



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TUOMAS ÅHLMAN
KYSYNNÄNJOUSTON POTENTIAALI JA VAIKUTUKSET JAKE-
LUVERKKOYHTIÖLLE
Diplomityö

Tarkastaja:
professori Pertti Järventausta
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 5. lokakuu-
ta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

ÅHLMAN, TUOMAS: Kysynnäjouaston potentiaali ja vaikutukset jakeluverkkoyhtiölle

Diplomityö, 92 sivua, 4 liitesivua

Huhtikuu 2012

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pertti Järventausta

Avainsanat: älykkäät sähköverkot, jakeluverkkoyhtiö, automaattinen mittarinluenta (AMR), älykkäät sähkömittarit, kysynnäjousto, sähkölämmitys, kuorman ohjaus

Sähkön kulutushuiput aiheuttavat ongelmia esimerkiksi sähkön tuotannolle sekä sähköverkoille ja -markkinoille. Älykkäät sähköverkot mahdollistavat sähkön käyttäjien aktiivisuuden lisäämisen, mikä johtaa joustavampaan sähkön kysyntään. Joustavan kysynnän avulla voidaan rajoittaa sähkön kulutushuippuja, jolloin ympäristöä kuormittavien huippukuormavoimailaitosten käyttöä voidaan vähentää. Lisäksi voidaan säästää sähköverkon investoinneissa ja välttää hintapiikkejä sähkömarkkinoilla. Myös sähkön käyttäjä voi hyötyä joustosta alhaisemman sähkön hinnan tai maksettavien kannustimien myötä. Saavutetut edut riippuvat kysynnäjouaston toteutustavasta.

Tässä diplomityössä tutkitaan kysynnäjouaston mahdollisuuksia ja potentiaalia. Tavoitteena on selvittää kysynnäjouaston vaikutuksia jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta. Työn alussa tarkastellaan kysynnäjoustoja yleisesti sekä kulutukseen vaikuttamisen keinoja ja kysynnäjouaston teknisiä edellytyksiä. Lisäksi pohditaan eri sidosryhmien rooleja ja tarpeita kysynnäjoustoissa sekä luodaan liiketoimintamalleja kysynnäjouston ympärille. Alkuosa perustuu pääasiassa kirjallisuustutkimukseen. Työn soveltavassa osuudessa tutkitaan pienkuluttajien sähkölämmityskuormien joustopotentiaalia Vantaalla luomalla niille kuormitusmalli AMR-mittauksien pohjalta sekä laskemalla skenaarioita verkkotietojärjestelmällä. Työssä tutkitaan myös asiakkaiden suhtautumista nykyistä joustavampaan sähkön käyttöön sekä informaation tarpeeseen ja sen välitystapoihin. Tutkimus toteutetaan asiakaskyselyn avulla.

Myyjävetoisen liiketoimintamallin todetaan olevan todennäköisin vaihtoehto kysynnäjouaston yleistyessä, koska siitä hyötyvät muutkin osapuolet. Lisäksi tarvittava tekniikka on jo ainakin osittain olemassa, ja sähkön myyjillä on tarvittava osaaminen ja kokemus toimialasta. Jakeluverkkoyhtiöllä on myyjävetoisessa mallissa tärkeä rooli, koska jakeluverkko luo edellytykset uusien tuotteiden ja palveluiden toteuttamiselle. Tutkimuksen perusteella pienkuluttajien sähkölämmityskuormilla on merkittävää kysynnäjoustopotentiaalia Vantaalla. Tämä potentiaali olisi mahdollista hyödyntää käytössä olevilla älykkäillä sähkömittareilla. Sähkölämmityskuormien ohjaustapaa muuttamalla olisi mahdollista pienentää alueellisten ongelmakohtien huipputehoa merkittävästi.

Kyselytutkimuksen perusteella nykyistä joustavampi sähkön käyttö herättää vastaajissa mielenkiintoa, mutta vähäisen tietoisuuden vuoksi asia on vaikeaa ymmärtää ja se herättää epäilyksiä. Kuluttajien aktiivisuuden kasvattamista voidaankin pitää yhtenä merkittävimmistä haasteista kysynnäjouaston edistämiseksi. Muita haasteita aiheuttavat muun muassa yhtenäisten standardien ja pelisääntöjen puute sekä jakeluverkkoyhtiön syrjimättömän toimintatavan varmistaminen.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

ÅHLMAN, TUOMAS: The potential and effects of demand response on a distribution system operator

Master of Science Thesis, 92 pages, 4 appendix pages

April 2012

Major: Power systems and market

Examiner: Professor Pertti Järventausta

Keywords: smart grids, distribution system operator, automatic meter reading (AMR), smart meters, demand response, electric heating, load control

Peaks in the consumption of electricity can cause many problems in its production and distribution as well as in electric market. Smart grids make possible to increase the activity of customers. This increases the responsiveness of the demand of electricity. Demand response means that the consumption of electricity can be reduced during peak demand periods. Lower peak demand can limit the use of uneconomical and pollutant power plants. It can also decrease the need for investments in distribution network and reduce price peaks in electric market. Demand response can also benefit the consumer by decreasing the price of electricity.

This thesis studies the possibilities and the potential of demand response. The objective is to clarify the effects of demand response on a distribution system operator. The beginning of the thesis examines demand response and possible ways to affect the consumption of electricity based mainly on literature review. Roles of different stakeholders are also examined and alternative business models are presented. The load control potential of households' electric heating is studied by creating a load model for electric heating based on AMR-measurements. Furthermore, the effects of load control of electric heating loads are modeled in a network information system and different scenarios for load control are created. After this, the attitude of consumers towards load control and need of information are researched via a consumer survey.

The results suggest that the supplier centric business model is the most probable because it benefits other stakeholders as well. In addition, suppliers already have the needed knowledge and experience of the sector. Distribution system operator plays an important role in the supplier centric model because distribution networks build a platform for creating new products and services. The research also suggests that there is significant load control potential in households' electric heating loads which could be utilized by using AMR-meters to control loads. Controlling of electric heating loads would enable the reduction of peak consumption especially in specific problem areas. This would reduce or at least delay the need for investments.

The consumer survey shows that consumers are interested in the possibilities of load control but they also have doubts which are mainly due to the lack of information and user experiences. That is why increasing knowledge of demand response can be seen as one the biggest challenges in its generalization. Examples of other possible barriers are the lack of common standards and rules and ensuring that distribution system operators are able to act according to the antidiscrimination policy.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Vantaan Energia Sähköverkot Oy:ssä osana Cleen Oy:n älykkäät sähköverkot ja energiamarkkinat tutkimusohjelmaa. Työn tarkastajana toimi professori Pertti Järventausta Tampereen teknillisestä yliopistosta sekä ohjaajina DI Juho Paloposki ja DI Stefan Forsström Vantaan Energia Sähköverkot Oy:stä.

Haluan kiittää työni ohjaajia mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta aiheesta sekä lukemattomista neuvoista ja opeista työn aikana. Yhteiset palaverimme helpottivat diplomityön tekoa suuresti ja opettivat minulle paljon. Lisäksi haluan kiittää kaikkia Vantaan Energia -konsernin työntekijöitä, jotka ovat auttaneet työn eri vaiheissa ja luoneet viihtyisän työilmapiirin. Kiitos kuuluu myös professori Pertti Järventaustalle, joka kiireistään huolimatta jaksoi aina vastata kysymyksiini asiantuntevasti. Erityiskiitos kuuluu professori Satu Viljaiselle ja DI Salla Annalalle Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta yhteistyöstä asiakaskyselyn järjestämisessä.

Lopuksi haluan kiittää ystäviäni, jotka tekivät opiskelujastani ikimuistaisen, sekä perhettäni tuesta opintojeni aikana. Erityiskiitos Lauralle, jonka vertaistuki diplomityöni aikana oli kullan arvoista. Ilman teitä kaikkia en olisi nyt kirjoittamassa näitä alkusanoja.

Vantaa, 15.3.2012

Tuomas Åhlman

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
1.1	Vantaan Energia -konserni ja Vantaan Energia Sähköverkot Oy	2
2	Sähkön kysynnänjousto.....	4
2.1	Taustaa	4
2.2	Kysynnänjoustop määritelmä.....	8
2.3	Kulutukseen vaikuttaminen.....	12
2.3.1	Sähköenergian myyntihinnoittelu	14
2.3.2	Siirtotariffit	14
2.3.3	Kuluttajien tiedottaminen ja palaute	15
2.4	Tekniset edellytykset kysynnänjoustoplle	18
2.4.1	Älykkäät sähkömittarit.....	18
2.4.2	Etäluennan tilanne Vantaalla	19
2.4.3	Muut.....	21
2.5	Roolit ja tarpeet kysynnänjoustopssa	22
2.5.1	Yleistä	22
2.5.2	Sähkön myyjä	23
2.5.3	Jakeluverkkoyhtiö.....	24
2.5.4	Kantaverkkoyhtiö.....	26
2.5.5	Pienkuluttajat	27
2.5.6	Ulkopuolinen aggregaattori	28
2.6	Tulevaisuuden näkymät ja liiketoimintamallit.....	28
2.6.1	Aggregaattoritoiminta.....	28
2.6.2	Myyjävetoinen malli	31
2.6.3	Jakeluverkkoyhtiövetoinen malli.....	33
2.6.4	Ulkopuolinen aggregaattori	34
3	Kysynnänjoustopn potentiaali.....	38
3.1	Taustaa	38
3.2	Kysynnänjoustopn nykytilanne.....	40
3.2.1	Teollisuus.....	40
3.2.2	Pienkuluttajat	42
3.3	Sähkölämmityksen potentiaali Vantaalla.....	44
3.3.1	Taustaa	44
3.3.2	Kuormitusmalli sähkölämmitykselle	48
3.3.3	Case Ylästö	56
3.3.4	Case Koko Vantaa	64
3.4	Tulevaisuuden näkymät	67
3.4.1	Taustaa	67
3.4.2	Sähköautot	68
3.4.3	Hajautettu tuotanto.....	74
4	Kuluttajien suhtautuminen	77
4.1	Kyselytutkimus	77

4.1.1	Kyselytutkimuksen tulokset.....	78
4.1.2	Yhteenvedo	80
5	Kysynnäjouaston vaikutukset jakeluverkkoyhtiölle	83
5.1	Kysynnäjouaston vaikutukset pitkän tähtäimen suunnitteluun ja ennustamiseen	84
6	Yhteenvedo	85
	Lähteet.....	88
	Liite 1	93
	Liite 2	96

LYHENTEET

AMR	Automatic Meter Reading, automaattinen mittarinluenta
BEV	Battery Electric Vehicle, täyssähköauto
DER	Distributed Energy Resource, hajautettu energiaresurssi
DR	Demand Response, kysynnänjousto
DSM	Demand-Side Management, kysynnänhallinta
EV	Electric Vehicle, täyssähköauto
GPRS	General Packet Radio Service, langattoman Internet-yhteyden muodostamiseen käytettävä GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
HAN	Home Automation Network, kotiautomaatioverkko
PED	Price Elasticity of Demand, kysynnänhintajousto
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle, verkosta ladattava hybridi-sähköauto
PJK	Pikajälleenkytkentä
VE	Vantaan Energia -konserni
VES	Vantaan Energia Sähköverkot Oy
VPP	Virtual Power Plant, virtuaalivoimalaitos
Kbps	Kilobits per second, kilobittiä sekunnissa
MWh	megawattitunti
TWh	terawattitunti
KWh	kilowattitunti

MÄÄRITELMÄT

Aggregaattori	Toimija, joka vastaa hajautettujen energiaresurssien koamisesta, hallinnasta ja kaupallisesta hyödyntämisestä.
Johdannaismarkkinat	Markkinat, joilla käydään kauppaa pidemmälle tulevaisuuden spot-markkinoihin verrattuna, lähipäivistä aina kolmen vuoden päähän. Johdannaismarkkinoiden tarkoitus on luoda pitkän tähtäimen ennustettavuutta alan yrityksille sekä helpottaa riskienhallintaa. Kauppaa käydään puhtaasti finanssi-tuotteilla, joten fyysinen sähkön hankinta täytyy hoitaa muualla.
Nord Pool Smart Grid	pohjoismainen sähköpörssi Älykäs sähköverkko. Muodostaa asiakaslähtöisen markkinapaikan erilaisille asiakasrajapintaan liittyville toiminnoille, kuten kysynnänjoustolle, ja energiatehokkuutta tukeville palveluille sekä parantaa verkon käyttövarmuutta ja vikatilanteiden hallintaa.
Elbas-markkina	Nord Poolin markkinapaikka, jossa kaupankäynti jatkuu käyttötuntia edeltävälle tunnille asti
(El)spot-markkina	Nord Poolin markkinapaikka, jossa seuraavan vuorokauden jokaisen tunnin systeemihinta sähkölle määräytyy jätettyjen osto- ja myyntitarjousten perusteella. Muodostunutta hintaa kutsutaan systeemihinnaksi tai spot-hinnaksi.
Tuntimittausvelvoite	Sähkömarkkina-asetuksen 66/2009 velvoite, jonka mukaan sähkön kulutuksen ja pienimuotoisen sähkön tuotannon tulee perustua tuntimittaukseen sekä mittauslaitteiston etäluentaan vuoteen 2014 mennessä.

1 JOHDANTO

Sähkön kulutus on kasvanut tasaisesti viime vuosikymmenien aikana ja samalla myös kulutushuiput ovat kasvaneet. Energian säästöllä voidaan tulevaisuudessa hillitä sähkön kulutuksen kasvua, mutta myös huippukulutusta tulisi pystyä rajoittamaan. Kulutushuiput ovat ongelmallisia muun muassa sähkön tuotannon sekä sähköverkkojen kannalta, koska niiden kapasiteetin tulee aina vastata huippukulutusta. Tämän takia kasvavat kulutushuiput vaativat suuria investointeja niin sähkön tuotantokapasiteettiin kuin sähköverkkoihin. Kulutushuiput ilmenevät kuitenkin vain harvoin, jolloin tehdyt investoinnit ovat suurimman osan ajasta käyttämättä. Kulutushuiput vaikeuttavat myös tiukentuneiden ympäristötavoitteiden saavuttamista, koska korkean kysynnän tyydyttämiseksi joudutaan ottamaan käyttöön kalliimmat ja enemmän päästöjä aiheuttavat tuotantomuodot. Lisäksi kulutushuiput aiheuttavat hintapiikkejä sähkömarkkinoilla. Hintapiikeistä aiheutuu suuria kustannuksia ja riskejä niin sähkön myyjille kuin käyttäjillekin.

Älykkäät sähköverkot mahdollistavat tarkemman sähkön tuotannon ja kulutuksen optimoinnin. Tähän tarvitaan joustavaa kysyntää. Kysynnänjoustossa sähkön kulutusta siirretään ajallisesti siten, että se on sähkön käyttäjän sekä koko sähköjärjestelmän kannalta tehokkainta. Kysynnänjouston seurauksena sähkön kulutuksen ajallinen vaihtelu vähenee ja kulutushuiput pienenevät. Sen avulla voidaan välttää hintapiikkejä sähkömarkkinoilla ja parantaa ympäristöystävällisen hajautetun tuotannon, kuten tuulivoiman, hyödynnettävyyttä. Lisäksi kysynnänjoustolla voidaan vähentää ympäristöä kuormittavien huippukuormavoimailaitoksien käyttötarvetta, jolloin ympäristötavoitteiden saavuttaminen helpottuu.

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia kysynnänjouston mahdollisuuksia ja potentiaalia sekä kysynnänjouston yleistymisen vaikutuksia jakeluverkkoyhtiölle. Työssä keskitytään pääasiassa pienkuluttajien kysynnänjoustoon ja erityisesti ohjattavien sähkölämmityskuormien kysynnänjoustopotentiaaliin. Tavoitteena on tutkia erilaisia liiketoimintamalleja kysynnänjoustolle sekä luoda laskelmia ja skenaarioita pienkuluttajien sähkölämmityskuormien potentiaalista kohdeyrityksen alueella. Lisäksi työssä pyritään selvittämään kuluttajien suhtautumista nykyistä joustavampaan sähkön käyttöön asiakaskyselyn avulla.

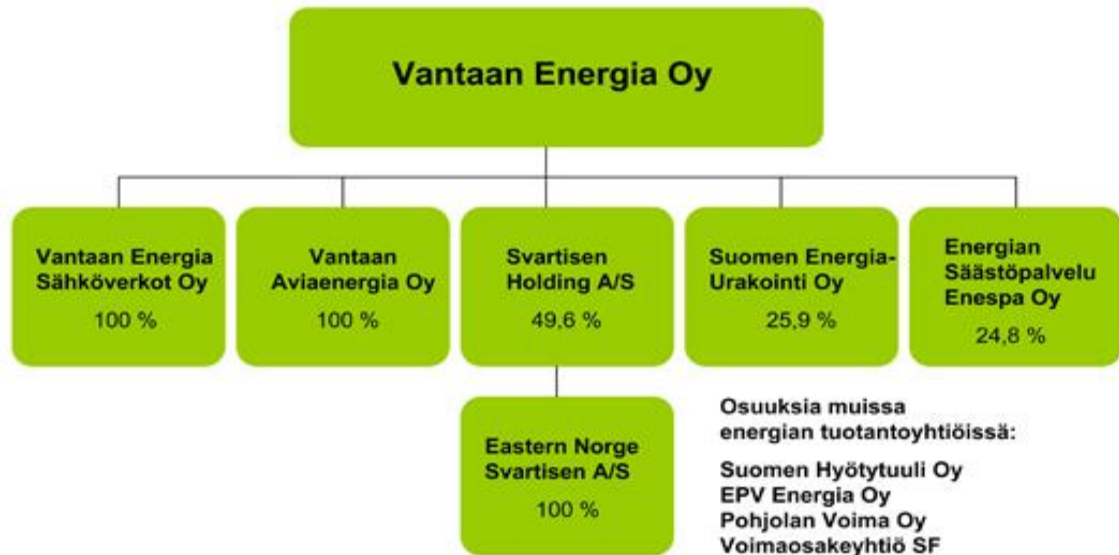
Työn alussa määritellään kysynnänjousto ja luodaan teoreettiset perusteet lopputyölle. Lisäksi kartoitetaan erilaisia vaikutustapoja sähkön kulutukseen sekä kysynnänjouston teknisiä edellytyksiä. Työn alkuosa perustuu pääasiassa kirjallisuustutkimukseen. Kappaleen 2 loppupuolella tutkitaan eri sidosryhmien tarpeita ja rooleja kysynnänjoustossa sekä luodaan näiden pohjalta liiketoimintamalleja. Kappaleessa kolme tutkitaan kysynnänjouston potentiaalia ja perehdytään erityisesti pienkuluttajien sähköläm-

mityskuormien potentiaaliin kohdeyrityksen alueella. Tutkimusta tehdään AMR-mittauksien pohjalta muodostetun sähkölämmityksen kuormitusmallin pohjalta sekä verkkotietojärjestelmässä mallintamalla. Kappaleessa neljä käsitellään asiakkaiden suhtautumista nykyistä joustavampaan sähkön kulutukseen sekä informaation tarpeeseen ja välitystapoihin. Tutkimusta varten osana diplomityötä toteutettiin asiakaskysely.

1.1 Vantaan Energia -konserni ja Vantaan Energia Sähköverkot Oy

Nykyisen Vantaan Energian toiminta alkoi Malmin Sähkölaitoksesta vuonna 1910. Yli satavuotisen historian aikana yritys on muuttanut nimeään useasti ja nykyisin se tunnetaan Vantaan Energia -konsernina. Vantaan Energia Oy (VE) on konsernin emoyhtiö, joka on yksi Suomen suurimmista kaupunkienergiayhtiöistä. Yhtiö tuottaa ja myy sähköä sekä lämpöä ja tarjoaa lisäksi maakaasua teollisuuden tarpeisiin. Yhtiö tuottaa suurimman osan sähköstään ja lämmöstään Martinlaakson yhteistuotantovoimalaitoksella. Vuonna 2014 käyttöön otettava Itä-Vantaalle rakentuva jätevoimala korvaa yhden Martinlaakson voimalaitoksen käyttöikänsä loppuun tulevan tuotantoyksikön. Uusi jätevoimala tuottaa valmistuessaan noin 750 gigawattituntia (GWh) lämpöä sekä noin 500 GWh sähköä vuodessa ja sen myötä Vantaan Energian hiilen käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa vähenee noin 30 %. Lisäksi se vähentää yhtiön kokonaispäästöjä noin 20 %. Tuotannon lisäksi yhtiö vastaa myös kaukolämpöverkon rakentamisesta ja huollosta Vantaalla. Yhtiön omistavat Vantaan (60 %) ja Helsingin (40 %) kaupungit. (Vantaan Energia Oy 2012)

Emoyhtiön lisäksi Vantaan Energia -konserniin kuuluvat emoyhtiön täysin omistamat tytäryhtiöt Vantaan Energia Sähköverkot Oy (VES) ja Vantaan Aviaenergia Oy sekä erilaiset osakkuusyhtiöt. Osakkuusyhtiöitä ovat tuotanto-osakkuusyhtiöt, kuten Svartisenin vesivoimalaitos Norjassa ja tuulivoimaan erikoistuneet Suomen Hyötytuuli Oy, Innopower Oy ja EPV Energia Oy, sekä sähköisen yhdyskuntatekniikan verkkojen ja laitteistojen suunnitteluun, asennukseen ja käyttöön liittyviin palveluihin keskittyvä Suomen Energia-Urakointi Oy ja Energian Säästöpalvelu Enespa Oy. Vantaan Energia -konsernin rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Vantaan Energia -konserni (Vantaan Energia Oy 2012)

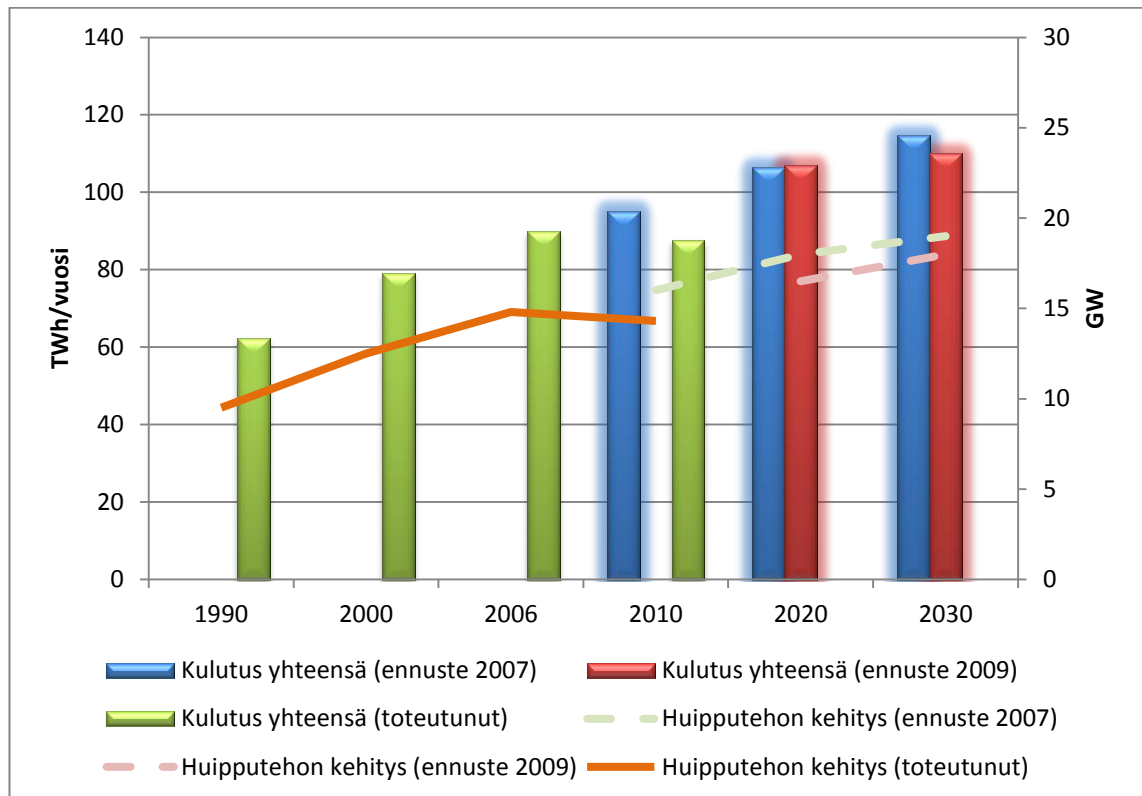
Konsernin liikevaihto oli 283,3 miljoonaa euroa vuonna 2010 ja yhtiön palveluksessa työskenteli keskimäärin noin 350 henkilöä. (Vantaan Energia 2012)

Vantaan Energia Sähköverkot Oy on kaupunkiverkkoyhtiö, joka vastaa sähköverkkopalveluista, kuten sähkön siirrosta, sähköverkon kunnosta ja asiakkaiden sähkön laadusta Vantaalla. VES:n verkko koostuu voimalaitos- ja kantaverkkoliitynnöistä, 110 kilovoltin (kV) siirtoverkosta, 110/20 kV sähköasemista, 20 kV keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista, 0,4 kV pienjänniteverkosta sekä muista verkkoon liittyvistä komponenteista ja laitteista. Sähköasemia on tällä hetkellä 9 kpl, mutta lähitulevaisuudessa lukumäärä tulee kasvamaan kahdella Honkanummen ja Tuupakan uusien sähköasemien myötä. Uusilla sähköasemainvestoinneilla yhtiö vastaa Vantaan kaupungin kasvuun. VES:n sähkönjakeluverkon pituus on noin 3000 kilometriä, josta suuri osa, noin 83 % vuonna 2010, on kaapeloitu. Osittain suuren kaapelointiasteen ansiosta keskimääräinen sähkön keskeytysaika asiakasta kohden oli noin 16 minuuttia vuonna 2010 ja keskeytyksiä oli 0,52 kpl asiakasta kohden. (Vantaan Energia Oy 2012)

2 SÄHKÖN KYSYNNÄNJOUSTO

2.1 Taustaa

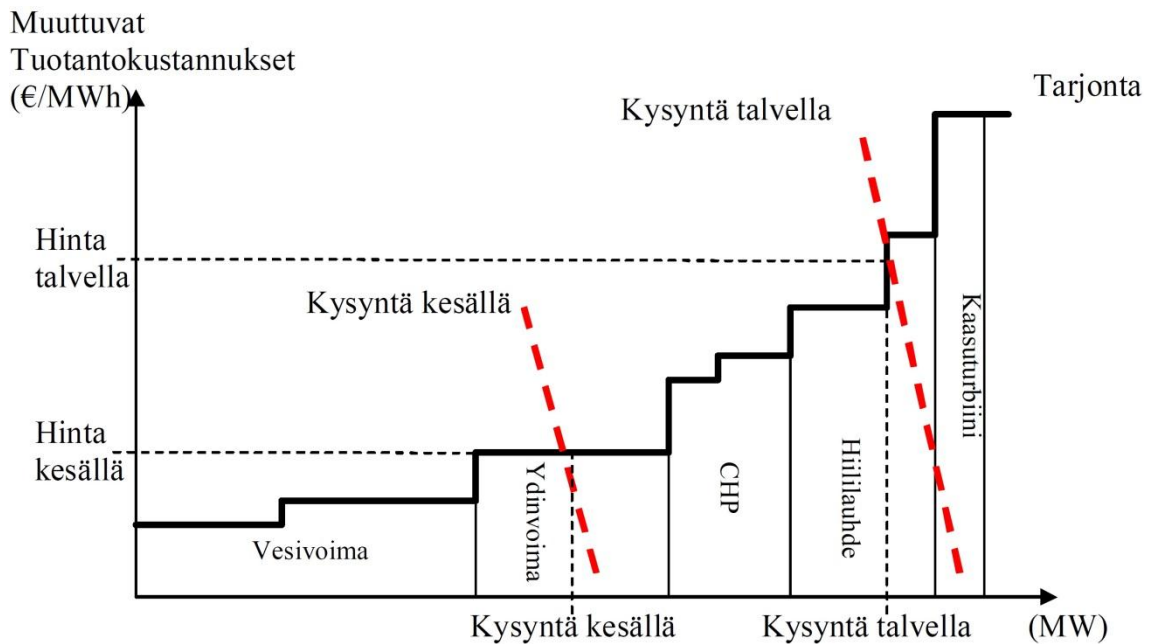
Sähkön kulutus Euroopassa on kasvanut keskimäärin 1,5 % vuodessa huippukuorman kasvaessa vieläkin jyrkemmin, keskimäärin 2,0 % vuodessa. Muun muassa elinkeinoelämän keskusliiton ja Energiateollisuuden arvioiden mukaan sähkön kysyntä ja huipputeho jatkavat kasvuaan tulevaisuudessakin, vaikka kasvun hidastumista ja jopa hetkittäistä laskua on nähtävissä talouden taantumien ja energiansäästötoimenpiteiden johdosta (Kattelus et al. 2007; Ohlström et al. 2009). Vuonna 2009 tehty ennustus on selkeästi maltillisempi vuonna 2007 tehtyyn ennustukseen nähden muun muassa talouden taantumien aiheuttaman epävarmuuden johdosta. Samasta syystä vuoden 2010 toteutunut kulutus oli yli 7 terawattituntia (TWh) pienempi kuin vuonna 2007 tehdyssä ennusteessa. Kasvun hidastumisesta huolimatta molemmat ennusteet ennustavat sähkön käytön kasvavan ainakin vuoteen 2030 asti. Myös huipputehon ennustetaan kasvavan. Kuva 2 esittää sähkön kysynnän ja huipputehon toteutuneen kehityksen vuoteen 2010 asti sekä ennusteet vuoteen 2030 asti.



Kuva 2: Toteutunut sähkön kulutus ja huipputehon kehitys Suomessa vuosina 1990–2010 sekä ennusteet 2010–2030 (Kattelus et al. 2007; Ohlström et al. 2009).

