatehokkuuslaki, erilaiset muut määräykset, ohjeistukset) koordinaatio kokonaisuutena kysyntäjouston näkökulmasta silloin, kun näitä määräyksiä muutenkin ollaan kehittämässä.</p> | Viranomaiset, toimialan järjestöjen edustajat | jatkuvaa toimintaa |
| <p>Kysynnän jouston edellytysten luominen osana uudistettavaa rakentamista ohjaavaa lainsäädäntöä</p> <ul style="list-style-type: none"> • sähkötehon ja ohjauspotentiaalain määrittely osaksi nZEB-rakennuksen vaatimuksia • kannusteiden luominen esim. energiamuotoker toimien avulla • uusiutuvaksi ”lähituotannoksi” (near-by) määritellyn tuotannon vaikutusten huomioonottaminen kokonaisratkaisuisissa | Viranomaiset, säädösvalmisteluun osallistuvat toimialan edustajat | < 2 |
| <p>Perusvaatimusten luominen kiinteistöjen sähköjärjestelmien teknisille valmiuksille ja suunnittelulle osana rakentamisen kokonaisohjausta rakentamismääräysten uudistuksen yhteydessä</p> <ul style="list-style-type: none"> • sähköjärjestelmien suunnitteluvaatimus • tekniset perusvaatimukset kysynnän joustoon varautumiselle (ryhmitykset, vakioidut ohjaustietojen kytkennät ja ohjaustietojen välitystavat) • sähköasennusten dokumentaatiovaatimus muunkin kuin sähköturvallisuuden näkökulmasta | Viranomaiset, toimialan järjestöjen edustajat | < 2 |

| TOIMINTATAPOJEN YHTENÄISTÄMINEN | | |
|---|--|-------|
| Kysynnän jouston toimintoihin osallistuvien tietojärjestelmärajapintojen ja teknisten vaatimusten (esim. vastaajien) standardointi. Viestiliikenteen tulee perustua selkeisiin standardoituuihin sanomiin. | ET, verkkoyhtiöt, sähkön myyjät, järjestelmätoimittajat standardointitoimikunnat | < 2 v |
| Toimintatapa, jolla asiakas voi helposti vertailla eri kysyntäjoustotuotteiden soveltuvuutta omaan joustopotentiaaliinsa ja kulutusprofiiliinsa. Esimerkiksi Energiaviraston ylläpitämää sähkönhinta.fi –sivustoa tulisi kehittää niin, että se mahdollistaa myös kysyntäjousto ja muiden uusien innovatiivisten tuotteiden ilmoittamisen palvelussa. Tiedot asiakkaan nykyisestä kulutusprofiilista voisi asiakkaan luvalla välittää kilpailutuspalveluun tulevaisuudessa esim. Data Hubin kautta. | Energiavirasto, verkkoyhtiöt, sähkön myyjät, järjestelmätoimittajat | < 4 v |
| AMR-mittareiden kytkentöjen yhtenäiset käytännöt ja seuraavan sukupolven AMR-mittareiden minimitoiminnallisuuksien (mittaukset, ohjaukset, tiedonsiirto) määrittely siten, että tulevaisuuden mittari-infrastruktuuri tukee kysyntäjoustoja mahdollisimman hyvin. | viranomaiset, verkkoyhtiöt, standardointitoimikuntien jäsenet, Sähkötieto ry | < 6 |
| Suunnitteilla olevan Data Hubin tietosisällön määrittely siten, että se tukee kysynnän jouston toimintojen kehittämistä. Data Hubin tulisi sisältää mm. tietoa asiakkaiden joustopotentiaalista ja ohjaukseen liittyvistä reunaehdoista sekä toteutetuista joustotoiminnoista. Tämä antaa mahdollisuuden arvioida vaikutuksia markkinoille näkyvään kuormitusmalliin sekä parantaa myyjien mahdollisuutta markkinoida joustotuotteita potentiaalisille asiakkaille. | Data Hubin kehityksestä ja ylläpidosta vastaavat tahot | < 2 |
| Esimerkkiratkaisujen luominen ST-kortistoon <ul style="list-style-type: none"> • tieto ohjattavissa olevasta tehosta • kuormien ryhmykset • automaation vaatimukset • mittauskytkennät | Sähkötieto ry | < 2 v |

| MUUT TOIMENPITEET | | |
|---|--|----------|
| Tuntimittausten perusteella syntyvän mittausdatan hyödyntäminen eri kulutusryhmien tehotietojen ja profiilien keräämisessä. Tiedon perusteella voidaan parantaa mm. liittymien mitoitusta, saada lisätietoa tehohuippujen muodostumisesta ja kysyntäjouston potentiaalista sekä parantaa yleistä tietoisuutta sähköverkojen ja energiajärjestelmän käyttäytymisestä. Mittaustietojen keräämisessä pitää huomioida tieto- ja yksityisyyden suojaan liittyvät kysymykset. | Myyntiyhtiöt, verkkoyhtiö, Data Hub Tutkimuslaitokset | < 2 v |
| Kiinteistöjen turvallisuuskäsitteiden selvitys <ul style="list-style-type: none"> tietoturvallisuus automaation ja ohjauksen vaikutukset | Tutkimuslaitokset Standardointitoimikunnat | < 4 v |
| Suunnitteluohjelmistojen kehittäminen <ul style="list-style-type: none"> kuorman ohjauksen sisältämä "sähköjärjestelmien tietomalli" | Ohjelmistotalot | < 4 v |
| Kysyntäjouston toteutuksen seuraaminen Pohjoismaissa ja EU:ssa sekä kysyntäjoustoratkaisujen toteutukseen vaikuttaminen EU:ssa, jotta vältetään sellaiset vaatimukset, jotka eivät sovellu Suomen toimintaympäristöön | Viranomaiset ja toimialajärjestöt Yliopistot ja tutkimuslaitokset | jatkuvaa |

*

- Toimialajärjestöjen vastuulla kysynnän joustoon liittyvän tiedon jalkauttaminen omille jäsenille
- Toimialan yritysten vastuulla demo- ja pilottihankkeiden toteuttaminen ja tuotteistaminen
- Koulutuksen järjestäjien vastuulla kysynnän joustoon liittyvien kysymysten huomioiminen teknisen alan peruskoulutuksessa (sähkösuunnittelijat, rakennuttajat ja asentajat), ylemmän asteen koulutuksessa (AMK-insinööri, DI, TkT) sekä täydennyskoulutuksessa
- Tutkimuslaitoksien vastuulla jatkotutkimushankkeiden tunnistaminen, ideointi ja toteutus
- Tutkimusrahoittajien vastuulla (esim. ST-pooli, Tekes, TEM) kysynnän joustoon liittyvien kysymysten tunnistaminen ja rahoittaminen tutkimuskohteena
- Viranomaisten (esim. Energiavirastolla lakisääteinen velvoite olemassa) vastuulla tarjota kysynnän joustoon liittyvää yleistä informaatiota, esim. verkkosivuston muodossa
- Kaikkien toimijoiden vastuulla yhteistyön vahvistaminen