Euroopan Unionin jäsenmaiden yhteisenä tavoitteena on laskea sähkön kulutusta 20 % perusuran mukaiseen kehitykseen verrattuna vuoteen 2020 mennessä, mutta nykytrendin jatkuessa sähkön kulutus ei laske ollenkaan vaan sitä vastoin kasvaa 18 % (Chardon et al. 2008). Myös Suomi on seurannut mukana Euroopan kehityksessä, ja sähkön käyttö on kasvussa vuosien 2008–2009 talouden taantumasta huolimatta. Vuonna 2010 sähkön käyttö Suomessa kasvoi 7,5 % vuoteen 2009 verrattuna, vaikka teollisuuden sähkön kulutus jäikin vielä huippuvuosistaan. Sähkön kulutus Suomessa on vahvasti lämpötilariippuvaista, joten peräkkäisten vuosien sähkön kulutuksen vertailu ei aina anna täysin oikeaa kuvaa kulutuskäyttäytymisen kehittymisestä. Pitkän aikavälin trendit kuitenkin osoittavat sähkön kulutuksen kasvua, jolle ei tulevaisuudessa näy loppua energiansäästötoimenpiteistä huolimatta. Energiansäästö voi jopa lisätä sähkön käyttöä, jos esimerkiksi saastuttavia polttoaineita korvataan ympäristöystävällisesti tuotetulla sähköllä. Lisäksi talouden kasvu ja ihmisten lisääntyvä mukavuudenhalu lisäävät kulutusta merkittävästi myös pienkuluttajien keskuudessa. (Energieollisuus ry 2011a)

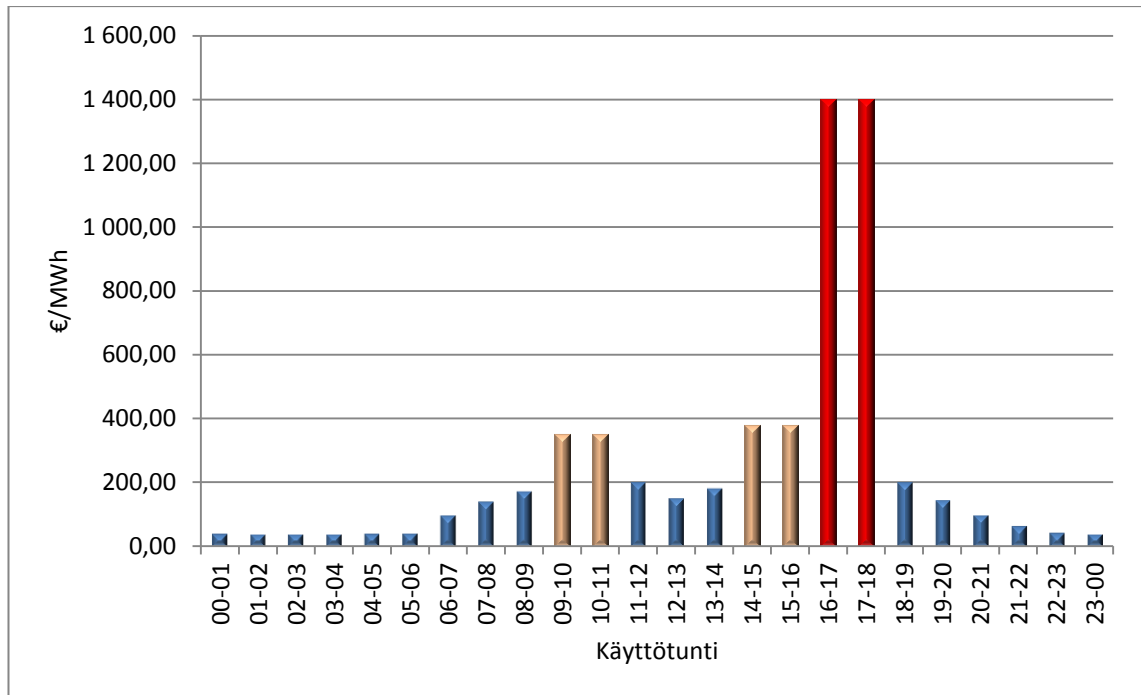
Sähköverkkojen ja -markkinoiden kannalta sähkön kulutuksen kasvua merkittävämpi ilmiö on huippukysynnän kasvu. Sähkökaupan volyymin kasvu nähdään usein hyvänä asiana sähkömarkkinoiden ja energiayhtiöiden kannalta, mutta piikit kysynnässä aiheuttavat suuria ongelmia esimerkiksi energian tuotannossa. Sähkön tuotannon pitää vastata kysyntää joka hetki, jolloin huippukysynnän kasvaessa tarvitaan myös uutta tuotantokapasiteettia. Huippukuormaa varten täytyy käynnistää kalliita ja usein myös korkeat hiilidioksidipäästöt aiheuttavia tuotantolaitoksia, jolloin ympäristötavoitteiden saavuttaminen vaikeutuu. Samalla sähkön hinta nousee, koska se määräytyy kalleimman tuotantomuodon mukaan, joka joudutaan ottamaan käyttöön kysynnän tyydyttämiseksi. Kuva 3 esittää sähkön hinnan muodostumista tuotantomuodon mukaan. Kesällä kysyntä on usein pienempää, jolloin kalleimpia tuotantomuotoja ei jouduta käyttämään kysynnän tyydyttämiseksi ja sähkön hinta on matalampi. Talvella vastaavasti kysyntää on enemmän, jolloin sen tyydyttämiseksi joudutaan ottamaan käyttöön kalliimpia tuotantomuotoja ja sähkön hinta nousee.



Kuva 3: Sähkön hinnan muodostuminen tuotantumuodon mukaan (Partanen et al. 2011)

Sähkötalouden vapautumisen jälkeen tuotannon ylikapasiteettitilanne on muuttunut. Nykyään kysyntäpiikkien kohdalla voidaan jopa ajautua tilanteisiin, joissa käytettävissä oleva tuotanto ei enää riitä vastaamaan kysyntään. Tällöin sähkötaloudella koetaan hintapiikkejä, ja pahimmassa tapauksessa jopa sähkön toimitusvarmuus vaarantuu. Tällaiseen tilanteeseen varautuminen lisää markkinatoimijoiden kustannuksia huomattavasti. Sähkön vähittäismyyjät hinnoittelevatkin hintapiikkien riskin mukaan sähkötarjouksiinsa. Lisäksi hintapiikit näkyvät pienellä viiveellä myös sähkön kuluttajahinnossa, koska ne nostavat johdannaismarkkinoiden hintoja, joita sähkönmyyjät käyttävät muun muassa tulevaisuuden hintatason määrittämiseen. (Segerstam et al. 2007)

Pohjoismaisessa sähköpörssissä Nord Poolissa on koettu useita merkittäviä hintapiikkejä. Esimerkiksi 17.12.2009 sähkön tukkuhinta oli kahden tunnin ajan 1400 euroa megawattitunnilta (€/MWh). Hinta on 38-kertainen vuoden 2009 keskihintaan verrattuna. Suomen ElFi Oy:n yhdessä Energiakolmio Oy:n kanssa tekemän selvityksen mukaan kyseinen hintapiikki maksoi sähkön käyttäjille yhteensä noin 200 miljoonaa euroa. (Koskelainen 2010) Kuva 4 esittää Suomen aluehinnan Nord Poolin spotmarkkinoilla 17.12.2009.



Kuva 4: Nord Poolin spot-markkinoiden Suomen aluehinta 17.12.2009. (Nord Pool Spot 2011a)

Kahden 1400 €/MWh piikin lisäksi samana päivänä koettiin poikkeuksellisen korkeita tuntihintoja myös muina tunteina. Hintapiikit esiintyvät yleensä talvisin suuren kulutuksen tai tuotannon huoltotöiden aikana. 17.12.2009 Ruotsin ydinvoimakapasiteetista oli käytössä vain 46 % venyneiden huoltotöiden takia (Vehviläinen et al. 2010). Myös vesivoimavarannot olivat pienentyneet huomattavasti, koska puuttuvaa ydinvoimakapasiteettia oli jouduttu korvaamaan vesivoimalla. Tuotantokapasiteetin vähyys yhdessä poikkeuksellisen kylmän talvipäivän korkean kulutuksen kanssa aiheutti tuotantoon nähden erittäin korkean kysynnän, josta aiheutui hintapiikki. Kuvan 4 kaltaisten merkittävien hintapiikkien lisäksi spot-markkinoilla koetaan jatkuvasti pienempiä hintapiikkejä, joita välttämällä on kuitenkin mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä.

Sähkön tuotannon lisäksi samat ongelmat koskettavat myös sähköverkkoja. Nekin täytyy mitoittaa suurimman huippukuorman mukaisesti, vaikka huippukapasiteetti olisi käytössä vain hetkellisesti. Investoinnit sähköverkon vahvistamiseksi ovat tuotannon lisäämisen tapaan erittäin kalliita ja nostavat sähkön siirtohintaa pitkällä tähtäimellä. Myös rajalliset sähkön siirtoyhteydet voivat aiheuttaa suuria hintaeroja eri hinta-alueiden välillä, vaikka tuotantoa olisi runsaasti tarjolla. Tällöin halpaa tuotantoa ei saada siirtokapasiteetin puutteen takia siirrettyä kaikille alueille. Hintapiikki ei siis aina ole vain tuotannon niukkuuden aiheuttama.

Tällä hetkellä sähkön käyttäjät, kaikkein suurimpia teollisuusyrityksiä lukuun ottamatta, eivät ole suoranaisesti riippuvaisia sähkön hetkellisestä markkinahinnasta, koska useimmat käyttäjät ostavat sähkönsä kiinteään hintaan sähkön jälleenmyyjiltä. Tämän takia sähkön kysyntä ei juuri jousta sähkön markkinahinnan mukaan. Hintapiikit näkyvät kuluttajille lähinnä pitkän aikavälin hintatason nousuna, koska hinnat johdannaismarkkinoilla nousevat ja sähkön vähittäismyyjät haluavat katteen hintapiikeistä ai-

heutuville riskienhallintakuluilleen. Kiinteän hinnan johdosta sähkön käyttäjät usein kokevat, etteivät he voi omalla toiminnallaan vaikuttaa sähkölaskun suuruuteen (Pöyry PLC 2011). Sähkömarkkinoiden toiminnan tehostamiseksi myös kysynnän tulisi joustaa, koska tuotanto- ja sähkön siirtokapasiteetin loputon kasvattaminen ei ole mahdollista ilman kohtuuttomia kustannuksia. Oikein toteutettuna kysynnänjoustosta hyötyvät sähkön tuottajien ja siirtäjien lisäksi myös sähkön käyttäjät, normaalit kotitalouskuluttajat mukaan lukien. Capgeminin, VaasaeETT:n ja Enerdatan tutkimuksen mukaan kysynnänjoustolla voitaisiin saavuttaa Euroopassa 202 TWh energiasäästöt, 100 miljoonan tonnin CO₂-päästöjen vähennykset vuosittain, 50 miljardin edestä vältettyjä investointeja ja huipputuotantokapasiteettiä ja sähkönsiirto- ja -jakeluverkkoihin sekä 25 miljardin vuosittaiset säästöt kuluttajien sähkölaskuissa vuoteen 2020 mennessä (Chardon et al. 2008). Lisäksi kysynnänjouston laajamittainen yleistymisen loisi monia uusia mahdollisuuksia energian käytön ja liiketoiminnan kehittämiseksi.

2.2 Kysynnänjouston määritelmä

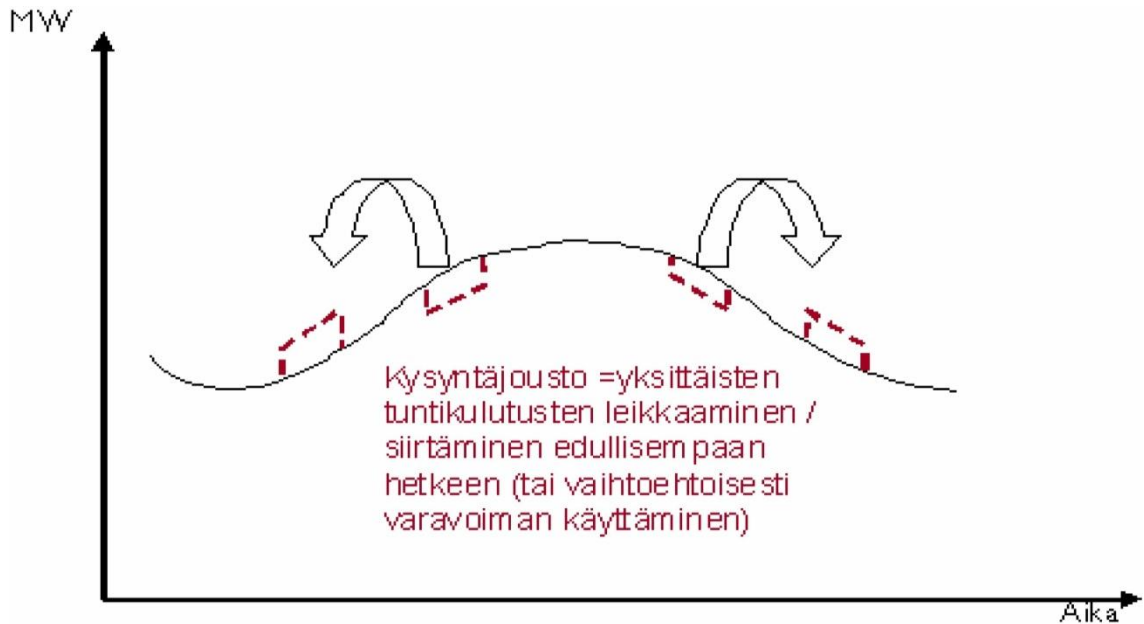
Kysynnänjoustolle ei ole olemassa vain yhtä oikeaa määritelmää vaan määritelmät vaihtelevat asiayhteydestä riippuen. Talouseläkirjallisuudessa puhutaan usein kysynnän hintajoustosta (price elasticity of demand, PED). Kysynnän hintajouston määritelmä on

$$\text{Kysynnän hintajousto} = \frac{\% \text{ muutos kysynnässä}}{\% \text{ muutos hinnassa}}$$

ja sillä kuvataan kysynnän vastetta hinnan muutokselle (Moffratt 2011). Sähkön kysynnän yhteydessä sen sijaan on käytetty termejä kysynnänhallinta, Demand-Side Management (DSM) sekä kysynnänjousto, Demand Response (DR). Näillä tarkoitetaan usein samaa kuin kysynnän hintajoustollakin, mutta ne ovat käsitteinä hieman laajempia, koska niissä kysyntä ei aina jousta vain sähkön hinnan mukaan vaan ohjaussignaalin voi olla esimerkiksi tarve jakeluverkon huippukuorman leikkaukselle. Kysynnänhallinnalla, DSM, tarkoitetaan yleensä ylhäältä päin ohjattua sähkön käytön hallintaa, jossa asiakaslähtöisyys ei aina ole etusijalla (Ruotsalainen 2007). Esimerkkinä kysynnänhallinnasta ovat tehonrajoitukset kriittisen tehopulan aikana, jolloin asiakkaan sähkön käyttöä rajoitetaan pakotetusti valtakunnallisen tehotasapainon ylläpitämiseksi. Kysynnänjoustolla, DR, taas usein tarkoitetaan asiakaslähtöisempää mallia, jossa asiakas joustaa sähkön kulutuksessaan oman valintansa tai tekemänsä sopimuksen mukaisesti. Asiakaslähtöisen mallin mukaan kysynnänjouston tulee hyödyttää myös asiakasta eikä vain esimerkiksi sähkön tuottajaa. Termien määritelmät ja käyttötavat vaihtelevat suuresti lähteestä riippuen. Tässä työssä käytetään yleisesti termiä kysynnänjousto.

Pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden yhteistyöjärjestö Nordelin työryhmä on määritellyt kysynnänjouston sähkön kysynnän vapaaehtoiseksi ja tilapäiseksi sopeuttamiseksi vastauksena hintasignaaliin tai käyttövarmuuden ylläpitoon liittyvään toimeen (Segerstam et al. 2007). Kysynnänjousto siis kuvaa sähkön kulutuksen kykyä reagoida ohjaussignaaliin, kuten esimerkiksi sähkön korkeaan markkinahintaan tai jakeluverkon

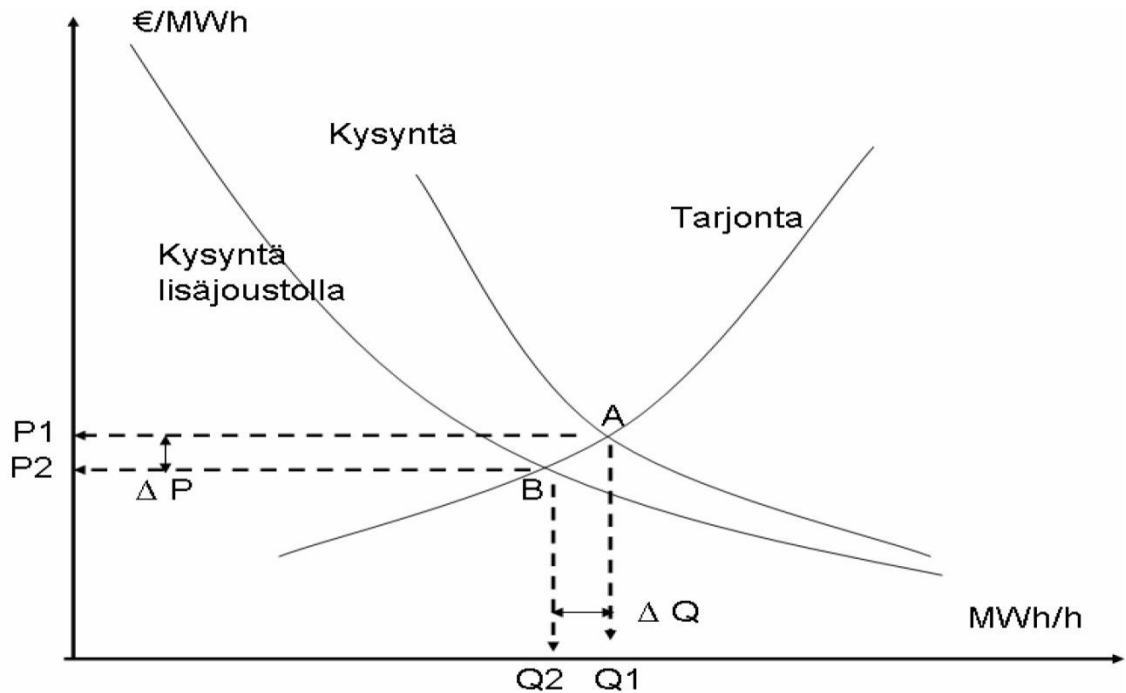
kuormitushuippuun. Se on tapa sopeuttaa kapasiteetin ja kysynnän määrä ja sen tuloksena kuluttaja usein siirtää tai leikkaa sähkön kulutustaan kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5: Kysynnänjousto tasoittaa kulutuskäyrää siirtämällä kulutusta korkean kulutuksen ajalta matalan kulutuksen ajalle (Valtonen 2009).

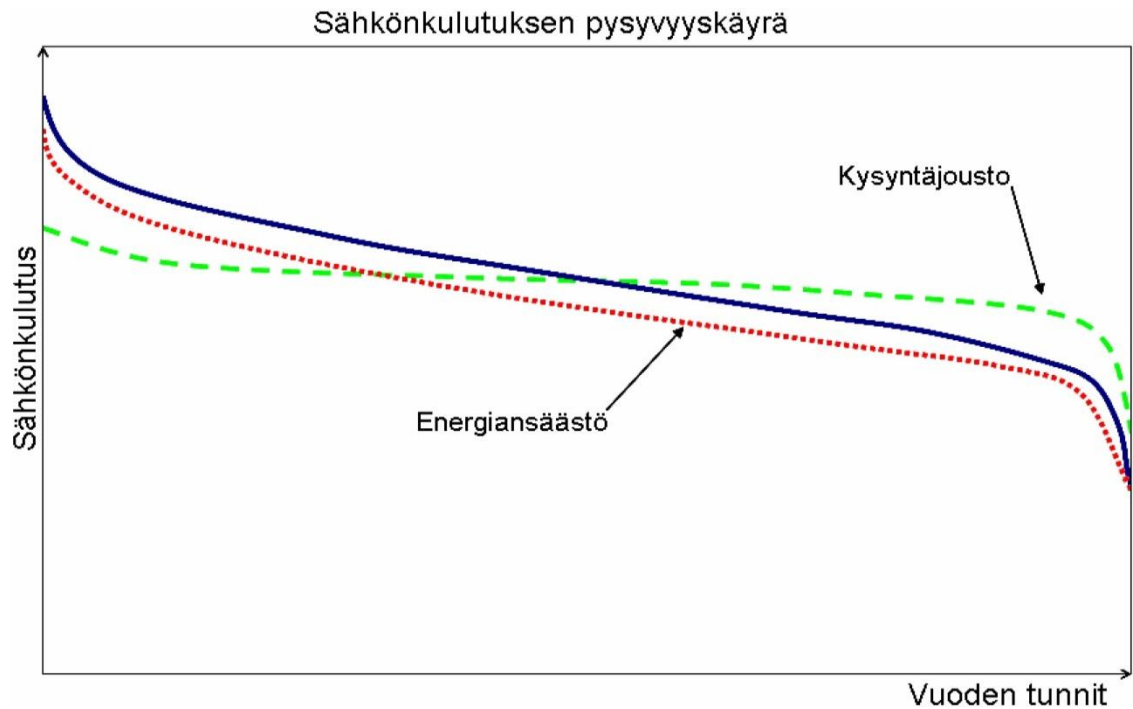
Kysynnänjouston tuloksena energian kokonaiskulutus ei välttämättä laske, mutta sähkön kulutuksen ajallinen vaihtelu vähenee.

Nord Poolin spot-markkinoilla sähkön hinta määräytyy päivittäin jätettävien osto- ja myyntitarjousten perusteella. Vuorokauden jokaisen tunnin sähkön hinta määräytyy kyseiselle tunnille tehtyjen osto- ja myyntitarjousten perusteella piirrettyjen kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspisteen mukaan kuvan 6 mukaisesti (piste A). Kysynnänjouston tuloksena osa kysynnästä siirtyy pois käyttötunnilta, johon joustotoimenpiteet kohdistetaan eli kyseisen tunnin kysyntä laskee. Tämän seurauksena kysyntäkäyrä siirtyy vasemmalle kuvan 6 mukaisesti. Kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspiste siirtyy ja syntyy uusi sähkönhinta, jota kuvassa 6 kuvastaa piste B.



Kuva 6: Kysynnänjouston vaikutus sähkön hinnan muodostukseen. Kuvassa P tarkoittaa sähkön hintaa ja Q sähkön kysyntää (Ritonummi et al. 2008).

Kysynnänjousto ja energiansäästö eivät ole sama asia, vaikka ne usein liitetään samaan yhteyteen. Kysynnänjoustossa on kyse sähkön käytön siirtämisestä suotuisampaan ajankohtaan kokonaiskulutuksen usein pysyessä samana. Myös kulutuksen hetkitäinen poisjääminen kokonaan tulkitaan usein kysynnänjoustoksi. Energiansäästö taas pyrkii leikkaamaan kulutetun energian kokonaismäärää. Yksittäisillä kulutushuipuilla ei ole energiansäästön kannalta merkitystä, kun taas kysynnänjoustolle ne ovat pääkohde. Yhteistä molemmille on se, että ne tehostavat nykyisin käytettävissä olevien resurssien hyödyntämistä. Kuva 7 havainnollistaa, miten energiansäästö (punainen katkoviiva) laskee koko vuoden kokonaisenergiämäärää (viivan alapuolelle jäävä pinta-ala), kun taas kysynnänjousto (vihreä katkoviiva) siirtää kulutusta korkean kulutuksen ajalta matalan kulutuksen ajalle kokonaisenergiämäärän pysyessä lähes samana.



Kuva 7: Kysynnänjouston ja energiansäästön erot. Sininen käyrä kuvaa lähtötilannetta (Ritonummi et al. 2008).

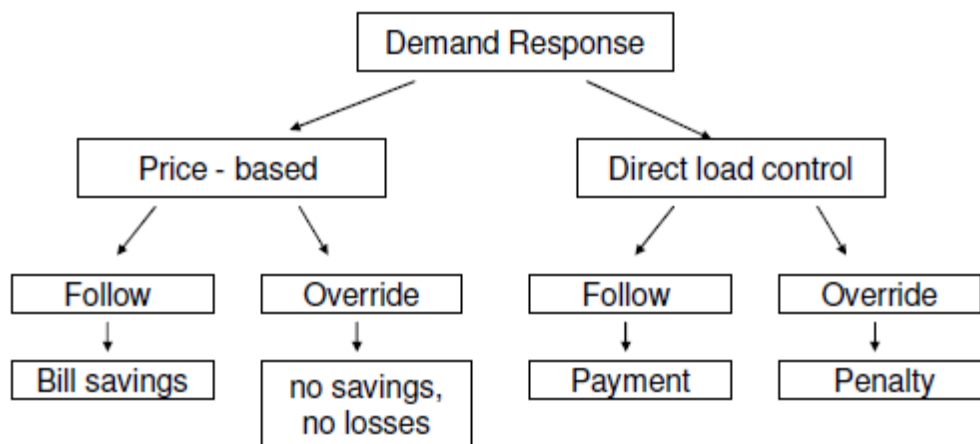
Kysynnänjousto voidaan jakaa pakotettuun ja vapaaehtoiseen kysynnänjoustoon. Pakotettu kysynnänjousto tarkoittaa sitä, että sähkön käyttäjä ei voi itse päättää kysynnänjouston ajankohtaa. Tällainen tilanne voi tulla esimerkiksi vakavan tehopulan aikana, jolloin sähkön tuotanto ei riitä vastaamaan sähkön kysyntään. Tällöin kantaverkko-yhtiö rajoittaa sähkön käyttöä pakotetusti ennalta määrätyn suunnitelman mukaisesti, kunnes tehotasapaino saavutetaan. Myös jakeluverkkoyhtiöillä voi olla sopimuksia hetkellisistä tehonrajoituksista. Suomessa pakotettu kysynnänjousto on erittäin harvinaista.

Vapaaehtoisessa kysynnänjoustossa sähkön käyttäjä voi itse päättää sähkön kulutuksen rajoittamisesta tai luovuttaa oikeuden kulutuksen rajoittamiseen esimerkiksi jakeluverkkoyhtiölle tai sähkön myyjälle. Tällöin sähkön käyttäjä vähentää vapaaehtoisesti sähkön kulutustaan esimerkiksi vähentämällä lämmitystä tai sammuttamalla sähkölaitteita. Sähkön korkea hinta on kuluttajan kannalta todennäköisin syy siirtää sähkön kulutustaan myöhäisempään ajankohtaan. Toinen esimerkki vapaaehtoisesta kysynnänjoustosta on Suomessa jo pitkään käytössä ollut kaksiaikatariffi, jossa asiakas maksaa sähköstään eri hintaa käyttöajankohdan mukaan tekemänsä sopimuksen mukaisesti.

Kaksiaikatariffissa sähkö on kalliimpaa suuren kulutuksen aikaan päivisin ja halvempaa öisin, kun kulutus on pienempää. Halvemman yösähkön hyödyntämiseksi kulutusta siirretään yöajalle esimerkiksi ohjaamalla varaava sähkölämmitys päälle vasta yöllä. Tällöin varaaja toimii energiavarastona ja halvemman sähkön aikana varaajaan varattu lämpöenergia voidaan hyödyntää päivällä, kun sähkö on kalliimpaa. Kaksiaikatariffin yhteydessä käytetään usein suoraa kuorman ohjausta, jossa varaava sähkölämmityskuorma ohjataan päälle automaattisesti halvemman sähkön aikaan. Jakeluverkkoyhtiö hoitaa kuormien ohjaamisen ja asiakas saa ohjattavista kuormistaan vastineeksi halvempaa sähköenergiaa ja sähkön siirtoa. Ohjaus suoritetaan ennalta määritettyjen kel-

lonaikojen mukaisesti ja tämän takia ohjaukset eivät aina tapahdu järjestelmän kannalta parhaalla mahdollisella hetkellä. Usein yösähkön päällekytkeytyminen saattaa aiheuttaa haitallisia kuormituspiikkejä, koska se tapahtuu useissa kohteissa samanaikaisesti. (Rittonummi et al. 2008) Suurten kuormien yhtäaikainen päällekytkeytyminen rasittaa sähköverkkoa ja voi nostaa verkon huipputehoa. Lisäksi sähkön markkinahinta ei aina ole yösähkön kytkeytymisen aikaan halvimmillaan, jolloin markkinahintaisella sähkösojimuksella ei saavuteta maksimaalisia säästöjä.

Toinen kysynnänjouston yhteydessä käytetty jako on jako hintaohjattuun ja kannustinohjattuun kysynnänjoustoön. Hintaohjatussa kysynnänjoustoossa kuluttaja siirtää sähkönkulutustaan korkean hinnan ajalta tinkimättä kuitenkin omasta mukavuustasostaan. Säästö syntyy matalammasta sähkön hinnasta. Tämä edellyttää asiakkaan sähkön dynaamista hinnoittelua, kuten sähkön pörssihintaan perustuvaa sähkön myyntituotetta, jossa kuluttajan sähkön hinta määräytyy tunneittain sähkön markkinahinnan mukaisesti. Kannustinohjatussa kysynnänjoustoossa kuluttajaa ohjataan siirtämään sähkönkulutustaan haluttuun aikaan erilaisin kannustimin. Ohjauksen suorittaa ulkopuolinen taho oman etunsa mukaisesti välittämättä kuluttajan mukavuudesta. Kuluttaja hyötyy joustostaan maksettavan kannustimen johdosta, mutta voi joutua tinkimään sähkön kulutuksestaan huonolla hetkellä. Kuva 8 selventää hintaohjatun ja kannustinohjatun kysynnänjouston eroja. (Belonogova et al. 2010)



Kuva 8: Hintaohjatun ja kannustinohjatun kysynnänjouston erot (Belonogova et al. 2010).

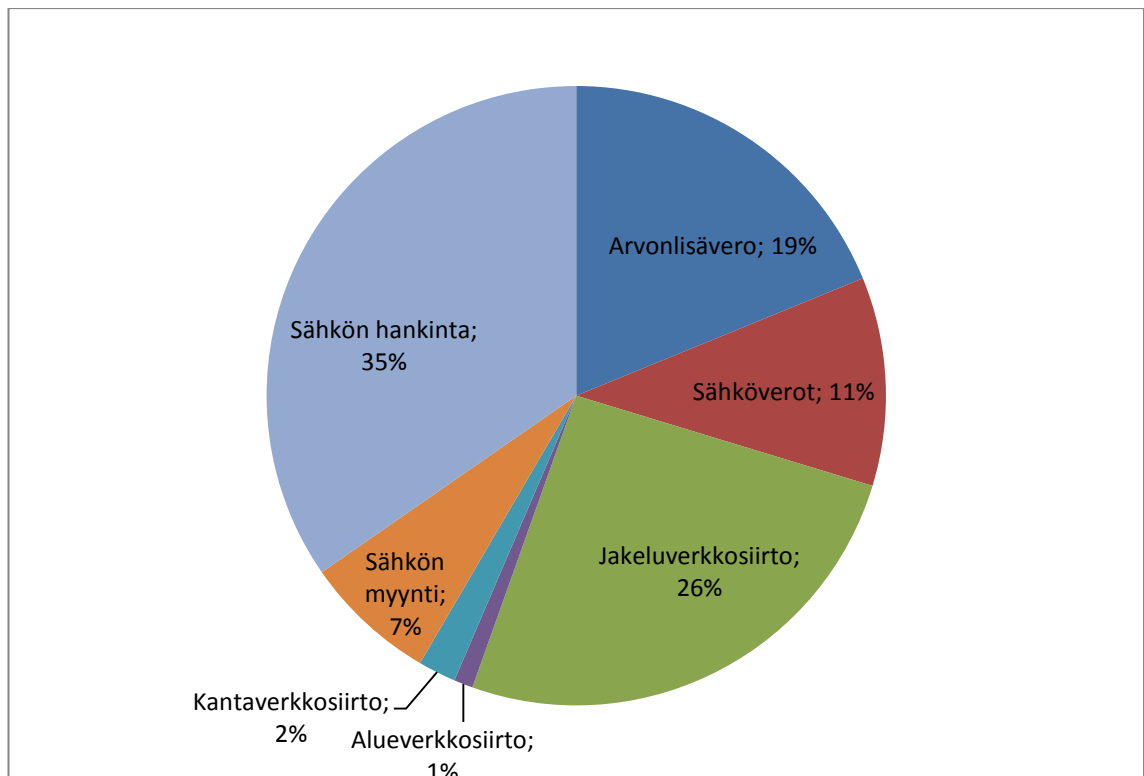
Kummassakaan tapauksessa kuluttajaa ei pakoteta joustamaan vaan jouston voi halutesaan ohittaa (kuvassa Override). Kyse on siis pohjimmiltaan vapaaehtoisesta kysynnänjoustoista. Kuluttaja kärsii joustamattomuudestaan korkeamman sähkönhinnan tai mahdollisen rikemaksun johdosta.

2.3 Kulutukseen vaikuttaminen

Sähkön kulutukseen voidaan vaikuttaa monella tavalla, mutta vapaaehtoisen kulutuskäyttäytymisen muuttamisen perusedellytyksenä ovat todelliset hyödyt kuluttajalle.

Usein kyseessä ovat rahassa mitattavat hyödyt, mutta myös muut kannustimet, kuten ympäristöystävällisyys ja energiansäästö, voivat olla tehokkaita. Tärkeintä on, että kuluttaja ymmärtää kysynnänjouston edut ja hyötyy joustostaan. Hyötyjen tulee kattaa mahdolliset alkuinvestoinnit sekä kuluttajalle joustosta aiheutuvat haitat.

Sähkön kokonaishinta asiakkaalle muodostuu karkeasti kahdesta osasta: sähköenergiasta ja sähkön siirtopalveluista. Lisäksi molemmat osat sisältävät veroja. Siirtopalvelu muodostuu kanta-, alue- ja jakeluverkkosiirtopalveluista, joista jakeluverkkosiirron osuus on merkittävin. Siirtopalvelumaksuilla katetaan sähköverkkotoiminnan kustannukset, kuten verkon rakentaminen, kunnossapito ja kehittäminen, käyttö- ja viakapalvelut sekä asiakaspalvelu. Lisäksi kustannuksia syntyy sähkön mittauspalveluista. Siirtopalvelut ovat säännöstelltyä alueellista monopolitoimintaa, joten sähkön käyttäjä ei voi valita keneltä siirtopalvelun hankkii, vaan se määräytyy sähkön käyttöpaikan mukaan. Sähköenergian myynti sen sijaan on kilpailulle avointa toimintaa ja kuluttaja voi itse päättää keneltä käyttämänsä sähköenergian hankkii. Sähköenergian myyntihinta muodostuu sähkön hankintakustannuksista sekä myyjän katteesta, jolla katetaan myyntitoiminnasta aiheutuneet kulut. Kuva 9 kuvaa kotitalouskuluttajan sähkön hinnan muodostumista ja eri osien osuuksia kokonaishinnasta. (Energiateollisuus ry 2011b)



Kuva 9: Kotitalouskuluttajan sähkön hinnan muodostuminen (Energiateollisuus ry 2011b)

Sähköenergian sekä siirtopalvelun hinta muodostuu usein kahdesta osasta, joita ovat kiinteä perusmaksu ja siirretyn sähköenergian määrästä riippuva kulutusmaksu. Kulutusmaksu on se osa, jolla kuluttaja voi itse vaikuttaa sähkölaskunsa suuruuteen muutta-

malla sähköenergian kulutustaan. Perusmaksu taas on kiinteä maksu, joka on aina samansuuruinen kulutuksesta riippumatta.

2.3.1 Sähköenergian myyntihinnoittelu

Nykyisin sähköenergian myynti pohjautuu usein kiinteähintaiseen ja maksimissaan kahden vuoden mittaiseen tai toistaiseksi voimassa olevaan sopimukseen. Tällöin asiakas voi vaikuttaa sähkölaskunsa suuruuteen vain muuttamalla sähköenergian kulutustaan, mutta sähkön markkinahinnan vaihteluilla ei ole kuluttajalle merkitystä lyhyellä tähtämellä. Pitkällä tähtämellä sähkön markkinahinnan muutokset heijastuvat myös kiinteisiin kuluttajahintoihin, mutta tämä ei ole riittävä riippuvuus kannustamaan kuluttajaa joustamaan kulutuksessaan. Kysynnänjouston edistämiseksi sähkön kuluttajahinnan tulisi heijastaa markkinahintaa nykyistä tarkemmin. Etäluennan ja tuntimittauksen myötä sähkön spot-hintaan perustuvat sähköenergian myyntituotteet ovat yleistyneet. Spot-hintaan perustuvassa tuotteessa kuluttajan sähköenergian hinta muodostuu suoraan sen hetkisestä sähkön markkinahinnasta lisätynä myyjän katteella. Tällöin kuluttajan sähkön hinta voi vaihdella suuresti vuorokauden eri tuntien välillä. Dynaaminen hinnoittelu kannustaa kuluttajaa vähentämään sähköenergian kulutustaan korkean markkinahinnan aikana. Kysynnänjouston toteutuminen reaaliaikaisessa hinnoittelussa vaatii dynaamisen hinnoittelun lisäksi, että kuluttaja saa riittävästi tietoa sähkön markkinahinnasta. Nord Pool tarjoaa jo nykyisin tekstiviestipalvelua, joka lähettää seuraavan vuorokauden spot-hinnat palvelun tilaajalle kerran vuorokaudessa. Palvelu on kuitenkin kuluttajalle kallis, noin 140 euroa vuodessa, eivätkä sen tarjoamat tiedot ole välttämättä kuluttajalle riittäviä (Nord Pool Spot 2011b). Mahdollisia ratkaisuja kuluttajainformaation välittämiseen on pohdittu tarkemmin kappaleessa 2.3.3. Markkinahintaan perustuvat tuotteet yhdessä riittävän kuluttajainformaation kanssa kannustavat kuluttajia muuttamaan sähkön kulutustaan markkinahinnan mukaan ja edistävät täten kysynnänjoustoa.

2.3.2 Siirtotariffit

Tariffilla tarkoitetaan sähkön hinnoittelujärjestelmää. Siirtotariffi kuvaa sähkön siirtämisen hinnoitteluperiaatteita. Siirtotariffi koostuu yleensä sähköenergian myyntihinnoittelun tavoin perusmaksusta sekä kulutus- ja/tai tehomaksusta, jotka ovat kiinteitä eli vakiohintaisia ajasta riippumatta. Poikkeuksena tästä ovat nykyisin käytössä olevat aika- ja kausitariffit, joissa perus- ja kulutusmaksu riippuvat sähkön siirron ajankohdasta. Aikatariffissa sähkön siirto on halvempaa öisin ja kausitariffissa korkean kulutuksen talvipäivät ovat kalliimpia. Näin jakeluverkkoyhtiöt ohjaavat kulutusta matalamman kuormituksen ajalle. Samalla sähköverkon kuormitus tasoittuu ja huippukuorma alenee. Nykyisin aika- ja kausitariffit perustuvat kiinteään ohjaukseen, joka tapahtuu aina samaan aikaan, joten ohjaus ei aina ole verkon kannalta optimaalinen. Joskus aikatariffin kytkeytyminen voi aiheuttaa jopa haitallisen kulutuspiikin. Täten tavoite kuormituksen tasoittumisesta ja huippukuorman laskemisesta ei aina toteudu nykyisellä toimintatavalla. Uusien siirtotuotteiden avulla jakeluverkkoyhtiöt voisivat ohjata kulutusta entistä

tehokkaammin. Siirtotuote tulee kuitenkin asiakkaan hyödyn maksimoimiseksi liittää sopivaan sähköenergian myyntituotteeseen. Kysynnänjouston kannalta tässä voi olla ristiriita, koska sähkön myyjän ja jakeluverkkoyhtiön intressit kuormien ohjaukseen voivat olla erilaiset. Sähkön myyjä haluaa optimoida omaa sähkön hankintaansa kun taas jakeluverkon hallitsijaa kiinnostavat lähinnä verkon kuormitus ja käyttövarmuus.

Kaksiaikatariffia käytetään usein varaavan sähkölämmityksen yhteydessä, jolloin lämmitystä käytetään ohjattavana kuormana, joka ohjataan päälle vasta yöllä halvemman tariffin aikaan. Tällöin ohjauksesta vastaa jakeluverkkoyhtiö tehdyn sopimuksen mukaisesti. Suoralla kuorman ohjauksella voitaisiin lämmityksen lisäksi ohjata myös monenlaisia muita kuormia, kuten sähköauton latausta tai kodin ilmastointia. Kysynnänjouston edistämiseksi suoran kuorman ohjauksen ohjaussignaalin tulisi kuitenkin perustua todelliseen tilanteeseen eikä vain aikaan perustuvaan kalenteriohjaukseen. Dynaamisempi kuormien ohjaus vaatii myös uutta tekniikkaa, jolla ohjaukset toteutetaan, tosin yksinkertaiset ohjaukset ovat mahdollisia jo nykytekniikalla. Suora kuormien ohjaus edellyttää myös asiakkaan suostumusta eli esimerkiksi etukäteen tehtyä sopimusta, jossa sovitaan kuorman ohjauksen reunaehdoista. (Ruotsalainen 2007) Tämän takia on sekä jakeluverkkoyhtiön, että sähkön myyjän yhteinen intressi markkinoida kysynnänjousto asiakkaalle houkuttelevalla tavalla.

2.3.3 Kuluttajien tiedottaminen ja palaute

Kulutuskäyttäytymisen muuttamiseen ei riitä ainoastaan kuluttajan tahto vaan lisäksi tarvitaan muutosta tukevaa informaatiota ja palautetta. Riittävällä informaatiolla varmistetaan, että kuluttaja tietää muutoksen syyt ja edut sekä varmistetaan, että tehdyt toimet esimerkiksi energian tai rahan säästämiseksi kohdistuvat oikein. Kuluttajapalautteen tarkoitus taas on auttaa kuluttajaa ymmärtämään oman toimintansa vaikutuksia. Kuluttajainformaation sisältö voi vaihdella suuresti. Tärkeintä on, että informaatio on riittävän yksinkertaista ja selkeää. Kuluttajien on usein vaikeaa ymmärtää tieteellisiä yksiköitä, eivätkä monet ymmärrä esimerkiksi watin (W) ja kilowattitunnin (kWh) eroa. Myös hiilidioksidipäästöjen yhteys energian kulutukseen on usein vaikeaa ymmärtää. Sen sijaan rahassa mitattavat suureet ovat kuluttajalle selkeitä ja helpommin ymmärrettäviä ja siksi kuluttajainformaatio yleensä esitetään rahaksi käännettynä. Rahallinen säästö euroissa on kuluttajalle konkreettisempi kuin energiansäästö kilowattitunneissa, vaikka molemmat saattavat tarkoittaa samaa asiaa. Numeerinen ja tekstimuotoinen palaute koetaan myös vaikeasti ymmärrettäväksi, mutta ihmiset ymmärtävät kaavioita ja taulukoita, jos ne ovat hyvin suunniteltuja. Helpoimmin ymmärrettävää palaute on graafisessa muodossa ja riittävän pieniin osiin jaettuna.

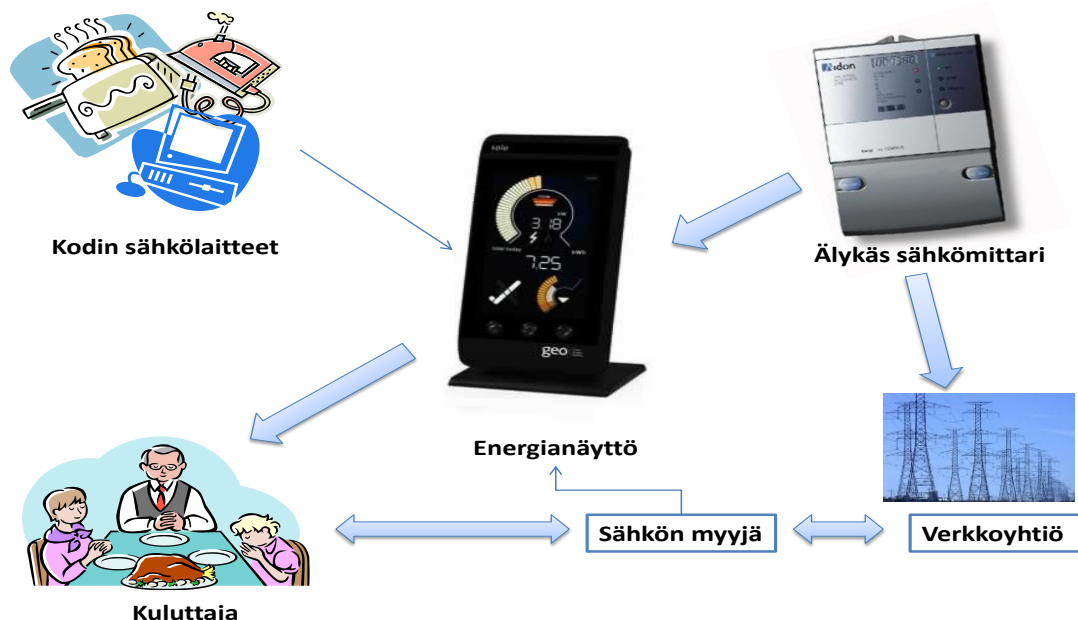
Sähkömittarilta saadaan tieto vain kotitalouden sähköenergian kokonaiskulutuksesta. Kuluttajan kannalta tieto sähkön kulutuksesta olisi kuitenkin helpommin ymmärrettävissä, jos kulutustieto voitaisiin jakaa pienempiin osiin. Tällöin kuluttajan on helpompaa ymmärtää yksittäisten laitteiden ja tietynlaisen käyttäytymisen vaikutukset energian kulutukseen ja sähkölaskuun. Yksittäisten sähkölaitteiden kulutuksen seuraminen tuntitasolla vaatisi kuitenkin uudenlaista tekniikkaa. Pelkkä tieto toteutuneesta

energian kulutuksesta ei yksinään kerro kuluttajalle tarpeeksi vaan tarvitaan vertailukohtia tai tavoitteita. Yleinen käytössä oleva vertailukohta kulutusinformaatiossa on kulutuksen historiatiedot. Tällöin toteutunutta kulutusta verrataan esimerkiksi edeltävän vuoden vastaavan ajan kulutukseen. Historiatietoja käyttäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon muuttuneet sääolosuhteet ja muut kulutukseen vaikuttavat seikat, jotta vertailu olisi järkevä. Oman kulutushistorian lisäksi kulutusta voidaan verrata myös vastaavan kotitalouden keskimääräiseen kulutukseen. Muihin vertaaminen on usein tehokkaampi tapa ohjata energian kulutusta kuin vain omaan historiatietoon vertaaminen. Wilhite et al. (1999) tekemässä tutkimuksessa kerättiin kyselyn avulla 2000 kotitalouden tietoja vertailuryhmien perustamiseksi (katso Roberts & Baker 2003). Kyselyn jälkeen vastajille lähetettiin palautetta energian kulutuksesta vertailuryhmään verrattuna. Yli 85 % osallistujista koki tiedon hyödylliseksi ja halusi jatkaa informaation vastaanottamista. Roberts ja Bakerin (2003) vastaavan tutkimuksen mukaan yli 70 % tutkimuksen kyselyyn osallistuneista, jotka käyttivät keskiarvoa enemmän energiaa naapurustoon verrattuna, sanoivat muuttavansa kulutustaan energian säästämiseksi, kun tulokset esitettiin heille yksinkertaisessa graafisessa muodossa. Lisäksi he osasivat nimetä tavat ja kohteet energian säästämiseksi. Vertailun lisäksi energian kulutusta voidaan ohjata asettamalla tavoitteita, joiden toteutumista seurataan kuluttajainformaation avulla. Tavoitteen asettaminen on kuitenkin hankalaa, koska kotitalouksilla on erilaiset mahdollisuudet säästää energiaa. Lisäksi tavoite ei saa olla liian vaikeasti tai helposti saavutettavissa. Oikein määritellyn tavoitteen lisäksi kuluttajalle pitää myös tarjota keinoja tavoitteen saavuttamiseen, kuten esimerkiksi energiansäästövinkejä. (Karjalainen 2010)

Nykyisin konkreettisin esimerkki kuluttajainformaatiosta ja -palautteesta on sähkölasku, josta kuluttaja näkee tiedot sähkön kulutuksestaan ja kertyneestä laskusta tietyllä aikavälillä sekä mahdollisesti myös muuta tietoa. Sähkölasku on kuitenkin niin sanottua epäsuoraa palautetta, jossa tietoja on käsitelty esimerkiksi sähkön myyjän tai jakeluverkkoyhtiön toimesta ja ne toimitetaan kuluttajalle vasta käyttötapahtuman jälkeen. Kun sähkömittari ei ole etäluettavissa, sähkölasku perustuu arvioituun sähkön käyttöön, jolloin sähkön arviolasku ei kuvasta todellista tilannetta eikä täten ohjaa kuluttajaa mitenkään. Arviolaskun ja todellisen kulutuksen erotus tasoitetaan tasauslaskulla, joka perustuu todelliseen sähkömittarin lukemaan. Tällaisessa tapauksessa mittari kuitenkin luetaan normaalisti vain kerran vuodessa, jolloin palaute tulee kuluttajalle liian harvoin. Laskutus tapahtuu usein vasta monta kuukautta varsinaisen sähkön käyttötapahtuman jälkeen, jolloin kuluttajan kannalta yksittäisen käyttötapahtuman ajankohdalla ei ole merkitystä. Uusien etäluettavien mittareiden myötä arviolaskutus poistuu käytöstä ja siirrytään uudenlaiseen laskutukseen, jossa sähkölasku perustuu aina todelliseen sähkön kulutukseen. Tällöin kuluttaja näkee suoraan sähkölaskustaan, onko sähköenergiaa käytetty laskutuskaudella normaalia enemmän. Tarkemman sähkölaskun lisäksi etäluettavat sähkömittarit mahdollistavat myös monia muita parannuksia kuluttajainformaatioon ja -palautteeseen. Kuluttajien kiinnostus lisäinformaatiota kohtaan on viime aikoina kasvanut muun muassa energian hinnannousun ja ilmastonmuutoksen johdosta. Kysyn-

nänjouston ja energiansäästön edistämiseksi tarvitaan laajamittaista kuluttajainformaatiota ja -palautetta. (Similä & Pihala 2010)

Sähkölasku ei yksinään ole riittävä kanava informaation välittämiseen, jos halutaan vaikuttaa sähkön kulutukseen. Sähkölaskun perusteella kuluttaja ei ymmärrä yksittäisten sähkölaitteiden sähköenergian kulutusta eikä se kerro kuluttajalle esimerkiksi tulevia sähkön markkinahintoja. Uusi teknologia kuluttajapalautteen välittämiseen ovat energianäytöt. Niitä voidaan käyttää laajemman informaation reaaliaikaiseen välittämiseen. Reaaliaikaista informaatiota kutsutaan suoraksi palautteeksi. Edistykselliset energianäytöt ovat langattomassa yhteydessä asiakkaan sähkömittariin, jolloin asiakas saa reaaliaikaista tietoa sähkön kulutuksestaan ja näkee tekemänsä energiansäästötoimet reaaliajassa. Energianäyttöihin voi usein ohjelmoida erilaisia energiansäästötavoitteita, joiden edistymistä voi seurata näytöltä. Sähkön kulutuksen seurannan lisäksi energianäytöt sisältävät usein myös muita tietoja, kuten sähkön hintatietoja, tietoja hetkellisestä tehosta tai sähkön kulutuksen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Tietoja voivat sähkömittarin lisäksi välittää esimerkiksi sähkön myyjät tai jakeluverkkoyhtiöt. Lisäksi näytölle on mahdollista saada tietoa jopa yksittäisen sähkölaitteen energian kulutuksesta, jos se on asennettu mittauksen piiriin. Energianäytöt voivat muodostaa mittauksista eri ennusteita esimerkiksi tulevasta sähkölaskusta ja täten ohjata kuluttajaa energiansäästöön. Numeerinen tieto muutetaan usein graafiseen muotoon näytölle, jolloin informaatio on helpommin ymmärrettävissä. Tiedon tarkempaa hyödyntämistä varten energianäytön tallentamat tiedot voidaan usein siirtää tietokoneelle jatkoanalyysiä varten. Kuva 10 esittää informaatiovirtoja energianäytölle.



Kuva 10: Informaatiovirrat energianäytölle ja kuluttajalle (Similä & Pihala 2010)

Energianäytöt maksavat tyypillisesti noin 70–180 euroa ja kustannuksia nostavat lisäksi mahdolliset asennuskulut. Investoinnilla pitää olla kohtuullinen takaisinmaksuaika, jotta kuluttajat kokisivat sen mielenkiintoiseksi. Energianäytöillä on raportoitu saavutettavan jopa noin 10 % säästöjä sähkölaskusta, mutta realistisemmin säästöt asettuvat noin 1-3 % tasolle. 3 % säästö tarkoittaisi 10000 kWh kulutuksella 30 euron säästöä vuodessa 10 snt/kWh sähköenergian hinnalla. Tällöin halvimmankin energianäytön takaisinmaksuaika venyy useaksi vuodeksi. Kuluttajan aktiivisuuden lisäksi säästöön vaikuttaa suuresti kotitalouden tyyppi. Esimerkiksi sähkölämmitetyssä omakotitalossa on paremmat mahdollisuudet energiansäästöön kuin kaukolämmitetyssä kerrostalohuoneistossa.

Muita kuluttajapalautteen välittämiskeinoja ovat muun muassa erilaiset tekstiviesti- ja sähköpostiraportit sekä internet-palvelut eli niin sanotut online-palvelut. Kuluttajat kokevat usein ylimääräiset teksti- ja sähköpostiviestit harmillisiksi, koska viestiliikennettä on jo ennestään paljon. Siksi viestiliikennettä lisäävät kuluttajapalautteet voivat jäädä huomioimatta ja niistä saattaa olla jopa haittaa. Online-palvelut sen sijaan ovat yleistyneet merkittävästi. Niiden avulla voidaan välittää kuluttajalle paljon informaatiota ilman erillistä energianäyttöä tai muuta laitetta, jolloin kuluttajan ei tarvitse tehdä merkittäviä aloitusinvestointeja. Etäluennan myötä myös online-palvelut pystyvät näyttämään sähkön kulutustietoja lähes reaaliajassa ja kuluttaja voi seurata tietoja mistä vain. Ainoa edellytys on internet-yhteys ja päätelaite, kuten tietokone tai älypuhelin.

2.4 Tekniset edellytykset kysynnänjoustolle

Nykyisellä kuormituskäyrämenettelyllä asiakkaan kustannukset eivät ole suoraan riippuvaisia sähkön hetkellisestä kulutuksesta, koska sähkön käytöstä ei ole todellista tuntittaista mittaustietoa. Arvioihin perustuvat laskut sekä manuaalisesti luettavat mittarit eivät mahdollista kysynnänjoustopon laajamittaista yleistymistä. Lisäksi tyyppikuormituskäyrämenettely ohjaa kaikki alle 3 x 63 A asiakkaiden kysynnänjoustopon saavutetut hyödyt sähkön toimitusvelvollisen myyjän taseeseen.

2.4.1 Älykkäät sähkömittarit

Suomessa on päätetty siirtyä portaittain sähkön etäluettavaan tuntimittaukseen kaikissa kohteissa valtioneuvoston asetuksen 66/2009 mukaisesti (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009c). Asetus edellyttää, että sähkön kulutuksen sekä pienimuotoisen sähkön tuotannon tulee perustua tuntimittaukseen sekä etäluentaan. Tätä velvoitetta kutsutaan tuntimittausvelvoitteeksi. Asetuksen mukaan vähintään 80 % kaikkien sähkömarkkina-lain tarkoittamien sähköverkkojen kohteista tulee siirtyä tuntimittaukseen ja etäluentaan portaittain vuoden 2013 loppuun mennessä. Tuntimittausvelvoitteen ulkopuolelle jäävien kohteiden tulee olla varustettu enintään 3 x 25 A pääsulakkeilla tai yli 3 x 25 A pääsulakkeilla, mutta enintään 5000 kWh vuosikulutuksella ja kuulua toimitusvelvollisuuden piiriin. Asetuksen tavoitteina ovat muun muassa asiakaslähtöinen sähkön kysynnänjoustopon, energiatehokkuus- ja energian säästötavoitteiden saavuttaminen, sähkön toimitusten

selvitysmenettelyn tehostaminen ja tarkentaminen sekä myyjän vaihdon tehostaminen (Lehtinen 2009).

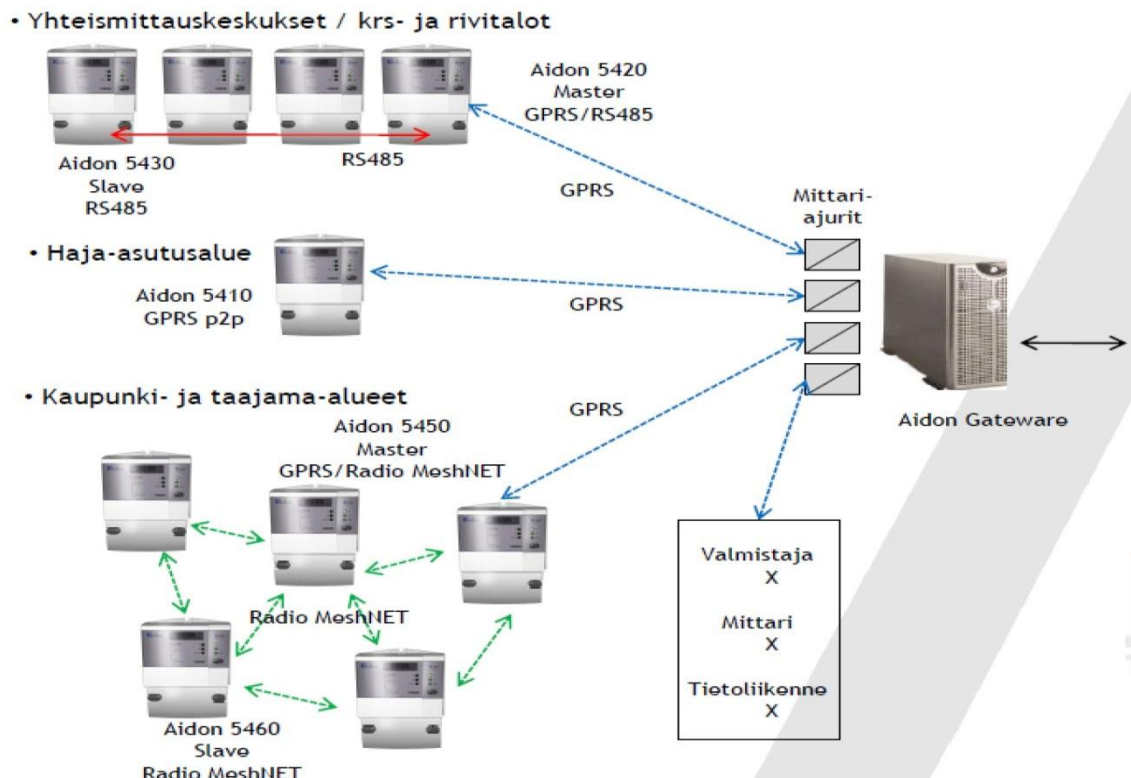
Automaattisesta mittarin luennasta käytetään termiä Automatic Meter Reading, AMR. Tuntimittauksen ja etäluennan mahdollistavaa sähkömittaria kutsutaan myös älykkääksi sähkömittariksi. Valtioneuvoston asetuksen mukaisesti (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009c) älykkään sähkömittarin tulee tuntimittauksen ja etäluennan lisäksi mahdollistaa muun muassa kuorman ohjauksikomentojen vastaanotto ja toimeenpano tai eteenpäin välittäminen sekä asianmukainen tietosuojia. Lisäksi useissa nykyaikaisissa älykkäissä sähkömittareissa on valmiina liitäntä kodin automaatioverkkoon (Home Automation Network, HAN). Älykkäiden sähkömittareiden yleistymisen luo hyvät edellytykset kysynnänjouston edistämiseksi. Suorien kuorman ohjauksien lisäksi älykkäät sähkömittarit tarjoavat kuluttajille reaaliaikaista tietoa sähkön käytöstä. Tieto omasta sähkön kulutuksesta kannustaa asiakasta energiansäästöön ja edistää kysynnänjoustoja. Reaaliaikainen tieto sähkön käytöstä sähkön markkinahintaan yhdistettynä ohjaa kuluttajia vapaaehtoiseen kysynnänjoustoan. Tämä tosin edellyttää markkinahintaan perustuvaa sähkönsopimusta, jotka vielä ovat Suomessa harvinaisia. Asetuksen mukaan verkonhaltijan asiakkaalla on oikeus saada käyttöönsä omaa sähkön kulutustaan koskeva mittaustieto ilman erillistä korvausta. Laajemmin älykäs sähkömittari on yksi tulevaisuuden älykkäiden sähköverkojen (Smart Grids) ydinkomponenteista, joka mahdollistaa kuorman ohjauksien lisäksi muun muassa paremman häiriötilanteiden hallinnan, sähkön laadun tarkkailun ja tarkemman ennustamisen. Lisäksi AMR-järjestelmät mahdollistavat etäkytkennän, joka vähentää käyntejä asiakkaan luona.

Suurimmat ongelmat kysynnänjouston kannalta liittyvät mittarikannan ja tietojärjestelmien hajanaisuuteen sekä mittareiden teknisiin rajoituksiin. Asiasta ei ole olemassa yhtenäistä standardia tai vaatimuksia vaan jakeluverkkoyhtiöt ovat asettaneet AMR-järjestelmilleen omia vaatimuksia, jotka poikkeavat toisistaan suuresti eivätkä välttämättä aina palvele asiakkaiden etua. Yhtenäisiä vaatimuksia kaivattaisiin erityisesti erilaisien tietojärjestelmien rajapinnoista, koska ne ovat olennaisia tiedonsiirron sujuvuuden ja luotettavuuden kannalta. (Kärkkäinen et al. 2006)

2.4.2 Etäluennan tilanne Vantaalla

Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n (VES) noin 100 000 asiakkaalle asennetaan etäluennan ja tuntimittauksen mahdollistavat älykkäät sähkömittarit vuoden 2012 loppuun mennessä. Osa mittareista on vaihdettu jo aikaisemmin ja loputkin mittarit asennetaan massa-asennuksin vuoden 2012 aikana. Uudet mittarit mahdollistavat kuorman ohjaustoimenpiteet ja ne on varustettu etäkytkentälaitteella. VES:n alueella käytetään kolmea erilaista kommunikointitapaa mittareiden välillä riippuen asennuspaikasta: P2P, MeshNet ja RS485. P2P-kommunikointia käytetään yksittäiskohteissa ja se perustuu jokaisessa mittarissa olevaan SIM-korttiin ja M2M-datapuheluliittymään, joiden avulla mittalaite on yhteydessä kaukoluentajärjestelmään käyttäen GPRS-yhteyttä (General Packet Radio Service). MeshNet-kommunikointia käytetään pientaloalueilla, joissa on tiheästi omakotitaloja. Se perustuu Slave-mittareihin, jotka toimittavat mittaustiedot

Master-mittarille MeshNet-radioverkon välityksellä. Master-mittarissa on oma SIM-kortti, josta tiedot välitetään kaukoluentajärjestelmään GPRS-yhteydellä. RS485-kommunikointia käytetään kerros- ja rivitalojen monimittarikeskuksissa. Se perustuu MeshNet-kommunikoinnin tapaan Master- ja Slave-mittareihin, mutta MeshNet-kommunikoinnista poiketen Slave-mittarit ovat yhteydessä toisiinsa RS485-kaapelin avulla. Kaikissa tapauksissa yhteys kaukoluentajärjestelmään perustuu GPRS-yhteyteen. Kuva 11 selventää eri kommunikointitapojen eroja.



Kuva 11: Etäluettavien mittalaitteiden kommunikointitavat

Kuvan 11 esittämien kommunikointitapojen lisäksi VES:n alueella on myös sähköverkotiedonsiirtoa (PLC) hyödyntäviä etäluettavia mittareita.

Kysynnänjouston edistäminen vaatii tiedonsiirrolta kapasiteettia ja nopeutta. Esimerkiksi häiriötilanteissa voi olla tarvetta jopa reaaliaikaiselle kuorman pudotukselle, jolloin kuorman ohjausviestit pitää saada perille nopeasti ja luotettavasti. Luotettavat ja riittävän laajakaistaiset tiedonsiirtoyhteydet ovat perusedellytyksiä kysynnänjoustolle. Kustannustehokkain tapa tiedonsiirtoon on käyttää jakeluverkkoyhtiön tai sen palveluksessa toimivan mittaupalveluntarjoajan olemassa olevia tiedonsiirtoyhteyksiä. Kuorman ohjauksia toteutetaan nykyisellään muun muassa verkkokäsyojousjärjestelmällä (VKO), joka käyttää sähköverkkoa viestikanavana. VKO on lähtöisin 1970-luvulta ja se on jo vanhentunutta tekniikkaa, joka ei sellaisenaan sovellu esimerkiksi kysynnän hintaohjauksen toteutukseen (Ritonummi et al. 2008). Uudet etäluettavat järjestelmät mahdollistavat kaksisuuntaisen tiedonsiirron ja mittaustietojen lisäksi myös kuorman ohjauksien välittämisen, joten niillä voidaan korvata vanhentunut verkkokäsyojousjärjes-

telmä. Etäluentajärjestelmät käyttävät tiedonsiirtoon huomattavasti nykyaikaisempaa GPRS-tekniikkaa tai sähköverkkotiedonsiirtoa (PLC).

VES:n alueella noin 40 % mittareista hyödyntää sähköverkkotiedonsiirtoa loppujen käyttäessä muita edellä mainittuja tiedonsiirtotapoja. Sähköverkkotiedonsiirto eli PLC-tiedonsiirto hyödyntää nimensä mukaisesti sähköverkkoa tiedonsiirrossa. Tieto siirtyy mittareiden ja muuntamoilla sijaitsevien keskittimien välillä. Keskittimiltä mittatieto siirtyy luentajärjestelmään GPRS-yhteyden avulla. PLC-tiedonsiirto on kustannustehokasta, mutta erilaiset sähköverkon häiriöt voivat aiheuttaa ongelmia tai jopa estää etäluennan onnistumisen.

VES:lla PLC-tiedonsiirtotekniikassa käytettävä LON-väylätekniikka mahdollistaa teoreettisen 3 kilobittiä sekunnissa (kbps) tiedonsiirtonopeuden. Käytännössä nopeudet jäävät kuitenkin noin 1,5 kbps tasolle. GPRS-tiedonsiirto taas pystyy teoriassa jopa 56 kbps nopeuteen, käytännön nopeuksien jäädessä noin 20–40 kbps tasolle. GPRS-tiedonsiirron hetkelliseen nopeuteen vaikuttaa puheliikenteen määrä, koska ne toimivat GSM-verkossa samoilla taajuuksilla. (Valtonen & Honkapuro 2010) Nykyisellään GPRS-tiedonsiirron kapasiteetti kuitenkin riittää normaalitilanteessa etäluentaan tuntitasolla sekä kuorman ohjausviesteihin. Tarkempaa aikaresoluutiota tarvittaessa (sekuntitason mittaus) tai viestien koon kasvaessa merkittävästi pitää tulevaisuudessa siirtyä hyödyntämään esimerkiksi 3G-tekniikkaa. 3G-tiedonsiirto tarjoaa GPRS-yhteyttä nopeamman kanavan, mutta 3G-verkon kattavuus on vielä heikko kaupunkialueiden ulkopuolella. (Valtonen 2009) Uusien mittareiden myötä VES:n alueella on kuitenkin hyvät mahdollisuudet edistää sähkömittareilla ohjattua kysynnänjoustoa.

2.4.3 Muut

AMR-mittarit mahdollistavat nykyisellään vain yksinkertaisten kuorman ohjauksien toteuttamisen. Usein mittarissa on vain yksi on/off-tyyppinen ohjausrele, jolloin monimutkaisempien kuorman ohjauksien toteuttaminen ei ole mahdollista ilman lisälaitteita. Useiden erilaisten kuormien ohjaaminen itsenäisesti vaatii kehittyneempiä järjestelmiä, kuten esimerkiksi taloautomaatiojärjestelmiä, sekä riittävän laajakaistaisia tiedonsiirtoyhteyksiä. Kehittyneemmillä järjestelmillä ohjauksen ei tarvitse olla vain on/off-tyyppistä, vaan esimerkiksi lämmitystä ja ilmastointia voitaisiin ohjata asteittain ohjaussignaalin mukaisesti.

Kehittyneet taloautomaatiojärjestelmät laajentavat älykkään sähköverkon ulotumaan asiakkaan kotiin ja sähkölaitteisiin sekä liittävät kuluttajan osaksi kokonaisuutta. Taloautomaatio voisi mahdollistaa yksittäisten kodin sähkölaitteiden etäohjauksen ja siihen voitaisiin liittää myös esimerkiksi sähköauton latausjärjestelmä tai hajautettu pientuotanto. Taloautomaatio on paikallinen järjestelmä, joka kerää tietoa ja välittää ohjauksia niin ulkopuolelta, kuin itse asukkaaltakin. Se voi mahdollistaa monien kuormien älykkään ohjauksen, jos kuormien ohjaus on otettu huomioon järjestelmää suunniteltaessa ja asennettaessa.

Yksittäisten sähkölaitteiden ohjaaminen vaatisi useita ohjausreleitä ja yhteyksiä laitteiden ja kotiautomaatiojärjestelmän välillä. Älykkäitä ohjauksia toteuttava kotiau-

tomaatiojärjestelmä olisi kuitenkin mahdollista toteuttaa jo nykytekniikalla ja markkinoilla on jo joitakin tällaisia tuotteita. Kotiautomaation yleistymisen suurimpina esteinä ovat järjestelmien korkea hinta sekä ihmisten vanhat tottumukset ja tietämättömyys järjestelmien eduista. Ohjauksien ja informaation lisäksi kotiautomaatiojärjestelmään voisi liittää esimerkiksi kulunvalvontaa tai muita täysin uusia toimintoja, jotka lisäävät järjestelmän arvoa kuluttajalle ja täten kannustaisivat järjestelmän hankintaan.

2.5 Roolit ja tarpeet kysynnänjoustossa

2.5.1 Yleistä

Suuria teollisuuskuormia lukuun ottamatta ohjattavat kuormat ovat yleensä pieniä, kuten esimerkiksi kotitalouksien sähkölämmitykset. Ohjattavia kuormia laajempi käsite on hajautettu energiaresurssi, DER (Distributed Energy Resource), joka sisältää ohjattavien kuormien lisäksi muun muassa energiantuotantoyksiköt, kuten aurinkopaneelit, ja energiavarastot, kuten sähköautojen akut. Pienet DER-yksiköt eivät yksinään ole merkittäviä vaan ne tulee koota yhteen yhdeksi suuremmaksi kokonaisuudeksi, jotta niitä voidaan hyödyntää tehokkaasti. Yhteen kerättyjä hajautettuja energiaresursseja kutsutaan virtuaaliseksi voimalaitokseksi, VPP (Virtual Power Plant). DER-yksiköiden kokoamisesta, hallitsemisesta ja kaupallisesta hyödyntämisestä vastaavaa toimijaa taas kutsutaan aggregaattoriksi. (Valtonen & Honkapuro 2010) Aggregaattorin on tarkoitus mahdollistaa pienkuluttajien osallistuminen sähkömarkkinoille tehokkaalla tavalla. Sähkömarkkinoiden lisäksi aggregaattori voi hyödyntää pienkuluttajien joustavia kuormia omiin tarpeisiinsa kuten tasehallintaan tai kuormitushuippujen leikkaamiseen. Aggregaattorina voi toimia jokin nykyisistä sähkömarkkinoiden toimijoista tai kokonaan uusi toimija.

Kysynnänjouston ympärillä tarvitaan montaa eri toimijaa, joilla kaikilla on omat roolinsa ja tarpeensa. Tästä johtuen myös vaihtoehtoisia toimintamalleja on useita. Tässä työssä sidosryhmiksi on tunnistettu sähkön myyjä, jakeluverkkoyhtiö, kantaverkkoyhtiö, pienkuluttaja sekä ulkopuolinen aggregaattori. Ulkopuolisella aggregaattorilla tarkoitetaan tässä työssä sellaista uutta ja itsenäistä toimijaa, joka ei ennestään hoida muita edellä tunnistettuja rooleja. Pienkuluttajalla tarkoitetaan sähkön kuluttajaa, jonka kulutus on esimerkiksi suuriin teollisuuslaitoksiin verrattuna pientä ja joka ostaa kuluttamansa sähkön jälleenmyyjältä. Pienkuluttajia ovat esimerkiksi normaalit kotitaloudet tai pienet yritykset. Sähkön myyjällä tarkoitetaan jälleenmyyjää, joka välittää sähköä esimerkiksi pienkuluttajille.

Eri osapuolien tarpeet kysynnänjoustolle on mahdollista yhdistää ainakin osittain, jolloin oikein toteutettu kysynnänjousto hyödyttää kaikkia osapuolia. Toteutumiseltaan tälle on, ettei yksikään osapuoli pääse yksin sanelemaan kysynnänjouston ehtoja, vaan ne tehdään yhteisymmärryksessä ja kaikkien edun mukaisesti.

2.5.2 Sähkön myyjä

Nord Pool on asettanut tiettyjä vaatimuksia ja rajoituksia, jotka toimijan tulee täyttää osallistuakseen sähkömarkkinoille. Tällaisia ovat esimerkiksi vuosi- ja volyyminmaksut sekä minimitehot, joilla voidaan käydä kauppaa (Valtonen & Honkapuro 2010). Vaatimuksista ja rajoituksista johtuen yksittäisen pienkuluttajan ei ole mahdollista osallistua suoraan sähkömarkkinoille. Sähkön myyjät toimivat sähkömarkkinoiden ja sähkön loppukäyttäjien välillä jälleenmyyjinä. Usein ne hankkivat sähköä asiakkaidensa tarpeisiin sähköpörssistä, omista tuotantolaitoksista tai muilta toimijoilta kahdenvälisillä sopimuksilla. Sähkön myyjä hankkii sähköä kulutusennusteiden perusteella ja määrittää asiakkaan sähkön hinnan hankintakustannusten ja halutun katteen perusteella. Aikaisemmin ennusteet ja laskutus perustuivat tyyppikuormituskäyriin, joilla arvioitiin tietyn tyyppisten asiakkaiden sähkön käyttöä. Tällöin laskutuskin perustuu arvioon, joka muutetaan myöhemmin vastaamaan todellista sähkönkulutusta tasauslaskulla. Uusien AMR-mittareiden myötä sähkön myyjät siirtyvät laskuttamaan asiakkaitaan todellisen sähkönkulutuksen mukaan arviolaskun sijasta. Lisäksi lähes reaaliaikaiset kulutustiedot mahdollistavat tarkemman ennustamisen ja täten sähkönhankinnan kehittämisen (Valtonen 2009).

Sähkö myydään usein loppuasiakkaalle kiinteään hintaan, jolloin riskit hinnanvaihteluista jäävät sähkön myyjälle. Sähkön myyjä on velvollinen toimittamaan sähköä asiakkailleen sopimuksen mukaisesti aina, myös silloin kun sähkö on kallista. Tulevaisuudessa sähkön myyjillä on tyyppikuormituskäyräkäytännön poistuessa paremmat mahdollisuudet kehittää toimintaansa ja tuotteitaan. Hyvänä esimerkkinä kysynnänjoustoon kannustavasta tuotteesta on sähkön spot-hintaan perustuva tuote, jossa asiakas maksaa sähköstään aina sen hetkisen markkinahinnan mukaisesti lisättynä myyjän katteella. Tällöin asiakas jakaa riskin sähkön hinnan volatilitteetista sähkön myyjän kanssa, mutta saa vastineeksi halvempaa sähköä silloin, kun markkinahinta on alhainen. Sähkön myyjä on usein suojannut sähkön hankintansa johdannaismarkkinoilla, jolloin se ei ole täysin sähkön hinnan volatilitteetin armoilla. Kysynnänjoustolla riskienhallinta kuitenkin helpottuisi edelleen merkittävästi. Koko sähkön hankintaa ei ole usein suojattu, jolloin pienikin jousto kysynnässä voi johtaa merkittäviin säästöihin. Sähkön myyjät voivat käyttää omien asiakkaidensa kysynnänjoustoja sähkötaseensa hallintaan, ja se myös avaa sähkön myyjälle täysin uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Aggregaattorina toimiesseen sähkön myyjä voi osallistua ohjattavilla virtuaalivoimalaitoksillaan suoraan sähkömarkkinoille. Spot-markkinoilla käydään kauppaa minimissään 0,1 MW osto- ja myyntitarjouksilla, joten ohjattavia kuormia yhteen keräämällä spot-markkinoille osallistuminen on toteutettavissa. Kysynnänjousto pienentää sähkön markkinahinnan volatilitteettia pitkällä aikavälillä, mikä vähentää sähkön myyjän riskejä. Sähkömarkkinoiden kehittyminen ja sähkön hinnan volatilitteetin pienentyminen voivat olla sähkön myyjän kannalta suurempia etuja kuin hetkellisestä kysynnänjoustosta suoraan saatu hyöty. (Seppälä & Koponen 2011) Lisäksi kysynnänjouston avulla sähkön myyjällä on mahdollisuus tarjota halvempaa sähköä sekä uusia tuotteita ja palveluita asiakkailleen, jol-

loin asiakastyytyväisyys ja myyjän kilpailukyky paranevat. Tällöin sähkön myyjän ja asiakkaan kysynnänjoustosta saamat edut yhtenevät.

Kysynnänjousto voi myös lisätä sähkön myyjän riskejä, jos jousto on vaikeasti ennustettavaa. Sähkön myyjät hankkivat sähköä ennusteiden mukaan, joten nopeat muutokset kysynnässä voivat aiheuttaa merkittäviä riskejä myyjälle. Tämän takia kysynnänjouston mahdollisuus tulisi tunnistaa etukäteen, jolloin jousto voidaan ottaa huomioon sähkön hankinnassa.

Sähkön myyjällä on merkittävä rooli myös tiedottamisessa. Nykyisin sähkön myyjät jakavat vastuun tiedottamisesta jakeluverkkoyhtiöiden kanssa, mutta vastuu on lähiaikoina siirtynyt enemmän sähkön myyjille. Sähkön myyjän asiakaspalvelu on kulluttajan ensisijainen kontaktipinta ja sähkön myyjällä on merkittävä vastuu tiedottamisesta. Useat eri kontaktipinnat ovat asiakkaan kannalta hankalia. Siksi onkin puhuttu siirtymisestä niin sanottuun yhden luukun malliin, jossa sähkön myyjä hoitaa kaiken kommunikoinnin asiakkaan kanssa ja välittää tarvittavat tiedot jakeluverkkoyhtiölle. Asiakkaan ensisijaisena kontaktina sähkön myyjällä on erittäin merkittävä rooli kysynnänjouston markkinoinnissa ja tiedottamisessa. (Ritnummi et al. 2008)

2.5.3 Jakeluverkkoyhtiö

Jakeluverkkoyhtiöillä on ollut käytössä kuormien ohjauksia jo 1980-luvulta asti. Osa kannustimista kuormanohjaukseen kuitenkin katosi jakeluverkoilta, kun sähkön jälleenmyynti- ja jakeluverkkoliiketoiminta eriytettiin sähkömarkkinoiden avautumisen yhteydessä vuonna 1995 (Belonogova et al. 2010). Nykyisin jakeluverkkoyhtiön pääasiallinen tehtävä on toimia neutraalina sähkömarkkinapaikan ylläpitäjänä eli tarjota yhteys sähkön tuottajan ja sähkön loppukäyttäjän välille sekä vastata mittauksesta ja taseselvityksestä. Sähkönjakelu on säännösteltyä liiketoimintaa eikä jakeluverkkoyhtiö voi osallistua sähkömarkkinoille, vaikka sillä olisikin käytössään esimerkiksi ohjattavia virtuaalivoimalaitoksia tai muuta tuotantoa. Jakeluverkkoyhtiö ei myöskään saa suosia yksittäisiä sähkön myyjiä tai aggregaattoreita vaan toiminnan tulee olla syrjimätöntä.

Jakeluverkkoyhtiö voi kuitenkin hyödyntää kysynnänjoustoa esimerkiksi kuormitushuippujen laskemiseen ja kuormituksen tasoitukseen. Kasvava huippukuorma edellyttää vahvistuksia jakeluverkkoon, jotka usein ovat investointeina erittäin kalliita. Kysynnänjoustolla kuormitusta voidaan siirtää huippukuormituksen ajalta matalamman kuormituksen ajalle, jolloin hetkellinen huippukuormitus laskee. Huippukuormituksen alentuessa myös verkon kapasiteetin tarve alentuu ja jakeluverkkoyhtiö voi mitoittaa verkkonsa niukemmin. Pitkällä tähtäimellä kysynnänjousto säästää jakeluverkkoyhtiön merkittävilta investoinneilta, koska verkkoa ei tarvitse vahvistaa kuormitushuipun laskiessa. Lisäksi ohjattavia kuormia voidaan hyödyntää verkon häiriötilanteissa.

Sähkönjakelun ohella jakeluverkkoyhtiö on vastuussa sähkön käytön mittauksesta ja mittaustiedon välittämisestä asiakkaille ja muille toimijoille. AMR-järjestelmien yleistyessä mittaustiedon määrä moninkertaistuu ja sen merkitys kasvaa huomattavasti. Etäluennan ja tuntimittauksen myötä jokaiselta asiakkaalta saadaan mittaustieto vuoden jokaiselta tunnilta ilman käyntiä asiakkaan luona, kun vanhoilla mittareilla lukemat saa-

tiin normaalisti vain kerran vuodessa silloin, kun mittari käytiin lukemassa asiakkaalla. Mittaustiedon määrän moninkertaistuminen asettaa uusia vaatimuksia mittaustiedonhallintajärjestelmille sekä tiedonsiirrolle. Mittaus- ja asiakastietojen hallinta tekevät jakeluverkkoyhtiön roolista erittäin keskeisen. Kysynnänjoustossa toteutetun jouston täytyy olla todennettavissa, jolloin asiakkaan tuntimittaustietojen tulee olla virheetöntä ja nopeasti käytettävissä. Tuntimittaus toimii myös laskutuksen perusteena, jolloin mittaustiedonhallintajärjestelmän toimintavarmuuden tulee olla hyvä. Jakeluverkkoyhtiön mittausvelvollisuus kattaa mittareiden omistamisen, asentamisen ja ylläpidon sekä mittaustietojen lukemisen ja rekisteröinnin. Jakeluverkkoyhtiö voi halutessaan myös ostaa koko mittauspalvelun ulkopuoliselta kumppanilta, jolloin se vain vastaanottaa tarvittavat mitauslukemat ja palveluntarjoaja huolehtii kaikesta muusta.

Mittaus- ja ohjaustietojen häiriötön välittäminen on kysynnänjouston kannalta keskeistä. Ohjauksien tulee olla luotettavia, jotta joustoa voidaan ennustaa riittävällä tarkkuudella ja mittausta tarvitaan, jotta jousto voidaan todentaa ja hyvittää tai laskuttaa. Lisäksi myös kuluttajien kiinnostus omaa energian kulutustaan kohtaan on lisääntynyt, jolloin mittaustiedot nousevat arvokkaaseen rooliin myös asiakkaan kannalta. Jakeluverkkoyhtiöt ovatkin alkaneet tuottaa erilaisia palveluita, joissa kuluttaja voi seurata omaa sähkön käyttöönsä. Uusilla palveluilla on mahdollista hyödyntää AMR-järjestelmien vaatimat suuret investoinnit paremmin.

Nykyisin jakeluverkkoyhtiö on toinen tärkeä kontaktipinta asiakkaalle sähkön myyjän lisäksi. Jakeluverkkoyhtiön vastuulla on neuvoa asiakasta sähkönjakeluun liittyvissä asioissa, kuten liittymien rakentamisessa tai hajautetun tuotannon liittämässä jakeluverkkoon. Lisäksi jakeluverkkoyhtiöllä on vastuu tiedottaa mahdollisista vikatilanteista tai verkon rakentamiseen ja ylläpitoon liittyvistä töistä. Ideaalitulanteessa asiakas ottaa yhteyttä jakeluverkkoyhtiöön ainoastaan silloin, kun asiakas haluaa liittyä jakeluverkkoon tai muuttaa liittymätyyppiään. Tämä edellyttää, että jakeluverkkoyhtiön laskutus on kunnossa ja perustuu todellisiin luotettaviin kulutustietoihin ja, että asiakas ymmärtää laskutusperusteet. Lisäksi tiedotuksen vikatilanteissa ja suunniteltujen katkojen yhteydessä tulisi olla kunnossa. Käytännössä tämä on vaikeaa toteuttaa, joten tiedottamisesta ei voida kokonaan luopua. Monet verkkoyhtiöt ovat viimeaikoina kehittäneet internet-palveluitaan, joissa asiakkaalle tarjotaan kaikki tarvittava tieto esimerkiksi jakeluverkkoyhtiön kotisivujen kautta. Internet-palvelussa asiakas voi seurata omaa sähkön kulutustaan, verkon vikatilanteita tai rakennustöiden edistymistä reaaliajassa. Lisäksi online-palvelussa voi olla ohjeita yleiseen sähkön käyttöön liittyvistä asioista, kuten verkkoon liittymisestä tai energiansäästöstä. Online-palvelun myötä asiakkaan ei tarvitse olla suorassa yhteydessä jakeluverkkoyhtiön asiakaspalveluun, jolloin asiakkaan tiedon hankinta helpottuu ja jakeluverkkoyhtiö voi säästää resurssejaan ja keskittyä toimivaan sähkönjakeluun. (Selonen 2010) Vastuu asiakkaan tiedottamisesta onkin siirtymässä enemmän sähkön myyjien vastuulle.

Jakeluverkkoyhtiön rooli kysynnänjoustossa on kaksijakoinen. Jakeluverkkoyhtiö voi olla potentiaalinen asiakas ohjattavien kuormien aggregoijalle, jolloin ohjattavia kuormia voitaisiin hyödyntää verkon kuormituksen hallinnassa. Toisaalta jakeluverkkoyhtiö

yhtiö on vastuussa häiriöttömästä sähkönjakelusta ja sen tulee täten varmistaa, että jakeluverkko mahdollistaa suunnitellut kuormanohjaustoimenpiteet ilman häiriöitä. Jakeluverkkoyhtiö ei voi hyödyntää ohjattavia kuormia kaupallisesti ilman kysynnänjoustoliiketoiminnan eriyttämistä tai säännöstelyn merkittävää muuttumista, joten jakeluverkkoyhtiön näkökulma on ensisijaisesti sähkömarkkinapaikan, eli jakeluverkon, kehittäminen sekä mittauspalveluiden tuottaminen. Tämä liittyy jakeluverkkoyhtiön merkittäväksi toimijaksi myös kysynnänjoustop mallia luotaessa. Lisäksi esimerkiksi sähkön myyjän kontrolloima hintaohjattu kysynnänjousto ohjaa kuormitusta usein myös jakeluverkon kannalta suotuisaan aikaan, mikä osaltaan motivoi jakeluverkkoyhtiötä edistämään kysynnänjoustoja. (Losi et al. 2011)

2.5.4 Kantaverkkoyhtiö

Kantaverkkoyhtiö tarvitsee ohjattavia energiavaroja lähinnä tehoperäisissä eli silloin, kun sähkön käyttö ylittää sähkön tuotantokapasiteetin tai muissa vakavissa häiriötilanteissa. Tällöin toimenpiteet alkavat kantaverkkotasolta ennalta tehdyn suunnitelman mukaisesti. Tehoperäinen johtuu usein yllättävistä häiriöistä, kuten tuotantoyksiköiden vikatilanteista. Häiriöihin on varauduttu automaattisella taajuusohjatulla häiriöreservillä sekä nopealla häiriöreservillä. Automaattinen häiriöreservi aktivoituu 30 sekunnin kuluessa taajuusmuutoksesta ja sen tulee vastata määrältään järjestelmän suurimman yksittäisen tuotantoyksikön tuotantoa. Suomessa taajuusohjattuna häiriöreservinä käytetään voimalaitoksien pätötehoreservejä sekä irtikytkettäviä kuormia. Automaattisen häiriöreservin pitää olla varmasti käytössä ja toiminnan erittäin nopeaa, joten ennalta sopimaton pienkuluttajien kysynnänjousto ei ole potentiaalinen ratkaisu automaattiseksi häiriöreserviksi. Nopea häiriöreservi on manuaalisesti aktivoitavaa kapasiteettia, joka on aktivoitavissa 15 minuutissa. Nopean häiriöreservin tarkoitus on vapauttaa automaattinen taajuusohjattu häiriöreservi käyttöön ja palauttaa verkon poikkeuskytkennät mahdollista seuraavaa vikatilannetta varten. Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n nopea häiriöreservi koostuu nykyään omista ja vuokratuista voimalaitoksista sekä irtikytkettäviä kuormista. Nopea häiriöreservi pitää mitoittaa maan mitoittavan vikatapausten mukaan. Suomessa tarvitaan tulevaisuudessa lisää nopeaa häiriöreserviä uusien ydinvoimayksikköjen käyttöönoton ja hajautetun vaikeasti ennustettavan energiantuotannon yleistymisen johdosta. Ohjattavaa vesivoimakapasiteettia ei tule enää merkittävästi lisää. Nopeasti ohjattava fossiilinen tuotanto taas on kallista ja aiheuttaa suuret päästöt. Suurteollisuuden ohjattavat kuormat on jo pääasiassa hyödynnetty häiriökapasiteetiksi, joten uusia ohjattavia kuormia tarvitaan. Nopeasti ohjattavat DER-yksiköt ja etenkin pienkuluttajien ohjattavat sähkölämmitykset voisivat olla tähän tarkoitukseen sopivia kuormia. Kantaverkkoyhtiö voisi siis hyötyä kysynnänjoustop yleistymisestä ja olla potentiaalinen asiakas aggregaattorille. Tehopula on kuitenkin erittäin harvinainen tilanne, joten nopeasta häiriöreservistä ei synny merkittävää kaupankäyntivolyymiä, jolloin kantaverkkoyhtiön ei kannata itse toimia kuormien aggregoijana. (Rittonummi et al. 2008; Kärkkäinen et al. 2006) Kantaverkon hallinnoimisen lisäksi yksi kantaverkkoyhtiön perustehtävistä on sähkömarkkinoiden edistäminen ja täten myös kysynnänjousto

on kantaverkkoyhtiön kannalta merkittävä kehityskohde, vaikkei se suoranaisesti itse hyödyntäisikään pienkuluttajien kysynnänjoustoa (Fingrid Oyj 2011a).

2.5.5 Pienkuluttajat

Energiakustannukset ovat pienkuluttajalle merkittävä menoerä vuodessa. Kuluttajalla on kuitenkin rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa sähkölaskunsa suuruuteen omalla aktiivisuudellaan. Pienkuluttajat ovat tottuneet käyttämään sähköä silloin kun sitä tarvitaan, koska kiinteähintainen sähkösopimus ei tee eroa sähkölaskuun sähkön käytön ajankohdasta riippuen. Sähkö koetaan perustarpeeksi, jota on oltava aina saatavilla ja jonka käytöstä ei olla valmiita tinkimään. Kiinteähintaisten sähkösopimuksien rinnalle on viime vuosina tullut myös sähkön spot-hintaan perustuvia tuotteita, mutta niiden suosio on ollut vähäistä asiakkaiden alhaisen riskienottohalukkuuden ja puutteellisen tiedotuksen johdosta. Spot-hintaan perustuva tuote vaatii kuluttajalta paljon omaa aktiivisuutta, jotta siitä olisi taloudellista hyötyä. Pienkuluttajan mahdollisuudet kysynnänjousto on ovat siis nykyisellään varsin rajalliset. Kohonneet sähkön hinnat ovat kuitenkin herättäneet kuluttajien kiinnostuksen omaa sähkön käyttöä ja energiansäästöä kohtaan. Omaa kuluuskäyttäytymistä ollaan valmiita muuttamaan, jos ratkaisu koetaan taloudellisesti järkeväksi.

Tämän takia markkinaehtoisien kysynnänjousto on yleistyksen edellytys onkin, että se on asiakkaan kannalta tarpeeksi houkutteleva ja kannattava nykyiseen malliin verrattuna. Asiakkaat eivät ole valmiita tinkimään sähkön käytöstään ilman merkittävää kannustinta. VTT:n tutkimuksen mukaan automaattinen hintaohjaus voisi 16 talviviikon aika (tarkastelussa viikot 49/2005–12/2006) tuoda rivitalo-ohjeistolle 50 euron hyödyn verrattuna perinteiseen kaksiaikaohjaukseen ja jopa 90 euron hyödyn ohjaamattomaan tapaukseen verrattuna (Segerstam et al. 2007). Tällainen hyöty on jo asiakkaan kannalta merkittävä säästö pitkällä tähtäimellä. Taloudellisen edun lisäksi vaivattomuus ja helpokäyttöisyys ovat pienkuluttajan kannalta merkittäviä asioita. Kysynnänjousto on houkuttelevuus pienkuluttajalle kasvaa merkittävästi, jos taloudellista hyötyä on saavutettavissa ilman merkittävää omaa aktiivisuutta. Tämän takia automaattisesti toteutuva kuormien ohjaus olisi pienkuluttajan kannalta paras ratkaisu. Tällöin kuluttajan vastuulle jää ainoastaan päätös sitoutumisesta kysynnänjousto on ja ohjattavan kuorman tarjoaminen. (Rittonummi et al. 2008) Tulevaisuudessa monimutkaisemmat kuormien etäohjaukset voivat antaa myös pienkuluttajalle mahdollisuuksia ohjata oman kotinsa sähkölaitteita etäyhteyden avulla.

Toinen edellytys on, että kuluttaja saa riittävästi informaatiota. Kuluttajat eivät voi kiinnostua kysynnänjousto on, jos he eivät ymmärrä mihin ja miksi sitä tarvitaan ja miten se käytännössä vaikuttaa jokapäiväiseen elämään. Pienkuluttajat kaipaavat helposti ymmärrettävää ja puolueetonta tietoa sekä käyttökokemuksia selvittämään mistä kysynnänjousto on kyse. Lisäksi informaatiota tarvitaan uusista tuotteista ja hinnoitteluperiaatteista sekä mahdollisten uusien toimijoiden rooleista. Informaatiomäärän kasvassa myös yksityisyys on kuluttajalle äärimmäisen tärkeää. Sähkön kulutustiedon

jakaminen useille osapuolille voidaan kokea epämiellyttäväksi, ellei yksityisyydestä ja tietosuojasta huolehdi riittävän hyvin.

2.5.6 Ulkopuolinen aggregaattori

Muut edellä tarkastellut sidosryhmät ovat jo olemassa ja niiden toiminta on vakiintunutta. Ulkopuolista aggregaattoria ei sen sijaan ole Suomessa olemassa eikä sen toiminnalle ole olemassa vakiintunutta mallia. Ulkopuolinen aggregaattori on kuitenkin merkittävä toimija tietyissä jatkossa tarkasteltavissa toimintamalleissa ja siksi se on valittu yhdeksi sidosryhmäksi. Tällaisen mallin toteutuessa ulkopuolinen aggregaattori on keskeisessä asemassa kysynnänjouston käytännön toteuttamisessa, markkinoinnissa ja tiedottamisessa. Se voi tuottaa monia erilaisia palveluita kuormien ohjaukseen liittyen monille eri toimijoille. Pääasiallinen tarkoitus on siis tuoda ohjattavat resurssit muiden toimijoiden käytettäväksi tai hyödyntää niitä omiin tarpeisiin. Aggregaattorin tuottamia palveluita ja ulkopuolisen aggregaattorin toiminnan mahdollisuuksia on pohdittu tarkemmin kappaleissa 2.6.1 ja 2.6.4.

Ulkopuolisen aggregaattorin motivaatio kysynnänjoustoja kohtaan on puhtaasti liiketoiminnallinen. Aggregaattorina toimivan yrityksen pääasiallisena tarkoituksena on tuottaa arvoa omistajilleen tuottamalla kysynnänjoustopalveluita esimerkiksi energiayhtiöille tai myymällä ohjattavia kuormia suoraan sähkömarkkinoilla.

2.6 Tulevaisuuden näkymät ja liiketoimintamallit

2.6.1 Aggregaattoritoiminta

Yhdysvalloissa, Australiassa ja joissain Euroopan maissa on jo kokemusta aggregaattoritoiminnasta, mutta yhtä vakioitua toimintamallia ei ole olemassa. Suuret kuluttajat, kuten teollisuuslaitokset, toimivat itse suoraan sähkömarkkinoilla, joten niiden kuormien aggregoinnissa ei välttämättä tarvita erillistä toimijaa. Teollisuusyrityksillä ei kuitenkaan aina ole riittävää tietoa sähkömarkkinoista, jolloin erillinen palvelu voi olla niille hyödyllinen. Olemassa olevat pienkuluttajien kysynnänjoustomallit taas palvelevat lähinnä sähköverkon tarpeita eikä niitä vielä käytetä sähkömarkkinoilla. (Ikäheimo et al. 2010) Selvää on kuitenkin, että ohjattavien kuormien aggregointi edellyttää kokonaan uudenlaisia liiketoimintamalleja tai suuria muutoksia nykyisiin malleihin.

Aggregaattoripalveluiden toteuttamiseen liittyy lukuisia avoimia kysymyksiä, jotka täytyy ratkaista ennen kuin pienkuluttajien laajamittainen kysynnänjousto voi yleistyä. Toimintamalleissa on suuria eroja sen mukaan, kuka ylipäättään voi toimia aggregaattorina ja kenen näkökulmasta kysynnänjoustoja toteutetaan.

Aggregaattori voi tarjota monia erilaisia palveluita riippuen niiden taloudellisesta kannattavuudesta ja haluttavuudesta. Toiminnan taloudellinen kannattavuus riippuu pitkälti käytettävissä olevista hajautetuista energiaresursseista, niiden koosta ja lukumäärästä sekä niiden tehokkaaseen hyödyntämiseen vaadittavista investoinneista. Kaikkein pienimpien hajautettujen resurssien hyödyntämiseen vaadittavat investoinnit voivat

olla niin suuria, ettei niitä kannata hyödyntää. Aggregaattoritoiminnan onnistumisen perusedellytyksiä ovat, että aggregaattori: (Ikäheimo et al. 2010)

1. omaa riittävän tietämyksen siitä, minkälaiset asiakkaat voivat tarjota taloudellisesti kannattavia ohjattavia resursseja ja missä resurssit sijaitsevat
2. tiedottaa riittävästi ja markkinoi kysynnänjoustopalvelun siten, että se kiinnostaa asiakkaita
3. omaa tekniset edellytykset ohjata asiakkaiden kuormia esimerkiksi asentamalla tarvittavat laitteistot tai käyttämällä jo nykyisin käytössä olevia laitteistoja
4. omaa taloudelliset mahdollisuudet maksaa asiakkaille kysynnänjoustosta.

Tietämys asiakkaista ja näiden potentiaalisista ohjattavista kuormista on ensisijaisen tärkeää, koska ne luovat pohjan aggregaattorin kannattavalle toiminnalle. Aggregaattorin pitää tietää minkälaiset asiakkaat ja kuormat ovat taloudellisesti kannattavia hyödyntää kysynnänjoustossa ja minkälaisia investointeja niiden hyödyntäminen vaatii. Lisäksi ohjattavat kuormat ovat luonteeltaan hyvin erilaisia esimerkiksi käyttöajankohdan ja -vasteen, varaavuuden ja käyttöintervallin (esimerkiksi kuinka monta kertaa viikossa kuormaa voidaan ohjata) suhteen. Tämän takia aggregaattorin ei aina ole kannattavaa hyödyntää kaikkia tarjolla olevia ohjattavia resursseja vaan osa kannattaa jättää hyödyntämättä, koska niiden hyödyntäminen tulisi liian kalliiksi tai niiden ohjattavuus olisi liian huono. Oman kannattavuuden lisäksi aggregaattorin tulee tietää, kuinka paljon asiakkaalle aiheutuu haittaa kysynnänjouston käyttöönotosta ja minkälaisen korvauksen asiakas joustostaan haluaa, jotta se voi arvioida onko asiakkaan kysynnänjoustomahdollisuuden hyödyntäminen kannattavaa.

Tiedotus ja markkinointi ovat erittäin tärkeitä kysynnänjouston edistämässä varsinkin alkuvaiheessa, kun ihmisten tietoisuus on vielä vähäistä. Myöhemmin, kun asiakkaat jo tietävät mitä kysynnänjousto on ja siitä on olemassa vakiintuneet toimintamallit, aggregaattorin vastuu muuttuu enemmän markkinoinnin suuntaan. Täten aggregaattori voi esimerkiksi pyrkiä erottumaan mahdollisista muista aggregaattoripalveluista toimittavista yrityksistä.

Ohjausten toteuttamiseen vaadittavat laitteistot ja tietojärjestelmät muodostavat kysynnänjouston kannalta kriittisen kokonaisuuden. Ilman toimivaa ja taloudellisesti järkevää ohjausjärjestelmää kysynnänjouston edistäminen ei ole mahdollista. Aggregaattorin kannalta taloudellisin ja usein myös helpoin vaihtoehto on hyödyntää jo olemassa olevia laitteistoja, kuten AMR-mittareita, mutta myös uusien laitteistojen asennus on mahdollista. Tällöin aggregaattorin tulee analysoida kohteen hyödyntämisen kannattavuus, hoitaa tarvittavat asennukset ja auttaa laitteiston rahoituksessa, koska asiakkaan oma tietämys ei välttämättä tähän riitä.

Viimeisenä aggregaattorin tulee varmistua siitä, että sillä on mahdollisuudet palkita asiakkaitaan kysynnänjoustoon osallistumisesta. Palkkio voi olla esimerkiksi kertaluontoinen kannustin, käytetystä joustokapasiteetista maksettava tapauskohtainen maksu tai näiden yhdistelmä, jossa kuorman ohjauksen mahdollisuudesta maksetaan asiakkaal-

le kiinteä perusmaksu ja tehdyistä kuorman ohjauksista lisäksi niiden pituuden ja kapasiteetin mukainen käyttömaksu. (Ikäheimo et al. 2010)

Edellä asiakkaalla on tarkoitettu sähkön kuluttajaa, joka antaa ohjattavat resurssinsa aggregaattorin hallittavaksi. Aggregaattori ei kuitenkaan aina hyödynnä ohjattavia resursseja vain omaan käyttöönsä vaan myy kysynnänjoustopalveluita muille toimijoille tai suoraan sähkömarkkinoille. Tällöin aggregaattorin todellisia asiakkaita ovat ne, jotka ostavat aggregointipalveluita ja hyödyntävät yhteen kerättyjä virtuaalivoimalaitoksia omassa toiminnassaan. Potentiaalisia asiakkaita aggregaattorille voivat olla esimerkiksi kanta- ja jakeluverkkoyhtiöt, sähkön myyjät, sähkön tuottajat tai suuret sähkön käyttäjät. Asiakaskunta vaihtelee suuresti sen mukaan minkälaisia palveluita aggregaattori tuottaa. Taulukko 1 esittelee aggregaattorin eri toimijoille mahdollisesti tuottamia palveluita.

Taulukko 1: Mahdollisia aggregaattorin tuottamia palveluita eri osapuolille (osittain Ritonummi et al. 2008).

Asiakas	Palvelu
Kantaverkko-operaattori	taajuudensäätö- ja häiriöreservipalvelut, (loistehojen hallinta, häviöiden alentaminen)
Sähkömarkkinat	ohjattavien kuormien tarjoaminen sähkömarkkinoille
Suuret yksittäiset toimijat	kaupankäynti kahdenvälisin sopimuksin
Jakeluverkkoyhtiö	kuormituksen tasoittaminen, jännitteensäätö, (häviöiden pienentäminen)
Sähkön myyjä	ohjattavien kuormien myynti, tasehallinta
Pienkuluttaja	energiansäästö- ja kuorman ohjauspalvelut

Mahdolliset palvelut riippuvat käytettävissä olevista ohjattavista resursseista ja niiden hyödyntämismahdollisuuksista. Ohjattavien resurssien määrä ja ohjauksen aikavaste rajoittavat niiden käyttötarkoituksia ja vaikuttavat täten palvelun toteutuskustannuksiin ja kannattavuuteen. Sähkömarkkinoille osallistuvilla kuormilla riittää pidempi vasteaika, kun taas esimerkiksi kantaverkkoyhtiön nopean häiriöreservin tulee olla aktivoitavissa 15 minuutissa. Ohjattavien resurssien kapasiteetti- ja vasteaikavaatimuksia on koottu Taulukkoon 2. (Valtonen & Honkapuro 2010)

Taulukko 2: Eri käyttötarkoitusten ohjattaville kuormille asettamia vaatimuksia (Valtonen & Honkapuro 2010)

	Kapasiteetti	Min. vasteaika	Muita huomioita
Elspot	0,1 MW ja sen kerrannaiset	11 h	
Elbas	1,0 MW ja sen kerrannaiset	1 h	
Nopea häiriöreservi	Min. 15 MW	15 min	Oltava käytettävissä 7000 h vuodessa ja 3 h yhtäjaksoisesti sekä kapasiteetti tulee olla todennettavissa reaaliaikaisilla mitauksilla
Säätösähkömarkkinat	Min. 10 MW	15 min	Oltava todennettavissa
Tasesähkö	-	Lopulliset tuotantosuunnitelmat 45 min ennen käyttöä	Oltava todennettavissa

Aggregaattorina voi toimia esimerkiksi sähkön jälleenmyyjä, jakeluverkkoyhtiö tai jokin uusi toimija. Seuraavassa tarkastellaan kolmea erilaista mallia aggregaattoritoiminnalle, jotka ovat myyjävetoinen malli, jakeluverkkoyhtiövetoinen malli sekä uusi ulkopuolinen aggregaattori. Myyjävetoisen mallin aggregaattorina toimivaa sähkön myyjää kutsutaan tässä työssä jälleenmyyjä-aggregaattoriksi.

2.6.2 Myyjävetoinen malli

Energiayhtiöt, jotka myyvät sähköä ja toimivat tasevastaavina ovat tällä hetkellä kaikkein potentiaalisimpia aggregaattoreita. Jälleenmyyjä-aggregaattoreilla on jo valmiina oma asiakaskunta, edellytykset toimia sähkömarkkinoilla, tiedonsiirto- ja asiakaskaiden ja muiden toimijoiden kanssa sekä tarvittava kokemus toimialasta. Myyjävetoinen toimintamalli olisi helppo toteuttaa kysynnänjouston alkutaipaleella, koska se ei välttämättä vaatisi suuria investointeja tai muutoksia nykyisiin toimintatapoihin. Myyjävetoisessa mallissa sähkön myyjä kerää yhteen asiakkaidensa hajautetut resurssit ja ohjaa niitä omien tarpeidensa mukaisesti. Myyjä voi hyödyntää asiakkaidensa hajautetut resurssit esimerkiksi tasehallinnassa tai kaupankäynnissä sähkömarkkinoilla. Myyjä sopii ohjauksesta etukäteen asiakkaan kanssa tehdyllä sopimuksella, joka asettaa reunaehdot ohjauksille tai vapauttaa tarvittaessa asiakkaan kokonaan kysynnänjoustosta. Myyjä maksaa asiakkailleen joustosta kannustimen, joka voi olla esimerkiksi kertaluon-

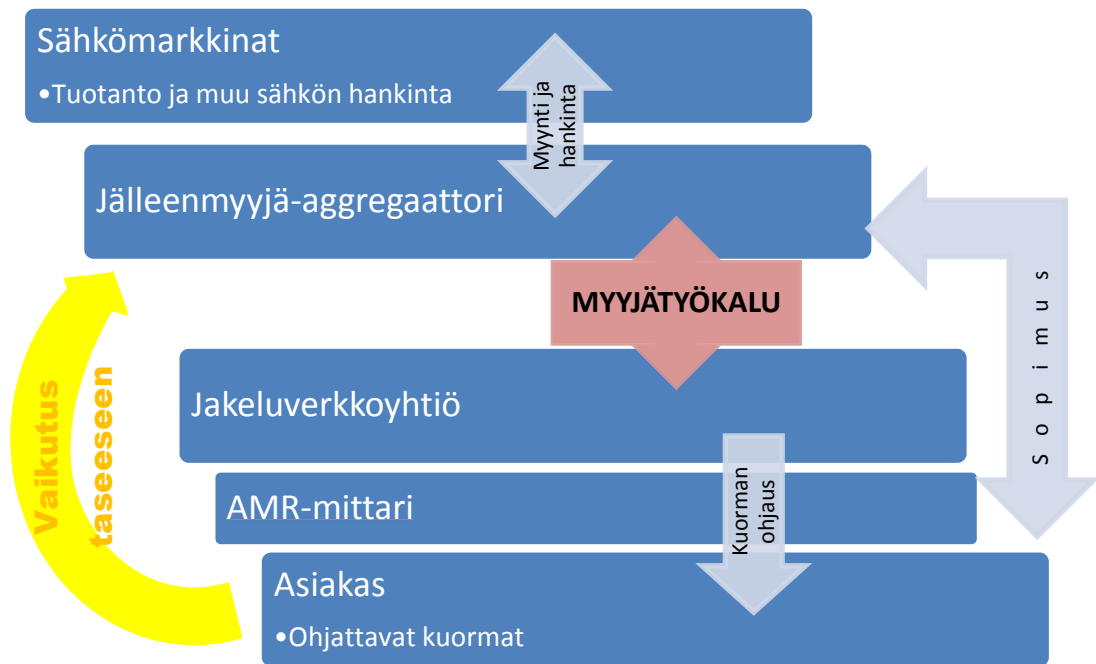
toinen hyvitys sähkölaskuun tai tapauskohtainen, yksittäisistä ohjauskerroista koostuva summa. Rahallisten kannustimien lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi ympäristöystävällisemmin tuotettua sähköä kannustimena. Sähkön myyjien mukaan ohjauksesta tulisi saada asiakkaan kannalta mahdollisimman huomaamaton ja automaattinen. (Rittonummi et al. 2008) Tällöin asiakkaalla ei ole syytä kieltäytyä kuorman ohjaussopimuksesta sähkön myyjän kanssa. Oikein toteutettuna kuluttajan ja sähkön myyjän välisestä kysynnänjoustosopimuksesta hyötyvät molemmat osapuolet. Myyjä hyötyy asiakkaan ohjattavien resurssien tuomista hyödyistä ja asiakas saa rahallisen palkkion.

Jakeluverkkoyhtiön rooli myyjävetoisessa mallissa voisi olla toteuttaa sähkönmyyjän haluamat kytkennät ja vastata mittauksesta AMR-mittareiden kautta. Ohjausten välittämiseen ei ole olemassa vakioitua ratkaisua, jolla sähkönmyyjä voisi välittää tiedot tulevista ohjauksista jakeluverkkoyhtiölle. Tiedonsiirtoa sähkönmyyjän ja jakeluverkkoyhtiön välillä kuitenkin on jo nykyisellään, joten kokemusta tiedonsiirtorajapinnoista ja työkaluista on olemassa.

Tiedonsiirtoon tulee kehittää työkalu, jolla mahdollistetaan tiedonsiirto kysynnänjouston osapuolien, tässä tapauksessa jakeluverkkoyhtiöiden ja sähkön myyjän, välillä. Tätä työkalua kutsutaan tässä työssä myyjätyökaluksi. Olemassa oleva kokemus ja tieto helpottavat myyjätyökalun kehittämisessä, mutta siihen liittyy myös suuria haasteita. Myyjätyökalun tulisi esimerkiksi ottaa huomioon myös jakeluverkon rajoitukset, jotta kuorman ohjauksista ei muodostu ongelmia jakeluverkolle. Useiden sähkön myyjien halutessa samanlaisia kuorman ohjauksia, jakeluverkkoon voi muodostua haitallisia kulutushuippuja. Siksi myyjätyökalun tulisi sisältää toiminto, jossa jakeluverkkoyhtiön pitää hyväksyä myyjän ohjaustoiveet ennen niiden käytäntöönpanoa. Tällöin jakeluverkkoyhtiön on mahdollista varmistaa, ettei ohjauksista aiheudu haittaa sähkönjakelulle.

Ongelmaksi muodostuu jakeluverkkoyhtiöiden syrjimättömyysperiaate, jonka mukaan sen tulee kohdella kaikkia osapuolia syrjimättömästi. Toisten sähkön myyjien ohjaustoiveet voivat kuitenkin olla jakeluverkon kannalta toteuttamiskelpoisempia kuin toisten. Jakeluverkon alueella on monen eri sähkön myyjän asiakkaita ja jakeluverkkoyhtiön pitää silti toimia syrjimättömästi kaikkia osapuolia kohtaan. Tämän takia ohjauksien toteuttamisesta ja myyjätyökalun toiminnasta tulee olla tarkasti määritellyt ohjeet ja pelisäännöt.

Sähkön myyjällä voi olla asiakkaita usean eri jakeluverkkoyhtiön alueella ja jokaisella alueella voi olla erilaiset rajoitukset jakeluverkon suhteen. Tällöin sähkön myyjän ohjaukset voivat toteutua eri verkkojen alueella eri tavoilla. Jakeluverkkoyhtiöillä on myös monia erilaisia tietojärjestelmiä sekä tiedonsiirtotapoja ja täten yhden yhteisen myyjätyökalun kehittäminen voi olla haastavaa. Yhteiset standardit ja pelisäännöt helpottaisivat myyjätyökalun kehittämistä ja vähentäisivät useiden rinnakkaisten järjestelmien tarvetta. Kuva 12 näyttää esimerkin myyjävetoisen mallin prosessista.



Kuva 12: Myyjävetoinen malli. Tiedonsiirto sähkön myyjän ja jakeluverkkoyhtiön välillä tapahtuu myyjätyökälulla, jolla sähkön myyjä välittää kuorman ohjauspyynnöt jakeluverkkoyhtiölle ja jakeluverkkoyhtiö vahvistaa pyynnöt, jos niistä ei aiheudu haittaa jakeluverkon toiminnalle. Sähkön jälleenmyyjä on asiakkaan ensisijainen kontaktirajapinta. (osittain Seppälä & Koponen 2011)

AMR-mittareilla toteutettu myyjävetoinen malli, jossa sähkön myyjä hyödyntää asiakkaidensa ohjattavia resursseja omiin tarpeisiinsa, on todennäköinen malli kysynnänjouston alkuvaiheessa, koska se pystytään toteuttamaan suurilta osin nykyisillä resursseilla ilman merkittäviä uusia investointeja. Tämän takia se on taloudellisesti kannattavin ja riskittömin vaihtoehto. Lisäksi sähkön myyjän on helpompi saada nykyiset asiakkaansa mukaan kysynnänjoustoon kuin ulkopuolisen aggregaattorin, jonka pitäisi aloittaa asiakkaiden hankkiminen puhtaalta pöydältä.

Pitkällä tähtäimellä myyjävetoisessa mallissa on myös paljon kehitysmahdollisuuksia. Jälleenmyyjä-aggregaattori voi laajentua tuottamaan palveluita myös muiden toimijoiden tarpeisiin. Tällöin se voisi tuottaa esimerkiksi Taulukon 1 mukaisia palveluita ja laajentaa näin liiketoimintaansa. Lisäksi kuormien ohjausmenetelmissä on paljon kehitettävää AMR-mittareiden yksinkertaiseen releohjaukseen verrattuna. Jälleenmyyjä-aggregaattori voi kehittää edistyneempiä ohjausmenetelmiä yhdessä jakeluverkkoyhtiöiden tai muiden yhtiöiden, kuten taloautomaation kehittäjien, kanssa tai alkaa asentaa asiakkailleen kokonaan uusia ohjauslaitteita. Uusien laitteiden asennus saattaa kuitenkin monimutkaistaa esimerkiksi myyjän vaihtoprosessia ja aiheuttaa lisäkustannuksia kuluttajille.

2.6.3 Jakeluverkkoyhtiövetoinen malli

Jakeluverkkoyhtiöllä on hyvät tekniset edellytykset toimia aggregaattorina, koska se usein omistaa sähkömittarit verkkoalueellaan ja on vastuussa mittauspalvelun tuottami-

sesta. Jotkut jakeluverkkoyhtiöt tosin ovat älykkäiden sähkömittareiden myötä ulkoistaneet mittauspalvelunsa. VES ja monet muut jakeluverkkoyhtiöt ovat kuitenkin päättäneet pitää mittauspalvelut osana omaa ydintoimintaansa. Jakeluverkkoyhtiöt ovat vastuussa nykyisin käytössä olevan kaksiaikatariffiin ohjauksien välittämisestä, joten tarvittava osaaminen ja laitteistot kuorman ohjauksen toteuttamiseen ovat jo ainakin osittain olemassa. Kaksiaikatariffin myötä jakeluverkkoyhtiöillä on jo valmiiksi ohjattavia kuormia, koska kaksiaikatariffin yhteydessä ohjataan usein varaavaa sähkölämmitystä.

Suurin este jakeluverkkoyhtiöiden kysynnänjoustopalveluiden kehittämiseksi tai kokonaan uusien palveluiden tuottamiselle on verkkoliiketoiminnan säännöstely. Jakeluverkkoliiketoiminta on säännösteltyä liiketoimintaa, eikä jakeluverkkoyhtiö voi sähkömarkkinain mukaan osallistua sähkömarkkinoille. Tämän takia jakeluverkkoyhtiö ei voi tämänhetkisen lainsäädännön puitteissa liittää ohjattavia resurssejaan osaksi kaupankäyntiä sähkömarkkinoilla. Myös muiden palveluiden ja tuotteiden kehittämiseksi on esteitä. Verkkoliiketoiminnan regulaattorit Suomessa ja Ruotsissa ovat linjanneet, että jakeluverkkoliiketoiminnan ulkopuolisten tuotteiden ja palveluiden tulisi olla kilpailun piirissä ja täten jonkun muun kuin jakeluverkkoyhtiön tarjonnassa. Jakeluverkkotoiminnan pitää olla neutraalia ja syrjimätöntä, koska alueellisessa monopolissa asiakas ei voi valita jakeluverkkoyhtiötään. Uusien palveluiden laajamittainen kehittäminen voisi siis saattaa eri alueiden asiakkaat eriarvoiseen asemaan. Palveluiden tuottamisesta aiheutuneet kulut voisivat jakautua myös niille asiakkaille, jotka eivät ole kiinnostuneita kyseisistä palveluista. Tässä tapauksessa syrjimättömyys ei toteutuisi. (Oksanen 2011) Tämän takia jakeluverkkoyhtiö ei voi nykyisen lainsäädännön puitteissa toimia aggregaattorina muuta kuin korkeintaan omiin tarpeisiinsa. Huippukuorman alentamiselle voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä, mutta todennäköisempää kuitenkin on, että jakeluverkkoyhtiö toimii sähkömarkkinapaikan kehittäjänä ja luo mahdollisuuksia esimerkiksi kysynnänjouston toteuttamiseen, joita muut toimijat voivat hyödyntää.

2.6.4 Ulkopuolinen aggregaattori

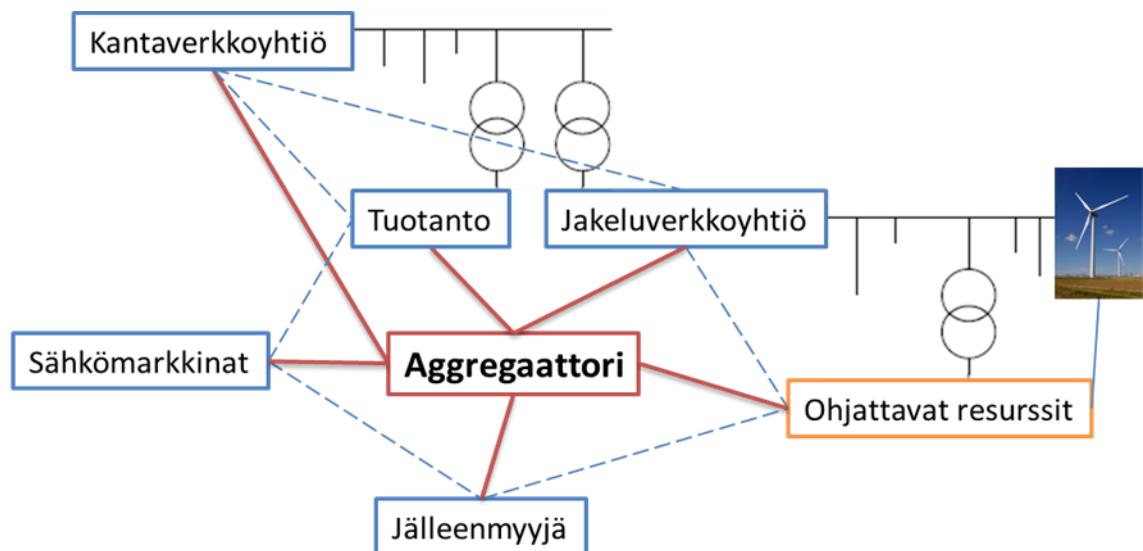
Aggregaattori voi olla myös kokonaan uusi toimija, jolla ei ole olemassa olevaa kontaktia sähkön kuluttajiin ainakaan sähkön myynnin tai jakelun kautta. Ulkopuolisen aggregaattorin ei kuitenkaan tarvitse olla täysin uusi toimija, vaan esimerkiksi nykyiset taloautomaatiojärjestelmien toimittajat tai kiinteistöyritykset voisivat laajentaa toimintaansa. Myös esimerkiksi mittauspalveluiden tai sähkömarkkinapalveluiden tuottajat voisivat olla potentiaalisia aggregaattoritoiminnan aloittajia. Ulkopuolisen aggregaattorin tapauksessa potentiaalinen asiakaskunta on laaja, koska aggregaattorin ei tarvitse rajoittaa palveluaan vain tiettyntyyppiseen palveluun tai tiettyihin asiakkaisiin. Toimintamalli mahdollistaa laajemman ohjattavien resurssien aggregoinnin, koska ohjattavien resurssien tarjoajat eivät rajoitu tietyn jakeluverkkoyhtiön alueeseen tai tietyn sähkön myyjän asiakkaisiin. Täten ulkopuolinen aggregaattori voi kerätä ohjattavia resursseja mistä vain ja kerätä suuren kysynnänjoustopotentialin.

Monipuolisten palveluiden tuottaminen vaatii luotettavaa tiedonvaihtoa eri osapuolien välillä. Uudella aggregaattorilla ei todennäköisesti ole tiedonsiirtoyhteyksiä

valmiina, joten ne voivat vaatia suuria investointeja. Aggregaattorin ja ohjattavien resurssien välillä tarvitaan monenlaista tiedonsiirtoa, kuten: (Valtonen & Honkapuro 2010; Ikäheimo et al. 2010)

- Resurssien määrä ja sijainti verkossa
- Resurssien käytettävyys (esimerkiksi vuorokaudenaika & ohjauksen toistettavuus tietyn ajanjakson sisällä)
- Hintatiedot
- Ennusteet tulevasta käytöstä
- Suora kuormien ohjaus

Aggregaattorin ja ohjattavien resurssien välisen tiedonsiirron tulee olla kaksisuuntaista. Esimerkiksi ennusteissa aggregaattori voi lähettää ohjattavalle kuormalle ehdotelman, jonka mukaan se aikoo toteuttaa ohjaukset ja vastaavasti ohjattavan kuorman omistaja, esimerkiksi pienkuluttaja, joko vahvistaa ohjaukset tai hylkää ne. Varsinkin kysynnänjouston alkuvaiheessa järjestelmän pitäisi kuitenkin yksinkertaisuuden ja helppouden vuoksi olla kuluttajan kannalta mahdollisimman automaattinen, jolloin tiedonsiirrolle kuluttajalta aggregaattorille ei voi asettaa suuria vaatimuksia. Ohjattavien resurssien lisäksi aggregaattori tarvitsee tiedonsiirtoa asiakkaiden eli aggregointipalveluiden ostajien kanssa. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi osto- ja myyntitarjoukset, tiedot tasehallintaan ja neuvottelut kanta- ja jakeluverkkoyhtiöiden palveluiden toteutettavuudesta. Kuva 13 kuvastaa ulkopuolisen aggregaattorin tiedonsiirtoa eri osapuolien välillä. (Valtonen & Honkapuro 2010)



Kuva 13: Aggregaattorin yhteydet muihin sidosryhmiin. Siniset katkoviivat kuvaavat ainakin osittain olemassa olevia yhteyksiä ja punaiset viivat aggregaattoritoiminnan edellyttämiä uusia informaatio- ja rahavirtoja. Sinisellä rajatut toimijat ovat aggregaattorin mahdollisia asiakkaita. (Ikäheimo et al. 2010)

Tarvittavat yhteydet riippuvat aggregaattorin tuottamien palveluiden laajuudesta. Kaikkia kuvan 13 yhteyksiä ei tarvita, jos aggregaattori toimii esimerkiksi ainoastaan sähkön jälleenmyyjän palvelutuottajana. Tällöin riittää, että aggregaattorin ja jälleenmyyjän

välillä on rahavirran lisäksi tiedonvaihtoa toivottavista ohjauksista ja niiden toteutettavuudesta. Aggregaattorin pääasialliseksi tehtäväksi jää toteuttaa sähkön myyjän toivomat ohjaukset tavoiteajassa. Tämä malli on tasehallinnan kannalta yksinkertainen, koska tehdyt muutokset näkyvät suoraan sähkön myyjän taseessa. Käytännössä kuorman ohjaustoimenpiteiden vaikutukset jälleenmyyjä taseeseen voivat olla vaikeasti todennettavissa. Aggregaattorin tarjoamien palveluiden laajentuessa myös tasehallinta ja korvauskäytännöt vaikeutuvat. Niiden selvittäminen ja määrittely ovat ulkopuolisen aggregaattorin toiminnan mahdollistamisen kannalta kriittistä.

Tässäkin mallissa jakeluverkkojen rajoitukset tulee ottaa huomioon, koska ne asettavat lopulliset fyysiset rajoitukset ohjauksien toteuttamiskelpoisuudelle. Siksi myös aggregaattorin ja jakeluverkkoyhtiön välillä tarvitaan tiedonvaihtoa. Halutut ohjaustoimenpiteet tulee hyväksyttäväksi jakeluverkon haltijalla ennen niiden toimeenpanoa, jotta varmistetaan, että ohjaustoimet eivät aiheuta haittaa sähkönjakelulle. Tämä aiheuttaa merkittäviä haasteita tiedonsiirtoon, koska aggregaattorilla voi olla asiakkaita lukuisien eri jakeluverkkoyhtiöiden alueilla ja lisäksi ohjauksien vaadittu aikavaste voi olla nopea. Ohjaustoimenpiteiden hyväksynnän lisäksi aggregaattorin ja jakeluverkkoyhtiön välillä voi olla myös kaupankäyntiä ohjattavista resursseista. Teoreettisesti sama koskee myös kantaverkkoyhtiötä, mutta varsinkin kysynnänjouston alkuvaiheessa ohjattavat kuormat jäävät niin pieneksi, että niistä ei välttämättä ole apua kantaverkkoyhtiölle. (Ikäheimo et al. 2010)

Sähkömarkkinoilla toimiminen asettaa aggregaattorille vaatimuksia, jotka sen tulee täyttää osallistuakseen kaupankäyntiin. Eri markkinoiden asettamia teknisiä vaatimuksia on käsitelty taulukossa 2. Näiden lisäksi eri sähkömarkkinapaikoille on taloudellisia vaatimuksia markkinoille osallistumiseksi. Nord Pool on asettanut omat vaatimuksensa Elbas- tai Elspot-markkinoilla toimimiseen. Lisäksi valtakunnallinen tasevastaava Fingrid asettaa rajoituksia tase- ja säätösähkömarkkinoilla toimimiselle. Aggregaattorin tulee täyttää nämä vaatimukset, jotta se voisi itsenäisesti käydä kauppaa ohjattavilla resursseillaan.

Tasevastaavilla on automaattisesti oikeus säätösähkömarkkinoilla toimimiseen. Muiden kapasiteetin haltijoiden pitää osallistua säätösähkömarkkinoille joko tasevastaavansa kautta tai tekemällä erillisen säätösähkömarkkinasopimuksen Fingridin kanssa. Säätösähkömarkkinasopimuksen kiinteä maksu on 1200 euroa vuodessa, kun taas tasevastaavilta ei peritä erillistä kiinteää maksua. Tasepalvelun maksut tasevastaaville koostuvat 200 euron kiinteästä kuukausimaksusta sekä tuotanto- ja kulutustaseen tasepoikkeaman volyyymimaksuista. (Fingrid Oyj 2011b) Aggregaattorille ei siis ole suuria taloudellisia esteitä osallistua tasesähkökauppaan ja säätösähkömarkkinoille. Näiden edellyttämät tekniset vaatimukset kuorman ohjauksen aikavasteelle ovat kuitenkin suuria.

Nord Poolin Elspot- ja Elbas-markkinat sopivat ohjattaville kuormille paremmin, koska vaadittu ohjauksien aikavaste on pidempi ja varsinkin Elspot-markkinoilla ei ole suuria vaatimuksia kapasiteetille. Näillekin markkinoille osallistuakseen aggregaattorin tulee suorittaa erilaisia maksuja. Osallistumismaksu Elspot- ja Elbas-markkinoille on 15 000 euroa vuodessa. Lisäksi tulee maksaa volyyymimaksua, joka on Elspot-

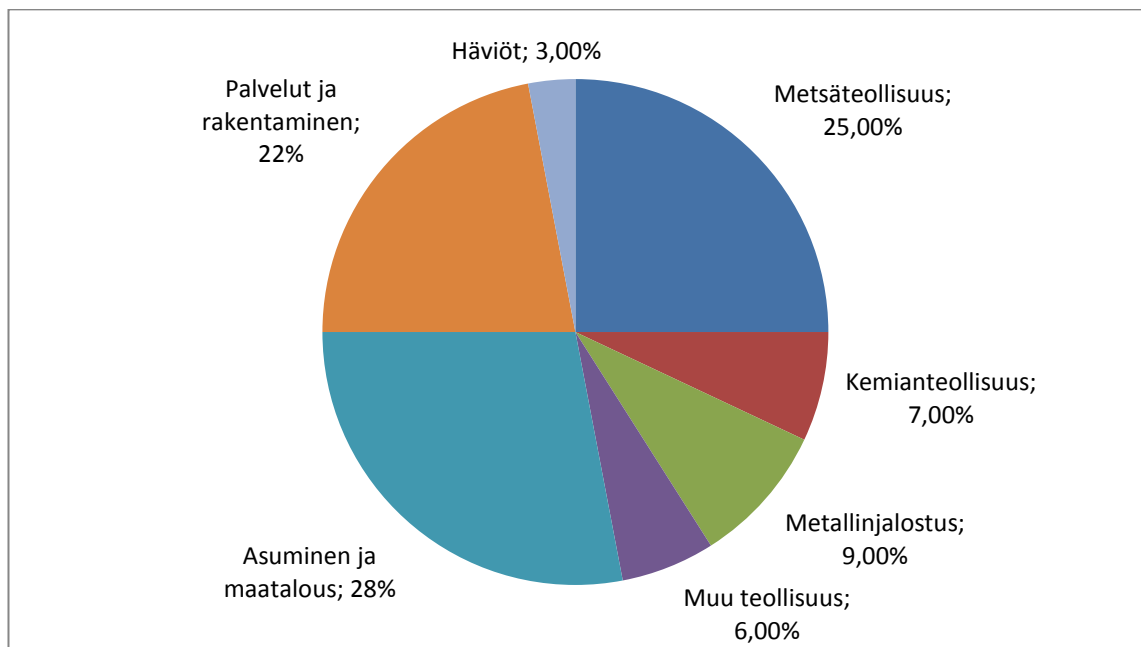
markkinoilla 0,03 €/MWh ja Elbas-markkinoilla 0,08 €/MWh. Pienet toimijat voivat välttää Elspot-markkinan korkean osallistumismaksun maksamalla korkeampaa volyymimaksua. Tällöin volyymimaksu on 0,13 €/MWh ja kalenterivuoden volyymimaksuis-
ta tulee kertyä vähintään 3000 €. (Nord Pool 2011c)

Nämä rajoitukset ovat jo nykyisin ulkopuolisen aggregaattorin mahdollisuuksien rajoissa, mutta ne vaikeuttavat liiketoiminnan aloittamista merkittävästi. Sähkön myyjän toimiessa aggregaattorina ylitetään monia esteitä ja haasteita ilman merkittäviä panostuksia ulkopuoliseen toimijaan verrattuna. Siksi myyjävetoinen malli on kysynnänjous-
ton edistämässä todennäköisin vaihtoehto ainakin alkuvaiheessa.

3 KYSYNNÄNJOUSTON POTENTIAALI

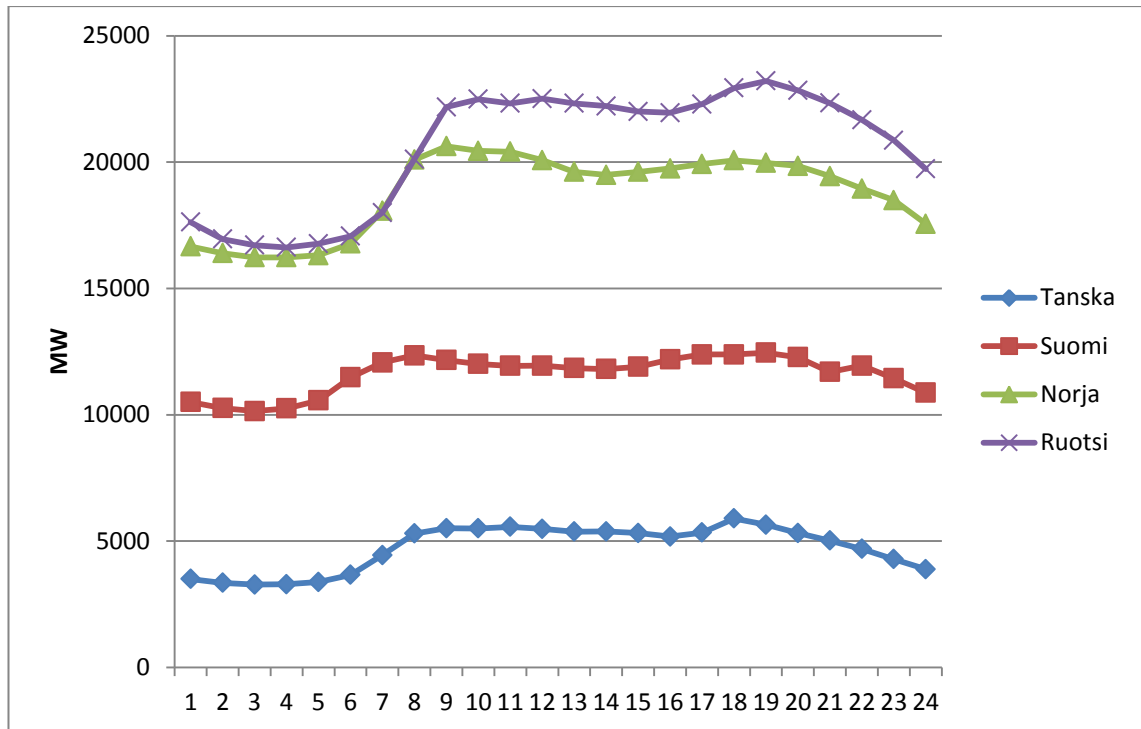
3.1 Taustaa

Suomessa kulutettiin vuonna 2010 noin 87,7 TWh sähköä. Teollisuus muodostaa sähkön kokonaiskulutuksesta noin puolet (vuonna 2010 47 %) ja toisen puolen muodostavat asuminen ja maatalous sekä palvelut ja rakentaminen (vuonna 2010 50 %). Loput 3 % muodostuvat kanta- ja jakeluverkon häviöistä. Kuva 14 näyttää eri kulutusryhmien prosenttiosuudet sähkön kokonaiskulutuksesta vuonna 2010. (Energiateollisuus 2011a)



Kuva 14: Sähkön kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2010 (Energiateollisuus 2011a)

Sähkön kulutus vaihtelee runsaasti ajankohdan mukaan, joten sähkön kulutusprofiili on epätasainen. Kulutusprofiilin muoto vaihtelee suuresti eri kulutusryhmien ja myös eri verkonosien välillä. Esimerkiksi yöajan sähkön kulutuksen ero päiväajan kulutukseen on Suomessa huomattavasti muita pohjoismaita pienempi, kuten kuva 15 osoittaa.

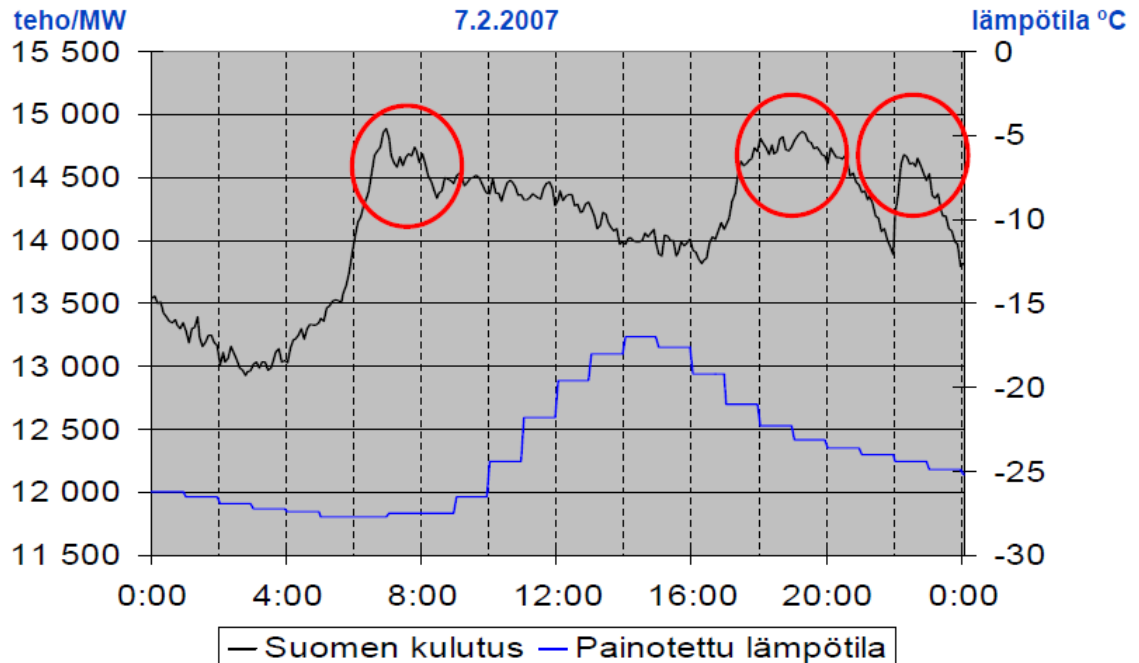


Kuva 15: Sähkön kulutusprofiilit eri maissa 19.1.2011 (ENTSO-E 2011)

Suomen muita maita tasaisempi kulutusprofiili johtuu pääosin Suomessa käytössä olevasta kaksiaikatariffista ja sen yhteydessä usein käytettävästä kuorman ohjauksesta. Kaksiaikatariffi tarjoaa kuluttajalle halvempaa sähköä yöaikaan, jolloin sähkön kulutus on tavallisesti muuten alhaisempaa. Täten kulutusta saadaan siirrettyä yöajalle, jolloin sähköverkon kuormitus tasoittuu ja yöaikaan käytettävissä oleva tuotanto saadaan hyödynnettyä paremmin. Kuluttajat eivät itse käytä sähkölaitteita yöaikaan, joten kuormituksen siirto on toteutettu ohjaamalla muun muassa varaavaa sähkölämmityskuormaa. Tällöin varaava sähkölämmitys varaa seuraavan päivän lämpöenergian tarpeen lämminvesivaraajaan yöllä, kun käytössä on halvempaa sähköä. Ohjaus tapahtuu automaattisesti, jolloin kuluttajan ei tarvitse murehtia ohjauksista tai lämmön riittävydestä. Kuluttaja hyötyy kaksiaikatariffista halvemmän yösähkön ja sähköjärjestelmä taas kuormituksen tasoittumisen ja tuotannon optimaalisemman käytön johdosta. Kaksiaikatariffi edellyttää kaksiaikaista mittausta, jotta päiväsähkön ja yösähkön käytölle saadaan omat mittauslukemat laskutuksen perustaksi. Kaksiaikainen mittari on investointina hieman kalliimpi kuin normaali yksiaikamittari. Lisäksi kuormien ohjausta varten kehitetyt järjestelmät, kuten verkkokäskyohjausjärjestelmä (VKO), vaativat merkittäviä investointeja. Kalliimmat investoinnit näkyvät kuluttajalle kaksiaikatariffin kalliimpana perusmaksuna. Kalliimman perusmaksun takia kaksiaikatariffi ei ole edullisin vaihtoehto kaikille sähkön käyttäjille, vaan se on suunnattu lähinnä sähkölämmitteisille pienkotalouksille, joiden kulutus on esimerkiksi kerrostaloasunnon kulutusta korkeampi ja joissa on helposti ohjattavaa lämmityskuormaa.

Tyypillinen talvipäivän kulutusprofiili Suomessa koostuu kolmesta kulutuspiikistä. Ensimmäinen piikki esiintyy aamulla, kun ihmiset heräävät ja lähtevät töihin. Sen jälkeen kulutus laskee päivän aikana, kunnes illalla koetaan toinen piikki, kun ihmiset

palaavat koteihinsa ja palveluiden ääreen. Kolmas piikki ei ole enää suoraan selitettävissä ihmisten käyttäytymisellä vaan se selittyy lämmityskuormien kytkeytymisellä yösähkön myötä. Yösähköaika alkaa yleensä noin kello 22. Kuva 16 kuvaa helmikuisen talvipäivän kulutusprofiilia, josta kolme kulutuspiikkiä erottuu selvästi.



Kuva 16: Sähkön kulutusprofiili Suomessa 7.2.2007. Lämpötila on painotettu alueellisella kulutuksella (Päivinen 2008).

Vaikka sähkön kulutuksen ohjaaminen yöaikaan tasoittaa koko vuorokauden sähkön kulutusta, sen aiheuttaman hetkellinen kulutuspiikki voi olla haitallinen. Esimerkiksi tammikuussa 2008 Fingrid Oyj joutui antamaan ensimmäisen portaan ilmoituksen kiristyneestä tehotilanteesta kello 22–24 väliseksi ajaksi yösähkön kytkeytymisen aiheuttaman kulutuspiikin johdosta. Kolmiportaisen tehopolamenettelyn ensimmäinen portas, kiristynyt tehotilanne, tarkoittaa, etteivät tuotanto ja tuonti näytä riittävän kulutuksen kattamiseen lähitunteina. Tasapainon säilyttämiseksi Fingrid Oyj käynnistää tällöin tehoreservit (Päivinen 2008). Vastaavien tilanteiden välttämiseksi tulevaisuudessa Fingrid on antanut suosituksen kuorman ohjauksien porrastamisesta, jotta kuormien ohjauksesta aiheutuvaa piikkiä saataisiin tasoitettua. Suosituksen vaikutukset ovat kuitenkin jääneet pieniksi kannustimien puutteen vuoksi. Vaihtuvat yösähkön kytkeytymisajat aiheuttavat myös hämmennystä kuluttajissa. (Ritnummi et al. 2008)

3.2 Kysynnänjouston nykytilanne

3.2.1 Teollisuus

Suuret ja paljon sähköä käyttävät teollisuusyritykset toimivat itse usein suoraan sähkömarkkinoilla. Ne voivat sisällyttää joustoa tarjouksiinsa siinä määrin kuin se on oman toiminnan kannalta kannattavaa ja mahdollista. Toiminnan tehostamistarpeet kiristyvän

kilpailun myötä ovat lisänneet kiinnostusta kysynnänjoustoja kohtaan ja nykyisin teollisuuden valmiustaso joustotoimenpiteisiin on kasvanut. Toisaalta kasvaneet materiaalikustannukset ovat laskeneet energian suhteellista osuutta tuotteen hinnassa. Teollisuudesta löytyy paljon yksittäisiä suuria kuormia tai pieniä, mutta ryhmässä ohjattavia kuormia, joiden ohjaaminen hetkellisesti ei välttämättä ole yrityksen toiminnan kannalta kriittistä.

Teollisuuskuormien ohjaus riippuu suuresti esimerkiksi prosessin tilasta, raaka-aine- ja välivarastojen suuruudesta sekä sen hetkisestä kuormitustilanteesta. Esimerkiksi metalliteollisuudessa on usein jatkuvia prosesseja, kuten valut, joiden keskeyttäminen ei ole mahdollista edes muutamaksi tunniksi. Monet prosessit ovat myös työläitä ja aikaa vieviä käynnistää ja käynnistys voi johtaa ongelmatilanteisiin. Korkean tilauskannan aikaan toimitusaikataulut ovat usein tiukkoja. Sähkön kulutuksen rajoittaminen ei tällöin ole aina taloudellisesti kannattavaa, jos vaarana on, että se viivästyttää tilauksia. Toisaalta joissakin prosesseissa muutaman tunnin sähkön käytön rajoitus ei vaikuta toimitusaikoihin ollenkaan. Tällaisia ovat esimerkiksi kylmävarastojen jäädytys pakkasella tai prosessit, joissa käytetään suuria välivarastoja. Vähemmän sähköä kuluttavan teollisuuden kysynnänjousto on merkittävästi pienempää, koska sähkön käytön kustannukset ovat kokonaisuuden kannalta pienemmät eivätkä muut kuin energiaintensiiviset teollisuusyritykset toimi itsenäisesti sähkömarkkinoilla vaan ostavat nämä palvelut palveluyrityksiltä. Näillä palveluyrityksillä olisi merkittävä potentiaali lisätä kysynnänjoustoja, mutta toistaiseksi sitä on heikosti hyödynnetty.

VTT on tehnyt kysynnänjousto-foorumien aloitteesta teollisuuden kysyntäjoustopotentiaalikartoituksen Suomessa vuonna 2005 (Pihala et al. 2005). Kartoituksessa selvitettiin teollisuuden teknistä kysynnänjoustopotentiaalia kirjallisen kyselyn ja haastattelujen perusteella, jotka kohdistuivat energiaintensiivisiin teollisuusyrityksiin. Teknisellä potentiaalilla tarkoitetaan sellaisia kuormia, jotka voidaan tarjota lyhytaikaista (1–24h) joustoja varten sähkömarkkinoille. Selvityksessä oli mukana massa- ja paperiteollisuus, metallin jalostus ja peruskemikaalien valmistus. Lisäksi tutkimuksessa kartoitettiin elintarviketeollisuuden sekä lasin, sementin ja koneiden valmistuksen joustopotentiaalia, mutta merkittävää potentiaalia löydettiin vain sementin, kalkin ja kipsin valmistuksesta. Taulukko 3 erittelee tutkimuksen tuloksena saadut eri toimialojen kysynnänjoustopotentiaalit.

Taulukko 3: Teollisuuden tekninen kysynnänjoustopotentiali Suomessa vuonna 2005 (Pihala et al. 2005).

	massa- ja paperiteollisuus	metallinjalostus	peruskemikaalien valmistus	muu teollisuus	yhteensä
joustavien kuormien huipputeho	790 MW	410 MW	359 MW	10 MW	1569 MW
häiriöreserviin varattu teho**	326 MW*	75 MW	-	-	401 MW*
maksimi sähkömarkkinoille tarjottavissa oleva teho	464 MW	258 MW	161 MW	6 MW	889 MW
joustamaton pohjateho	-	77 MW	198 MW	4 MW	279 MW

*arvot perustuvat 7000 h vuosikäytettävyyteen

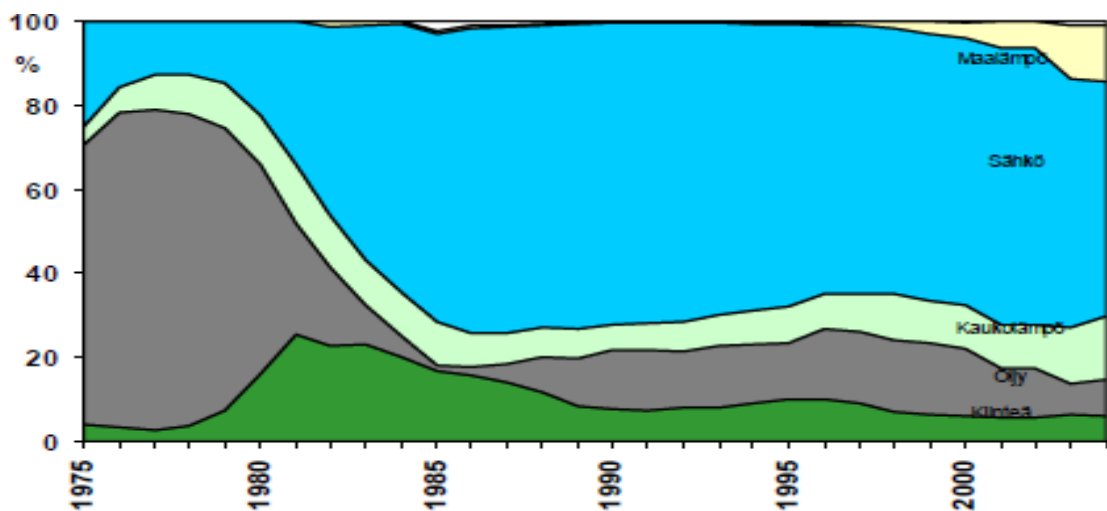
**ennen Olkiluoto 3:n häiriöreservejä

Tutkimuksessa saatiin Suomen teollisuuden kysynnänjoustopotentialiksi 1569 MW, josta vuoden 2005 tilanteessa 401 MW oli jo varattu häiriöreserviksi. Prosessiteollisuuden kysynnänjoustopotentiali lyhyellä varoitusajalla on tutkimuksen mukaan 1060 MW. Pidentämällä varoitusaikaa 2–24 tuntiin potentiali kasvaa vielä 220 MW eli on yhteensä 1280 MW. Lisäksi selvitettiin, että 1–3 h jousto voidaan toistaa 1–8 h kuluessa, kun taas 3–6 h jousto vaatii pidemmän 12–24 h palautumisen. Häiriöreservi vaatimukset ovat muuttuneet vuoden 2005 jälkeen merkittävästi Olkiluodon kolmannen ydinvoimayksikön myötä, koska suuret yksittäiset tuotantoyksiköt vaativat suuren häiriöreservin. Lisäksi esimerkiksi massa- ja paperiteollisuuden kysynnänjoustopotentiali on paperitehtaiden alasajojen myötä pienentynyt, joten nykytilanne kysyntäjoustopotentialin suhteen voi olla merkittävästi erilainen. (Pihala et al. 2005)

3.2.2 Pienkuluttajat

Pienkuluttajien kysynnänjousto rajoittuu lähinnä Suomessa käytössä olevaan kaksiaikatariffiin. Kaksiaikatariffin vaikutukset tasaavat sähköjärjestelmän kuormitusta ja siirtävät kulutusta usein halvemmalle ajalle, mutta ohjaus ei riipu sähkön hinnasta. Viime aikoina kaksiaikatariffin kilpailukyky yleistariffia vastaan on heikentynyt päivä- ja yö-sähkön hintaeron kaventuessa. Kaksiaikatariffin käytölle ei ole enää olemassa kunnollisia kannustimia. Kaksiaikahinnoittelun rinnalle on tulossa myös sähkön markkinahintaan perustuvia tuotteita. Niitä on toistaiseksi tarjolla vain muutamilla sähkön myyjillä eivätkä ne silloinkaan aina perustu tuntihintaan vaan kuukauden keskimarkkinahintaan. Markkinahintaan perustuvat tuotteet edellyttävät tuntimittausta, jotta niillä voisi olla kysynnänjoustoa edistävä vaikutus.

Suomessa on noin 3 miljoonaa kotitaloutta, joista noin 650 000 lämmitetään sähköllä. Tämän lisäksi Suomessa on satoja tuhansia vapaa-ajan asuntoja, joista suuri osa on lämmitetty sähköllä. Sähkölämmitys muodostaa noin 10 % sähköenergian kokonaiskulutuksesta Suomessa ja sen osuus huipputehosta on vieläkin merkittävämpi, jopa noin 30 % kylminä talvipäivinä. Sähkölämmityksen suosio lämmitysmuotona perustuu lähinnä sen yksinkertaisuuteen ja edulliseen investointikustannukseen. Sähkölämmityksen suosion kasvu on nykyisin hidastunut 80-luvun kasvuun verrattuna, mutta se muodostaa silti erittäin merkittävän osan kotitalouksien lämmityksestä. Uudet matalaenergiatalot käyttävät usein sähkölämmitystä, koska vähäisen kulutuksen takia investointikustannuksiltaan kalliit lämmitysjärjestelmät, kuten maalämpö tai kaukolämpö, eivät ole kannattavia. Sähkölämmitystä on lisäksi helppo säätää ja käyttää yhdessä muiden lämmitysmuotojen kanssa. Öljylämmityksen ennustetaan vähenevän tulevaisuudessa edelleen, kun taas maalämmön kasvu näyttäisi pysähtyneen ainakin väliaikaisesti 16 prosenttiin. Sähkölämmitystä siis todennäköisesti hyödynnetään laajasti myös tulevaisuudessa. Toisaalta kallistunut sähkön hinta on vähentänyt sähkölämmityksen suosiota ainoana lämmitysmuotona ja muun muassa maalämmön ja kaukolämmön suosio on hiljalleen kasvanut. Kuva 17 esittää uusien omakotitalojen lämmönlähdevalinnat pääasiallisen polttoaineen mukaan. (Sävel-työryhmä 2005)



Kuva 17: Uusien omakotitalojen lämmönlähdevalinnat pääasiallisen polttoaineen mukaan (Sävel-työryhmä 2005)

Sähkölämmityksen ohjauspotentiaalin on arvioitu lähteestä riippuen olevan noin 1-4 kW/sähkölämmittäjä, jolloin valtakunnallinen maksimipotentiaali on noin 600–2400 MW olettaen, että sähkölämmitystalouksia on 600 000 ja kaikki ovat ohjauksen piirissä. Segerstam et al. (2007) raportissa on arvioitu pienkuluttajien sähkölämmityksen kysynnänjoustopotentiaalia Suomessa olettaen, että sähkölämmityksen ohjauspotentiaali kylmänä aikana on 3,5kW/sähkölämmittäjä ja että sähkölämmittäjiä on 630 000 kpl. Lisäksi tutkimuksessa on arvioitu, että tasan puolella sähkölämmittäjistä on varaava sähkölämmitys. Näillä oletuksilla varaavan sähkölämmityksen kysynnänjouston maksimipotentiaaliksi Suomessa saadaan:

$$3,5 \frac{kW}{as} \times \frac{630\,000\ as}{2} = 1102500kW \approx 1100\ MW.$$

VTT:n kokeen mukaan rivitalo-ohuoneistossa oli siirrettävää sähkölämmityskuormaa noin 4 kW aamuyön hintahuipun aikaan sekä 1-2 kW iltahuipun aikaan talvella (Koponen et al. 2006). Tutkimuksessa arvioitiin, että valtakunnallinen ohjausvaikutus olisi tällöin noin 800 MW yöllä ja noin 200–400 MW iltahuipun aikaan, kun hintaohjauksessa olisi 200 000 asiakasta. Arviot olettavat, että hintaohjaukset toimivat kaikissa kohteissa ideaalisesti. Todellisuudessa osa ohjauksista ei välttämättä välity perille asti ajoissa tai kulluttaja päättää itse toimia ohjauksen vastaisesti. Arvioihin sisältyy paljon oletuksia eikä niitä voida pitää kuin korkeintaan suuntaa antavina, mutta nykyisin yösähkön kytkeytymisestä aiheutuva, parhaimmillaan jopa yli 1000 MW piikki, tukee arvioiden tuloksia ja sitä, että sähkölämmityksen ohjauspotentiaali on merkittävä. Sähkön kysyntäjoustopotentiaali ja tavoitteita sähkömarkkinoilla selvittäneen työryhmän vuonna 2008 tekemän mietinnön perusteella sähkölämmityksen kysynnänjoustopotentiaali Suomessa olisi noin 300 MW (Rittonummi et al. 2008). Arviota tukee Fingid Oyj:n arvio, jonka mukaan Suomen kulutushuippu nousisi noin 300 MW, jos kaksiaikatariffista luovuttaisiin. Sähkölämmityksen kysynnänjoustopotentiaalia on haastavaa arvioida, koska se riippuu monista muuttujista, kuten joustopotentiaalin ajankohdasta ja ulkolämpötilasta. Yhteenvetona näiden suuripiirteisten arvioiden perusteella voidaan kuitenkin todeta, että Suomessa on varsinkin talviaikaan merkittävää sähkölämmityksen kysynnänjoustopotentiaalia, jota ei vielä nykyisellään hyödynnetä laajasti.

Lämmityksen tarve on voimakkaasti lämpötilariippuvaista ja siksi kysynnänjoustopotentiaalikin vaihtelee ulkolämpötilan mukaan. Tavanomainen lämpötilariippuvuus Suomessa on noin 80 MW/lämpöaste. Yli -20 asteen pakkasilla riippuvuus on vieläkin suurempi muun muassa autojen lämmityksen ja muiden lisälämmittimien johdosta. Kovilla pakkasilla sähkön kulutuksen lämpötilariippuvuus on suurimmillaan 120–130 MW/aste. Pohjoismaisella tasolla sähkön kulutuksen lämpötilariippuvuus vaihtelee suuresti muun muassa erilaisista lämmitystavoista johtuen, mutta yleisesti sen oletetaan olevan minimissään noin 600 MW/aste. (Segerstam et al. 2007)

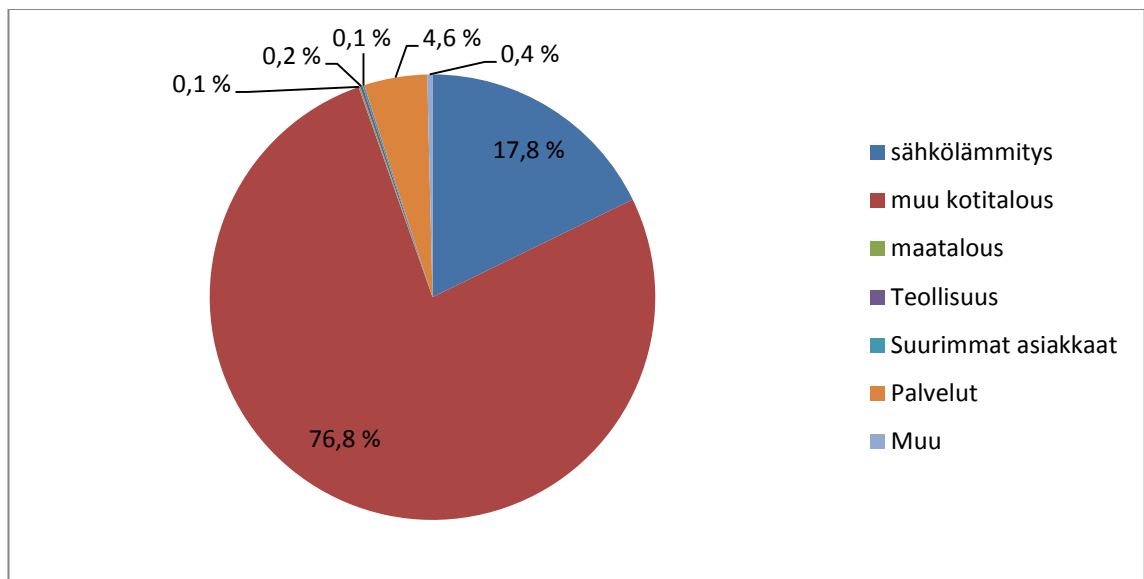
3.3 Sähkölämmityksen potentiaali Vantaalla

3.3.1 Taustaa

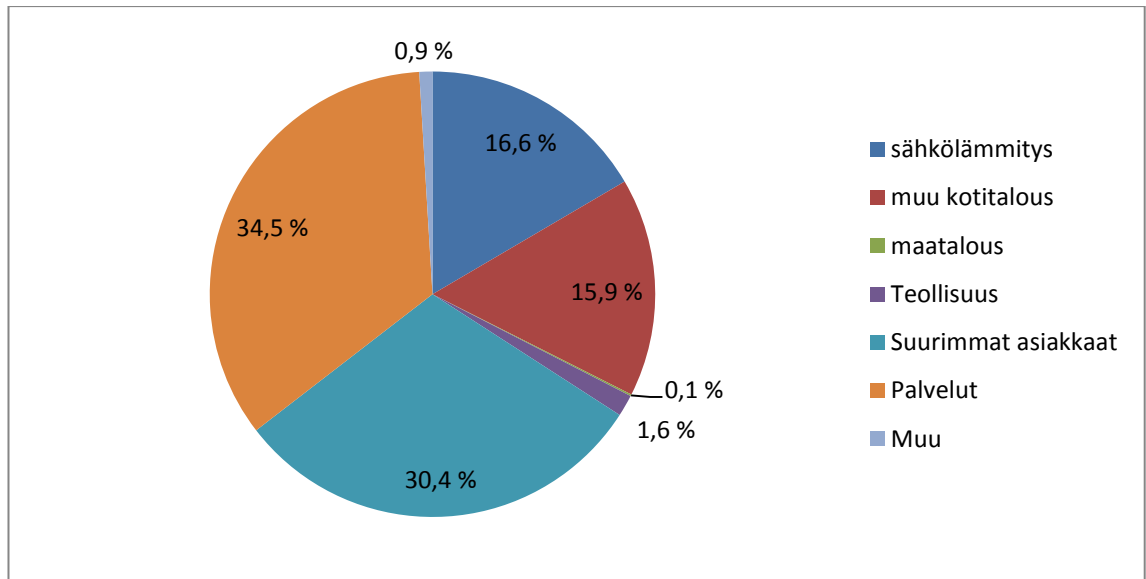
Suomen Sähkölaitosyhdistys r.y. (SLY) (1992) on tehnyt sähkön käytön kuormitustutkimuksen, jonka tuloksena luotiin kuormitusmallit erilaisille sähkön kuluttajille. Tutkimuksessa sähkön kuluttajat jaettiin käyttäjäryhmiin, joiden sähkön kulutus voidaan riittäväällä todennäköisyydellä olettaa samanlaisiksi. Tyyppikäyttäjiä on määritelty 46 kappaletta, joista jokaiselle on määritelty kuormitusmalli. Kuormitusmallit kuvaavat sähkön käytön ajallista ja määrällistä vaihtelua ja niiden avulla voidaan määrittää yksittäisen sähkön käyttäjän tuntikohtainen tehontarve (Partanen et al. 2011). Kuormitustiedot esi-

tetään indeksisarjoina, joissa vuosi on jaettu 26 kaksiviikkojaksoon. Jokaiselle kaksiviikkojaksolle on olemassa oma ulko- ja sisäindeksi. Ulkoindeksi kuvaa sähkön käytön vuodenaikavaihtelua ja sisäindeksi vuorokauden tuntivaihteluita. Tuntivaihtelu kuvataan erikseen arki-, aatto- ja pyhäpäiville. Lisäksi indeksisarjalle ilmoitetaan keskihajonnat. (SLY 1992)

Myös VES:n asiakkaiden jako käyttäjäryhmiin perustuu SLY:n jakoon, tosin sähkön kulutukseltaan suurimpien asiakkaiden osalta käytetään todellisten mittauksien pohjalta luotuja indeksisarjoja. Todellisiin kulutusmittauksiin pohjautuvilla indeksisarjoilla kuvataan tällä hetkellä noin 120 suurimman asiakkaan kulutusta, jotka ovat pääasiassa suuria teollisuusyrityksiä. Teollisuus ja palvelut muodostavat valtaosan sähkön kulutuksesta Vantaalla, vaikka niitä on lukumäärältään huomattavasti kotitalouksia vähemmän. Kotitalouksista lähes 80 % lämmitetään jollakin muulla lämmitystavalla kuin sähkölämmityksellä, mutta silti sähkölämmitystaloudet muodostavat hieman yli puolet kotitalouksien sähkön kulutuksesta. Kuvat 18 ja 19 näyttävät VES:n asiakasrakenteen sekä kappalemäärän että sähköenergian kulutuksen mukaan jaoteltuina. Tiedot perustuvat verkkotietojärjestelmän asiakastietoihin.

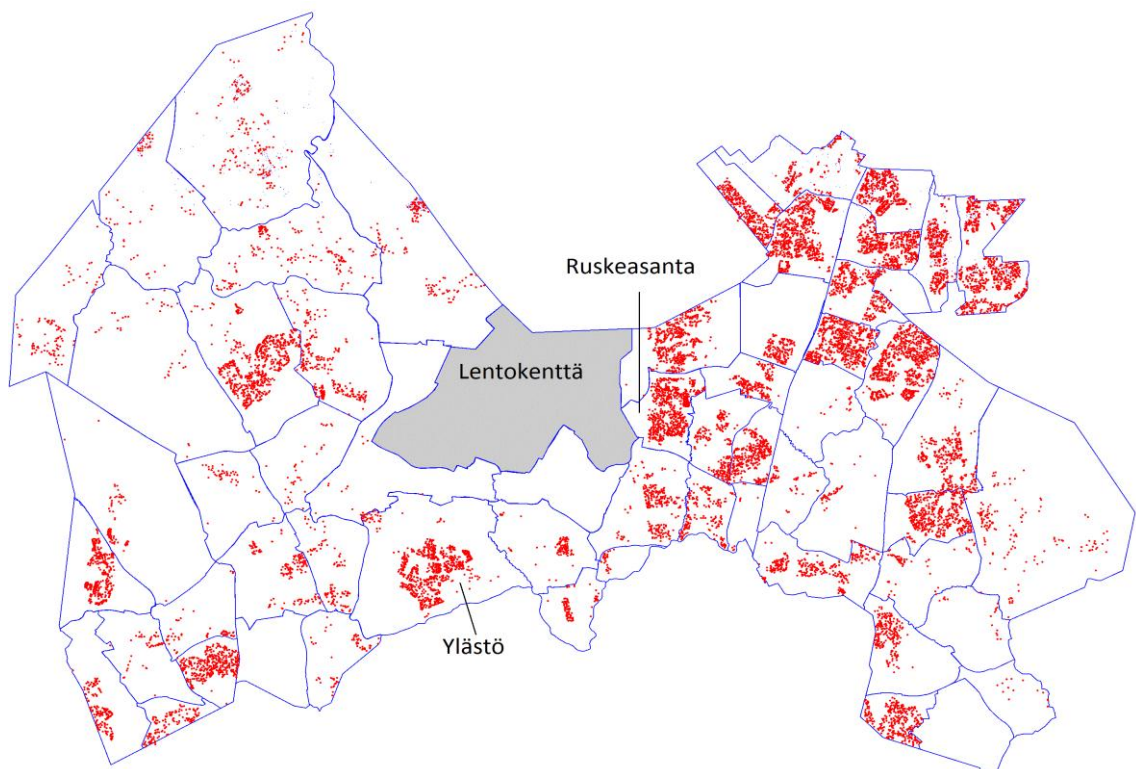


Kuva 18: VES asiakasrakenteen kappalemäärien mukaan jaoteltuna.



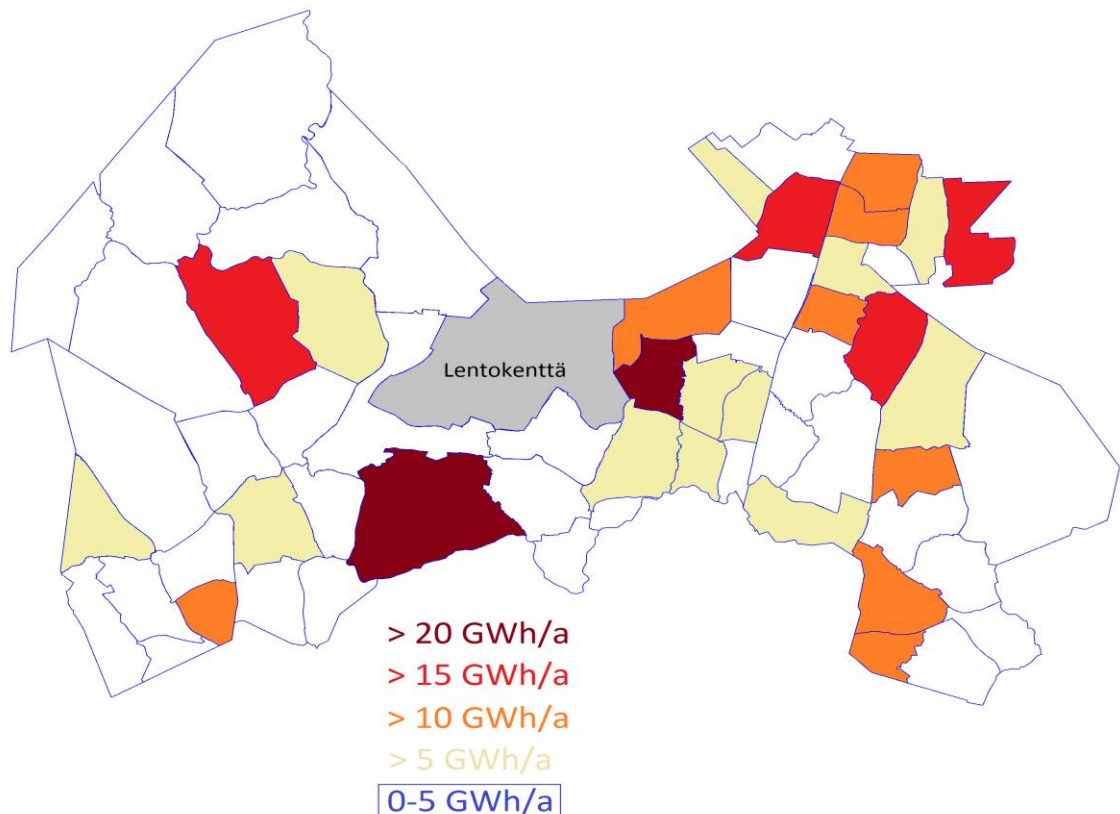
Kuva 19: VES asiakasrakenne kulutuksen mukaan jaoteltuna.

Sähkölämmitys on edelleen suosittu lämmitysmuoto Vantaalla, tosin sen suosio vaihtelee suuresti alueittain esimerkiksi kaukolämmön saatavuuden mukaan. Vuonna 2010 sähkölämmittetyt kohteet muodostivat yli 20 % osuuden sähköenergian kokonaiskulutuksesta pienjännitekohteissa. Kuva 20 havainnollistaa sähkölämmityskohteiden sijainnin Vantaan alueella. Punaiset pisteet ovat sähkölämmityskohteita, siniset viivat rajaavat eri kaupunginosat. Kartan keskellä oleva harmaa alue kuvaa Helsinki-Vantaan lentokentän aluetta, jonka sähkön- ja lämmönjakelusta vastaa Vantaan Aviaenergia Oy.



Kuva 20: Sähkölämmitystaloudet kaupunginosittain Vantaalla. Harmaa lentokentän alue kartan keskiosassa on Vantaan Aviaenergian verkkoaluetta.

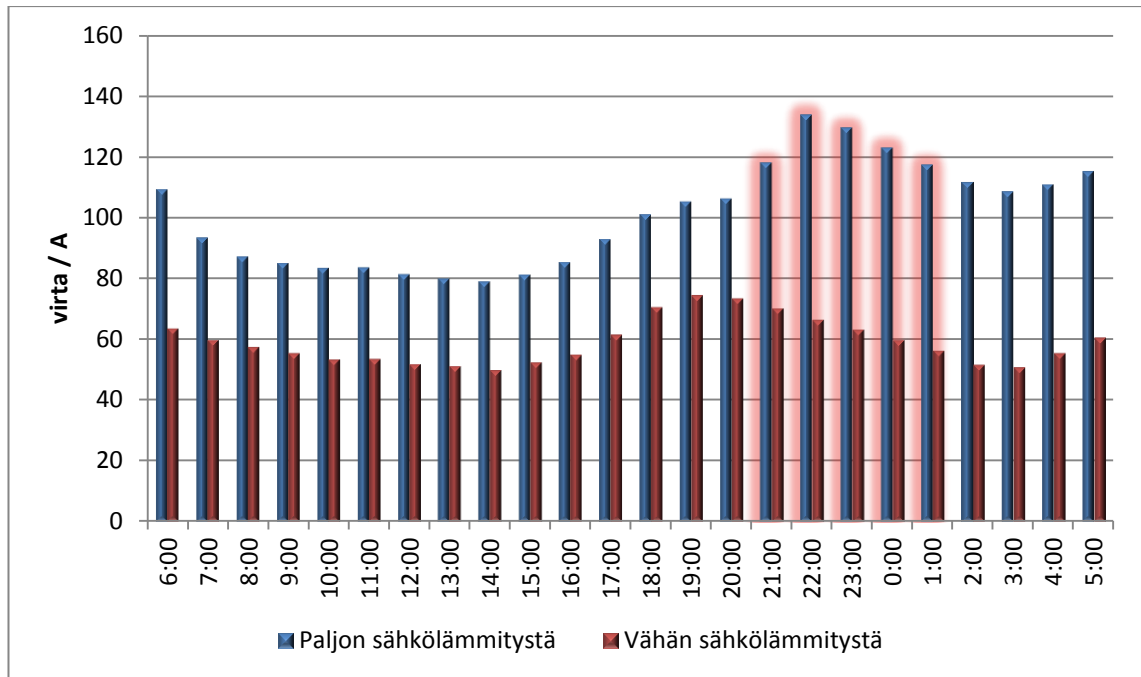
Kuva 21 taas esittää sähkölämmityskohteiden sähköenergian vuosikulutusta alueittain.



Kuva 21: Sähköenergian kulutus sähkölämmityskohteissa kaupunginosittain vuonna 2010. Kulutukset perustuvat verkkotietojärjestelmän kulutustietoihin.

Sähkölämmitystä on paljon varsinkin pientaloalueilla, jotka sijaitsevat kauko-
lämpöverkon ulkopuolella. Tällaisia alueita ovat muun muassa kuvaan 20 merkityt
Ylästö ja Ruskeasanta. Molempien kaupunginosien rakennuskanta muodostuu pääasias-
sa sähkölämmitteisistä pienkotitaloista, jotka ovat nykyisin kaksiaikaohjauksen piirissä.
Esimerkiksi Ruskeasannassa sähkölämmitteiset pientalot muodostivat arviolta lähes 80
% koko alueen sähköenergian kokonaiskulutuksesta vuonna 2010. Tällaisilla alueilla on
merkittävä kuorman ohjauspotentiali nyt ja tulevaisuudessa.

Kaksiaikatariffin yhteydessä hyödynnettävä kuorman ohjaus ohjaa sähkömittarin
releeseen kytkettyjä kuormia, kuten käyttövesivaraajaa ja sähkölämmitystä. VES:n alu-
eella kuormat ohjataan päälle porrastetusti ma-la kello 21.00-23.15 ja pois päältä ma-la
kello 7.00. Porrastuksella pyritään vähentämään kuormien kytkeytymisestä aiheutuvia
kulutushuippuja. Kuorman ohjauksista aiheutuva kulutuksen kasvu on kuitenkin varsin-
kin talviaikaan selvästi havaittavissa sähköasemälähdöillä, joilla on paljon sähkölämmi-
tyskohteita. Kuva 22 vertaa kahta eri 20 kV johtolähtöä Rekolan sähköasemalta.



Kuva 22: Rekolan sähköaseman kahden 20 kV johtolähdön vertailu helmikuulta 2011.

Siniset palkit kuvaavat lähtöä, jonka kuormista yli 80 % on sähkölämmityskohteita ja punaiset palkit lähtöä, jolla vain noin 30 % kulutuksesta on sähkölämmityskohteista. Ero on selvästi havaittavissa kello 21 jälkeen, jolloin sinisillä palkeilla kuvatun lähdön kuormitus nousee selkeästi kuorman ohjauksien seurauksena, kun taas punaisilla palkeilla kuvatun lähdön kuormitus putoaa tasaisesti.

3.3.2 Kuormitusmalli sähkölämmitykselle

Sähköenergian kulutuksen seuraaminen tarkentuu AMR-mittareiden mahdollistaman tuntiluennan myötä merkittävästi, kun yhden lukeman sijasta käyttöpaikalta saadaan 8760 lukemaa vuodessa, yksi vuoden jokaiselta tunnilta. Lisääntyneestä mittaustiedosta huolimatta kulutuksen jakaminen laitetasolle on edelleen haastavaa, koska sähkömittari mittaa vain käyttöpaikan kokonaiskulutusta, joka koostuu kaikkien sähkölaitteiden yhteenlasketusta kulutuksesta. Tällöin sähkölämmityksen, lämpimän käyttöveden lämmityksen tai yksittäisten sähkölaitteiden kulutukset sekoittuvat massaan ja niitä on vaikeaa erottaa muusta kulutuksesta. Useilla muilla lämmitystavoilla ei ole vastaavaa ongelmaa, koska niitä mitataan usein omalla mittarillaan, jolloin mittarilukema näyttää suoraan lämmitykseen käytetyn energian. Esimerkiksi Vantaalla saadaan useimmista kaukolämpökohteista tuntimittausta etäluentana, jolloin lämmitysenergian käyttö on helposti todennettävissä.

Sähkölämmitys ja lämpimän käyttöveden lämmitys muodostavat merkittävän osan kotitalouden sähköenergian kokonaiskulutuksesta. Selkeyden vuoksi tässä kappaleessa sähkölämmityksellä tarkoitetaan sekä huoneiston että käyttöveden lämmittämistä sähköllä. Sähkölämmityksen kysynnänjoustopotentialin selvittämiseksi sähkölämmityksen kuluttama sähköenergia täytyy erottaa muusta sähköenergian kulutuksesta. Ny-

kyiset sähkömittarit pystyvät mittamaan vain yhtä tai kahta (kaksiaikatariffi) kulutuslukemaa eikä sähkölämmitystä yleisesti mitata erikseen. Sähkölämmityksen sähköenergian kulutuksen mittaaminen olisi mahdollista kytkentöjä muuttamalla ja uudella sähkömittarilla, mutta tämä ei ole taloudellisesti kannattavaa eikä sähkölämmityksen erilliselle mittaukselle ole toistaiseksi ollut tarvetta.

Tässä työssä sähkölämmityksen potentiaalia lähdettiin selvittämään erilaisten kotitalouskohteiden tuntimittaustietojen vertailun avulla. Sähkölämmityksen kuluttama sähköenergia pyrittiin erottamaan muusta kulutuksesta vertailemalla useiden sähkölämmitettyjen ja muilla tavoin lämmitettyjen omakoti- ja paritalojen tuntimittaussarjoja. Kirjoitushetkellä vain murto-osa VES:n alueen AMR-mittareista oli siirretty tuntiluentaan, joten vertailukohteiden määrä oli rajallinen. Tutkimukseen löytyi kuitenkin riittävä määrä eri lämmitystavoilla toteutettuja samantapaisia kohteita, joiden kulutusta pystyttiin vertailemaan. Kohteet valittiin VES:n käytössä olevien verkkotietojärjestelmän, mittaustiedonhallintajärjestelmän sekä Helsingin Seudun Ympäristöpalveluiden (HSY) SeutuCD:n tietojen perusteella. Verkkotietojärjestelmästä saatiin käyttöpaikkojen perustiedot sekä sijainnit VES:n alueella ja mittaustiedonhallintajärjestelmästä tuntisarjat valituilta kohteilta. Nämä tiedot yhdistettiin seutuCD:n rakennuskantatietoihin, jolloin saatiin sähköenergian kulutusvertailuun tarvittavat tiedot, kuten käyttöpaikan sijainti ja vuosikulutusarvio, tuntimittaustiedot, lämmitysmuoto sekä kiinteistön pinta-ala ja rakennusvuosi. Kiinteistön tilavuus olisi ollut pinta-alaa parempi suure kiinteistön lämmitysenergian tarvetta selvitettyä, mutta seutuCD:n tiedot olivat tilavuuksien osalta niin puutteelliset, ettei niitä voitu pitää luotettavina. Tämän takia vertailussa päädyttiin käyttämään kiinteistöjen pinta-aloja, jotka osoittautuivat kuvastavan lämmitysenergian tarvetta riittävän hyvin. Vertailun ajanjaksoksi valittiin 1.9.2011 - 7.12.2011, koska tältä aikaväliltä oli saatavilla riittävän kattavasti tuntimittaustietoja. Pidempi tarkasteluajaväli olisi mahdollistanut sähkölämmitysenergian kulutuksen ulkolämpötilariippuvuuden tarkemman analysoinnin sekä parantanut vertailun tarkkuutta, mutta tähän ei ollut mahdollisuuksia. Tutkimuksen tarkentaminen on mahdollista myöhemmin, kun loputkin kohteet siirtyvät tuntimittaukseen. Tuolloin vertailuun voidaan valita enemmän kohteita ja tutkia pidempää aikaväliä.

Sähkölämmityskohteet

Sekä verkkotietojärjestelmästä että seutuCD:n rakennustietokannasta löytyvät tiedot kiinteistöjen lämmitystavoista. Tietojen välillä havaittiin kuitenkin useita ristiriitoja eikä niitä täten voitu pitää täysin luotettavina. Lisäksi sähkölämmityksen tyyppiä ei ole tiedoissa eritelty riittävällä tarkkuudella, jolloin esimerkiksi varaavan sähkölämmityksen erottaminen suorasta sähkölämmityksestä ei ollut näiden tietojen pohjalta suoraan mahdollista. Epävarmuustekijöiden johdosta tuntimittaustietoja kerättiin lukuisista erilaisista sähkölämmitteisiksi merkityistä kotitalouskohteista. Lopullinen valinta tehtiin tuntimittaustietojen perusteella piirrettyjen kuormitusprofiilien perusteella. Sähkölämmitettyjen ja varsinkin varaavalla sähkölämmityksellä varustettujen kotitalouksien kulutusprofiilit

eroavat merkittävästi muilla lämmitysmuodoilla varustetuista kotitalouksista, jolloin lämmitystavan päättely on mahdollista pelkän tuntisarjan perusteella. Kohteiden erotte-
lun jälkeen vertailusta poistettiin vielä sähköenergian kulutukseltaan selvästi muista
kohteista poikkeavat kohteet. Lopuksi kohteiden kulutukset skaalattiin seutuCD:n ra-
kennustietokannan kiinteistötietojen pohjalta, jolloin saatiin minimoitua rakennuksen
koosta johtuvat erot kulutuksessa ja jaettua kulutus neliötä kohden.

Kohteiden valinnan ja tuntimittausdatan käsittelyn jälkeen kaikista tarkasteluai-
kavälin tunneista laskettiin keskiarvot, jolloin saatiin sähkölämmitetyn kotitalouden
keskimääräinen sähköenergian kulutus asuineliötä kohden jokaiselle tarkasteluvälin
tunnille. Vertailuun valitut kohteet ovat yhtä paritaloa lukuun ottamatta 130 m²-175m²
omakotitaloja 60-, 70-, 80- ja 90-luvuilta.

Tuloksien oikeellisuuden varmistamiseksi niitä verrattiin vielä Suomen Sähkö-
laitosyhdistyksen (1992) kuormitustutkimuksen tuloksiin. Käyttäjärühmän vertailuarvot
laskettiin SLY:n indeksisarjoista kaavalla (Tekla Corporation, 2010)

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8736} \cdot \frac{Q_{ri}}{100} \cdot \frac{q_{ri}}{100}$$

, missä

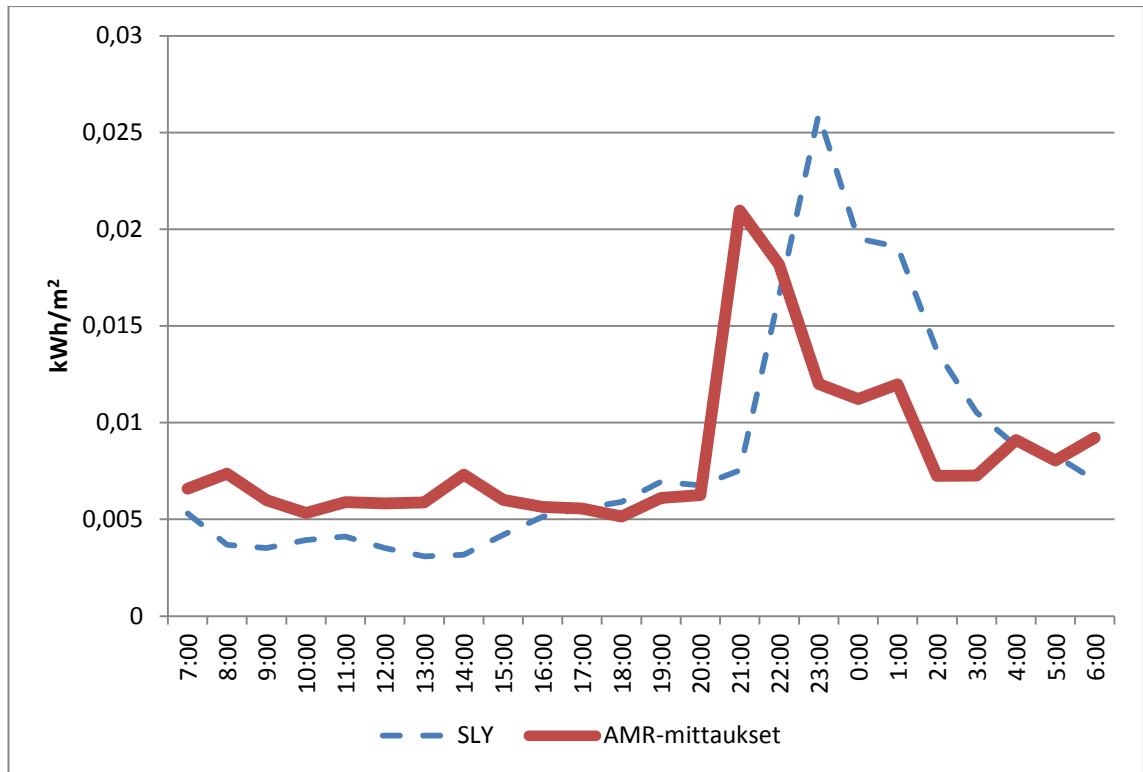
P_{ri} = käyttäjärühmän r ajankohdan i tuntikeskiteho

E_r = käyttäjärühmän r vuosienergia

Q_{ri} = käyttäjärühmän r ajankohtaa i vastaava ulkoinen indeksi

q_{ri} = käyttäjärühmän r ajankohtaa i vastaava sisäinen indeksi

Näin saadut arvot jaettiin lisäksi AMR-mittauksien tapaan pinta-alaa kohden, jolloin
arvoista saatiin vertailukelpoisia. SLY:n käyrien skaalaamisessa käytettiin pinta-alana
kuormitustutkimuksen kaikkien kohteiden keskipinta-alaa (123 m²), koska tarkempaa
tietoa mittauskohteiden pinta-aloista ei ollut saatavilla ja vuosienergiana kohteiden kes-
kimääräistä vuosienergiaa (20 MWh). Kuva 23 esittää vertailuun valittujen sähkölämmi-
tyskotitalouksien sekä SLY:n kuormitustutkimuksen indeksisarjasta lasketun kuormi-
tusprofiilin ajalta 1.9.2011 klo 7:00 – 2.9.2011 klo 7:00.



Kuva 23: Sähkölämmityskohteiden kuormitusprofiili 1.9.2011 7:00 – 2.9.2011 7:00.

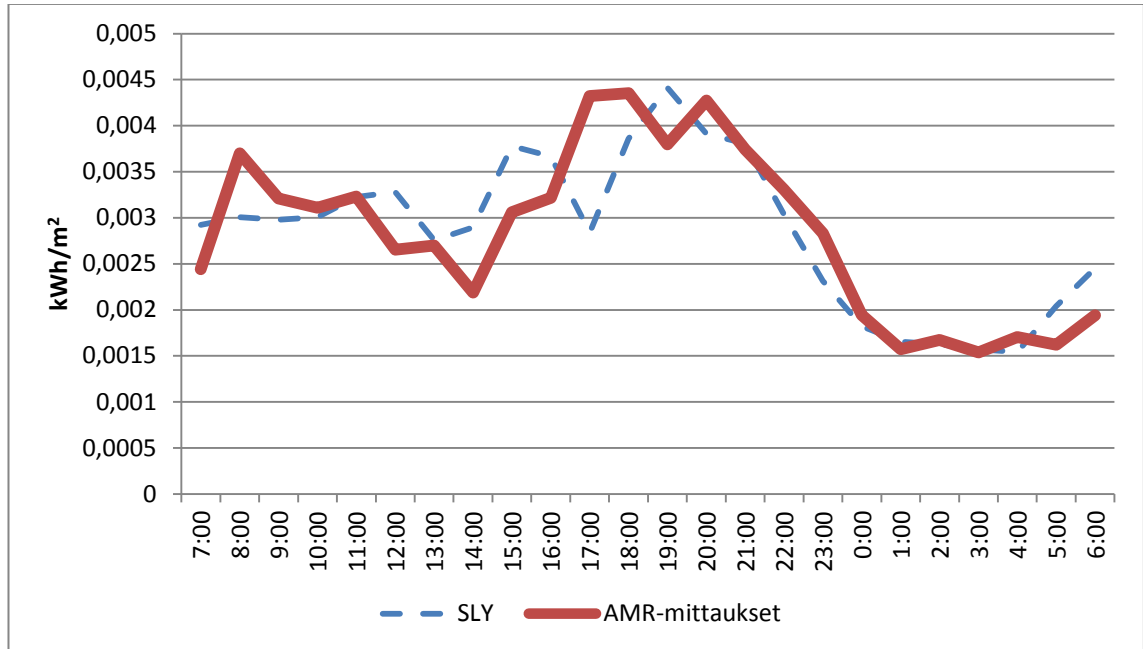
Kuva 23 osoittaa, että vertailuun valitut sähkölämmityskohteet mukailevat SLY:n mittauksia hyvin, ja valintaa voidaan täten pitää onnistuneena. Ero sähkölämmityskuormasta johtuvan piikin ajankohdassa johtuu kuorman ohjauksen logiikasta, joka oli mittaushetkellä VES:n alueella ohjelmoitu aloittamaan kuorman ohjaukset jo klo 21:00, kun ne valtakunnallisesti alkavat vasta klo 22:00. Ero piikin suuruudessa taas selittyy ulkolämpötilalla, joka oli syyskuussa 2011 selvästi keskimääräistä korkeampi Suomessa. Ilmatieteenlaitoksen mittausten mukaan syyskuun keskilämpötila vuonna 2011 oli Helsinki-Vantaan lentoaseman mittauspisteessä 12,9 astetta, kun syyskuun keskilämpötila samassa mittauspisteessä vuosilta 1971–2000 oli 10,1 astetta (Ilmatieteenlaitos, 2011).

Muulla kuin sähköllä lämmitetyt kohteet

Nämä vertailukohteet pyrittiin valitsemaan samoin periaattein kuin sähkölämmityskohteetkin. Valinta oli kuitenkin hieman haastavampaa, koska kulutusprofiilit vaihtelivat toisistaan vielä sähkölämmitettyjen kohteiden vaihtelua enemmän. Siksi tarkasteltavaksi jouduttiin valitsemaan suuri määrä kohteita, joista lopulta vain murto-osa valittiin vertailuun. Lopulta vertailuun valittiin pinta-aloiltaan noin 120 – 260 m² omakotitaloja 50-, 60-, 70- ja 80-luvuilta. Valitut kohteet ovat pääasiassa kaukolämmöllä lämmitettyjä.

Valinnan oikeellisuuden varmistamiseksi kohteiden kuormitusprofiilia verrattiin SLY:n kuormitusprofiilin sähkölämmityskohteiden tavoin. Vertailussa käytettiin SLY:n käyttäjärühmää 601 omakotitalo, ei sähkölämmitystä eikä sähkökiuasta, josta skaalattiin vertailukelpoiset tuntikeskitehot neliötä kohden samalla tavoin kuin sähkölämmityskohteiden kanssa. SLY:n käyrää skaalatessa pinta-alana käytettiin kuormitustutkimuksen

kohteiden keskipinta-alaa (106 m²) ja vuosienergiana AMR-mittauskohteiden keskimääräistä vuosienergiaa (55,5 MWh). Kuva 24 esittää vertailuun valittujen muulla kuin sähköllä lämmitettävien kohteiden sekä SLY:n vertailukäyrän kuormitusprofiilit 1.9.2011 klo 7:00 – 2.9.2011 klo 7:00.

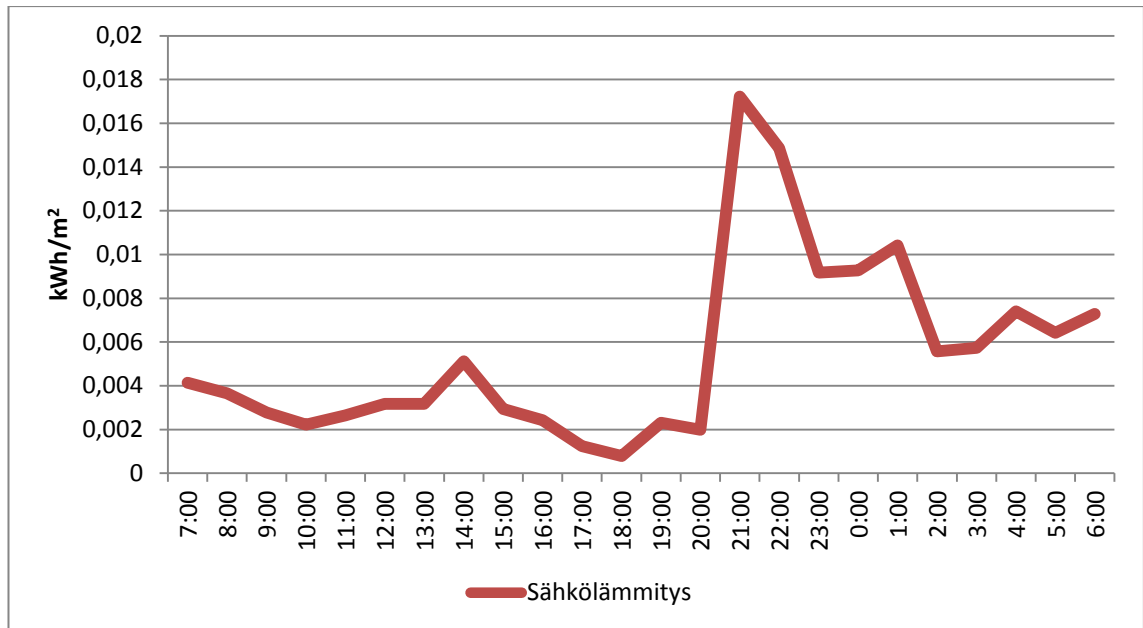


Kuva 24: Muulla kuin sähköllä lämmitettyjen vertailukohteiden kuormitusprofiili 1.9.2011 7:00 – 2.9.2011 7:00.

Kuvan 24 käyrät eroavat toisistaan hieman, mutta AMR-mittauksien suuren hajonnan vuoksi vertailukohteiden valintoja voidaan pitää onnistuneina. Vertailukohteiden tarkasta karsinnasta johtuen valituksi tuli vain pieni määrä kohteita, jolloin yksittäisen kohteen normaalista poikkeava sähkön kulutus saattaa aiheuttaa suuren poikkeaman keskiarvokäyrään. Siksi kuormitusprofiilin vertailu tarkasteluvälin eri päivien välillä voi tuottaa hyvin erilaisia tuloksia. Esimerkki suuresta poikkeamasta voisi olla vaikka tilanne, jossa yhdessä tai useammassa vertailukohteessa ei ole oltu ollenkaan kotona koko vuorokauden aikana, jolloin sähkön kulutuskin on ollut vähäistä. Koko tarkasteluajanjaksoilla kohteiden yhteenlasketut päiväenergian kulutukset ovat kuitenkin johdonmukaisia.

Sähkölämmityksen erottaminen muusta sähköenergian kulutuksesta

Kun sähkölämmitettyjen ja muulla tavoin lämmitettyjen vertailukohteiden kulutukset ovat AMR-mittausten perusteella selvillä, voidaan pelkän sähkölämmityksen kuluttama sähköenergia erottaa muusta kulutuksesta yksinkertaisella vertailulla. Kuva 25 esittää muusta sähkön kulutuksesta erotetun sähkölämmityksen kuluttaman sähköenergian 1.9.2011 klo 7:00 – 2.9.2011 klo 7:00. Käyrä sisältää sekä sähkölämmityksen että lämpimän käyttöveden.



Kuva 25: AMR-mittauksia vertailemalla muodostettu pelkän sähkölämmityksen kuormitusprofiili 1.9.2011 klo 7.00 - 2.9.2011 klo 7:00.

Kuva 25 vahvistaa aiemmat tiedot siitä, että vertailuun valitut sähkölämmityskohteet on varustettu osittain varaavalla sähkölämmityksellä, jossa kulutus on suurimmillaan yö-sähkön aikaan, mutta kulutusta on satunnaisesti myös muuna aikana.

Yksittäisen kohteen muista poikkeavan sähkön kulutuksen aiheuttaman suuren virhemahdollisuuden takia vertailumenetelmällä saaduille tuloksille haluttiin varmenus. Tulosten tarkistusta vasten Vantaan Energian kaukolämpöosastolta saatiin käyttöön kaukolämmön tuntimittaustietoa erilaisista kotitalouksista. Vertailuun valitut kaukolämmitetyt kohteet pyrittiin valitsemaan siten, että ne olisivat mahdollisimman samantaisia sähkölämmitettyjen vertailukohteiden kanssa. Kohteille tehtiin samankaltainen karsinta kuin kaikille vertailukohteille eli kulutukseltaan selvästi muista poikkeavat kohteet jätettiin vertailun ulkopuolelle ja virheelliset tuntimittaustiedot korjattiin.

Kaukolämmitetyiksi vertailukohteiksi valikoitui lopulta pinta-aloiltaan 150–210 m² omakotitaloja 1970-, 1980- ja 2000-luvuilta. Kohteiden kulutus skaalattiin muiden kohteiden tapaan huoneistojen neliöiden mukaan. Lopuksi kaikkien kohteiden jokaisesta tunnista otettiin keskiarvot, jolloin tuloksena saatiin keskimääräinen kaukolämmön energiankulutus neliötä kohden tarkastelujakson jokaisen päivän jokaisena tuntina.

Kaukolämmön tuntimittaustiedot on hyvää vertailudataa lämmitysenergian tarpeelle omakotitaloissa, koska kaukolämmön energiamittari mittaa ainoastaan kaukolämmitysenergian kulutusta. Tällöin mittauksista ei tarvitse erikseen erotella lämmitykseen käytettävän energian määrää, vaan mittaus kertoo sen suoraan. Kaukolämmön energiankulutus kuitenkin eroaa tuntitasolla profiililtaan merkittävästi sähkölämmityksen energiankulutuksesta, koska kaukolämmön siirrossa ei ole käytössä samanlaista aikaan perustuvaa tariffia kuin sähkölämmityskohteissa käytettävä kaksiaikatariffi. Siksi kaukolämmityksen tuntisarjoissa ei esiinny sähkölämmityksen kaltaisia piikkejä, vaan kulutus on tasaisempaa ja vaihtelee lähinnä ulkolämpötilan vaihteluiden mukaisesti.

Päiväenergiatasolla vertailu on kuitenkin mahdollista, koska samanlaisen kiinteistön lämmittämiseen samanlaisissa olosuhteissa pitäisi kulua sama määrä energiaa, oli kyseessä sitten sähkölämmitys tai kaukolämpö.

Lisätarkistuksena tarkasteltiin vielä pelkän lämpimän käyttöveden tarvitsemaan energiamäärää arviointikaavan avulla. Tällä arviolla nähdään ovatko sähkölämmityksen energian kulutukselle saadut tulokset oikeaa suuruusluokkaa. Sähkölämmitykselle, jolla tässä tapauksessa tarkoitetaan siis sekä huoneiston lämmitystä että lämpimän käyttöveden lämmitystä sähköllä, saaduille tuloksille asetettiin mittariksi, että tulosten pitää olla tarkastelujakson jokaisena tuntina vähintään yhtä suuria kuin pelkälle lämpimän käyttöveden energiankulutukselle lasketut tulokset. Tämä johtuu siitä, että lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä ei juuri riipu ulkolämpötilasta. Tällöin kulutus on vähintään lämpimän käyttöveden tarvitseman energiamäärän suuruinen lämpimänäkin päivänä. Käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaa energiamäärää arvioitiin arviointikaavalla, jota käytetään energiatodistuksissa silloin, kun käyttöveden kulutuksesta ei ole saatavilla tarkempaa energiamittausta. Energiatodistuksessa lämpimän käyttöveden energiankulutusta arvioidaan seuraavin periaattein: (Motiva Oy, 2011)

1. Lämpimän käyttöveden energiamittaus
2. Jos energiamittausta ei ole saatavilla se lasketaan kulutetun lämpimän käyttöveden perusteella kaavalla

$$Q_{lkv} = 58kWh/m^3 \times V_{lkm}$$

, missä

Q_{lkv} = lämpimän käyttöveden energiankulutus

58 = veden lämmittämiseen (lämpötilanmuutos 50 °c) tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden, kWh/m³

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden määrä

3. Jos tiedossa on vain käyttöveden kokonaiskulutus, oletetaan sen olevan asuinrakennuksissa 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % veden kokonaiskulutuksesta
4. Jos veden kokonaiskulutusta ei tiedetä, käytetään lämpimän käyttöveden määrän V_{lkv} oletusarvona 0,6 m³/brm² vuodessa asuinrakennuksessa.

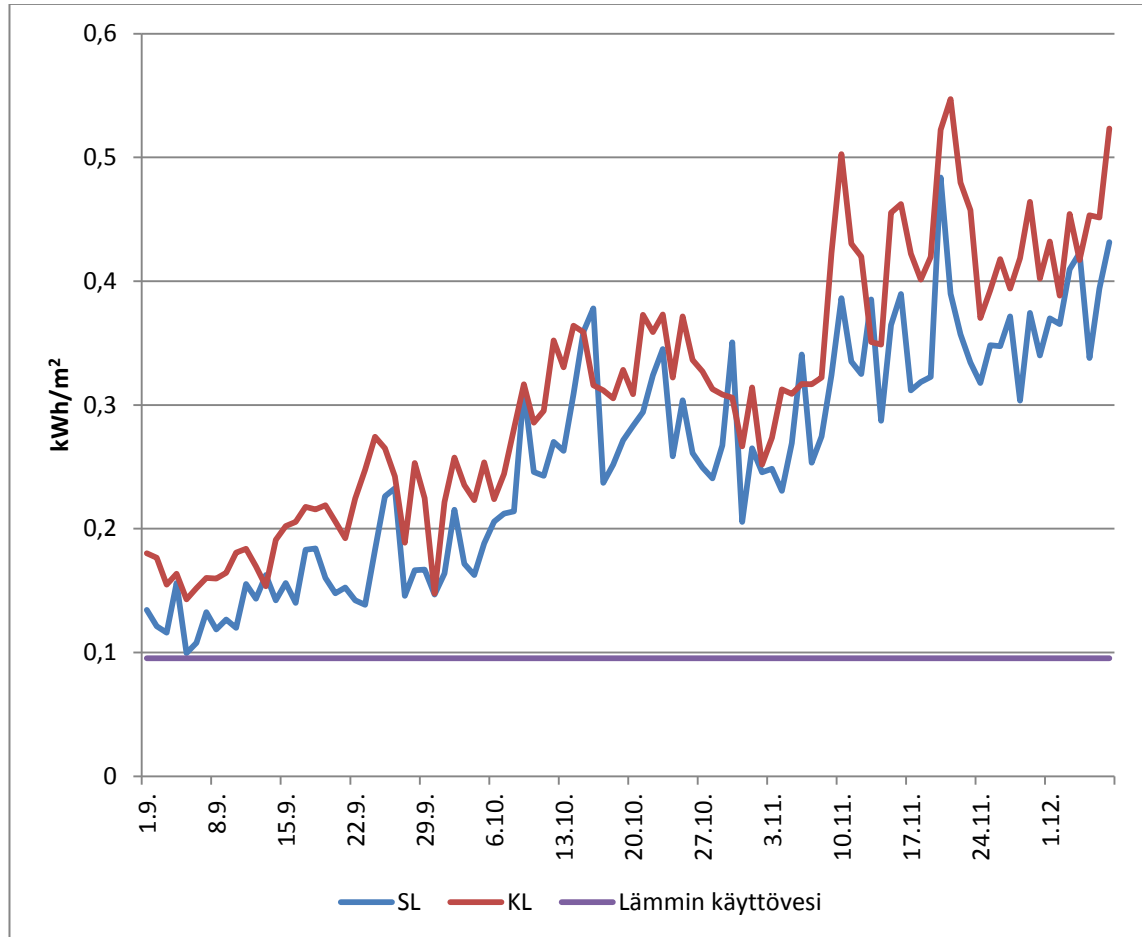
Kohdan 4 mukaisesti lämpimän käyttöveden energiatarpeen arvioksi saadaan

$$Q_{lkv} = 58kWh/m^3 \times 0,6 \frac{m^3}{brm^2} = 34,8 \frac{kWh}{brm^2}$$

vuodessa, joka tekee noin 0,095 kWh/brm² päivässä.

Vertailua varten sekä sähkölämmitettyjen kohteiden että kaukolämmitettyjen kohteiden lämmitysenergian tuntikulutuksista laskettiin päiväenergiat koko tarkastelujakson 1.9.2011 – 7.12.2011 ajalta. Kuva 26 esittää muusta kulutuksesta erotetun sähkö-

lämmityksen ja kaukolämmityksen päiväenergiatarpeen koko tarkastelujakson ajalta. Sekä sähkölämmityksen että kaukolämmön energiatarpeet sisältävät käyttöveden lämmityksen. Lisäksi kuvassa 26 näkyy arviointikaavalla laskettu lämpimän käyttöveden energiatarve. Se pysyy aina vakiona, koska se ei riipu ulkolämpötilasta.



Kuva 26: Muusta kulutuksesta erotetun sähkölämmityksen (sininen käyrä, SL) ja kaukolämmön (punainen käyrä KL) päiväenergiatarpeen vertailu tarkastelujakson 1.9.2011 – 7.12.2011 ajalta. Violetti suora on arviointikaavalla laskettu käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia.

Kuvan 26 perusteella voidaan todeta, että vertailumenetelmällä saadut sähkölämmityksen kulutustulokset seuraavat kaukolämmön päiväenergiatarvetta hyvin. Sähkölämmityskäyrä on myös koko tarkastelujakson ajan pelkän käyttöveden lämmittämisen energiatarpeen yläpuolella, mikä täyttää aiemmin asetetun ehdon. Sähkölämmityskäyrä on kuitenkin koko tarkastelujakson ajan hieman kaukolämmön käyrää alempana. Ero voi selittyä muun muassa vertailukohteiden valinnan hankaluudella. Vaikka jokaisen kohteen tuntisarja tarkistettiin ja virheet pyrittiin poistamaan, on mahdollista, että muulla kuin sähköllä lämmitettävien vertailukohteiden joukkoon valikoitui myös sellaisia kohteita, joiden sähkön kulutuksessa on mukana hieman sähkölämmitystä, kuten esimerkiksi lisälämmityksenä käytettävää mukavuuslämmitystä. Tällöin sähkölämmityksen käyrästä on vertailussa vähennetty myös mukavuuslämmityksen verran sähkölämmitystä,

jolloin tuloksena on todellisuutta pienempi energiankulutus sähkölämmitykselle. Lisäksi monet sähkölaitteet, kuten hehkulamput, tuottavat myös lämpöä varsinaisen käyttötarkoituksensa ohella. Virhe on kuitenkin pieni ja sähkölämmitys- sekä kaukolämpökäyrät seuraavat melko tarkasti toisiaan, joten tuloksia voidaan pitää hyvinä.

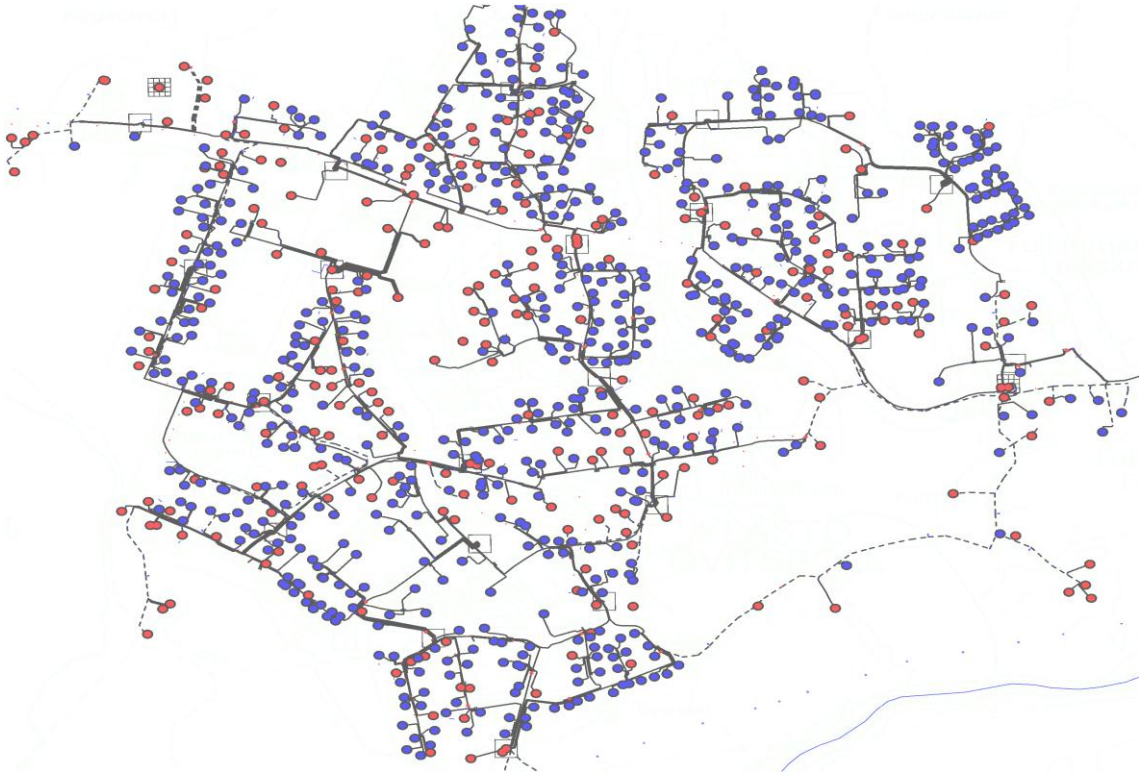
Tarkempiin tuloksiin voitaisiin päästä, jos käytössä olisi enemmän tuntimittausdataa AMR-mittareilta. Useammat vertailukohteet ja pidempi tarkasteluajaväli vähentäisivät yksittäisen kohteen vaikutusta tulokseen. Tämä on kuitenkin mahdollista vasta, kun loputkin AMR-mittareilla varustetut kohteet siirretään tuntiluentaan ja dataa kertyy riittävän pitkältä ajalta. Lisäksi vertailua voisi helpottaa ja sen tarkkuutta parantaa paremmilla lähtötiedoilla kohteista, jolloin esimerkiksi kohteiden lämmitystapoja ei tarvitsisi tulkita tuntimittausarjojen perusteella. Myös kiinteistöjen pinta-aloista ei ollut riittävästi tarkkaa tietoa, jonka takia osa muuten käyttökelpoisista kohteista jouduttiin rajaamaan vertailun ulkopuolelle.

3.3.3 Case Ylästö

Sähkölämmityksen potentiaalitarkasteluun valittiin Vantaan kaupunginosista Ylästö, koska siellä on Vantaan suurin sähkölämmitettyjen kotitalouksien sähköenergian kulutus. Ylästön kaupunginosa sijaitsee pääasiassa Vantaan Energian kaukolämpöverkon ulkopuolella, tosin alueen rivitalot lämmitetään kaukolämmöllä. Tarkastelun tiedot pohjautuvat SeutuCD:n rakennustietokannan tietoihin. Ylästön kaupunginosan asuinrakennuskanta koostuu pääosin omakoti- ja paritaloista, mutta alueella on myös joitakin rivitaloja. Suurin osa alueen asuintaloista on rakennettu 2000-luvulla (rakennusvuosien mediaani 2001), mutta mukana on kohteita aina 1950-luvulta asti. Asuinrakennusten pinta-alat vaihtelevat noin 55 m² ja 430 m² välillä pinta-alojen mediaanin ollessa 167 m².

Tarkastelun kohteet valittiin valitsemalla SeutuCD:n rakennustietokannasta Ylästön kaupunginosan yhden ja kahden asunnon talot, joiden lämmitysaineeksi on merkitty sähkö tai lämmitystavaksi sähkölämmitys. Kaikki Ylästön rivitalot ovat kaukolämmön piirissä, joten ne rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Yhden ja kahden asunnon talot muodostavat koko Ylästön rakennuskannasta noin 61 %. Yhden ja kahden asunnon asuintaloista sähköllä lämmitettyjä on noin 780 kappaletta, mikä on noin 66 % kaikista yhden ja kahden asunnon taloista.

Muulla kuin sähköllä lämmitettyjen yhden ja kahden asunnon asuintalojen lämmitystapoja ovat maalämpö sekä öljylämmitys, mutta mukana on myös suuri määrä kohteita, joille ei ole merkitty SeutuCD:n tietoihin ensisijaista lämmitystapaa ollenkaan. Tästä johtuen sähkölämmitettyjen kohteiden määrä saattaa olla jopa suurempi kuin tarkastelussa käytetty 66 % yhden ja kahden asunnon asuintaloista. Tietojen oikeellisuuden varmistamiseksi seutuCD:n rakennuskannan asuinrakennusten pinta-ali tietoja verrattiin Vantaan kaupungin vastaaviin tietoihin. Käytettävissä olevista Vantaan kaupungin rakennustiedoista ei selvinnyt asuinrakennusten ensisijainen lämmitysmuoto, mutta koko asuinrakennuskannan tiedot olivat seutuCD:n tietojen kanssa yhtenevät. Kuva 27 erottelee Ylästön kaupunginosan pienjänniteliittymät lämmitystavan mukaan.



Kuva 27: Ylästön kaupunginosan pienjänniteliittymät lämmitystavan mukaan. Sähkölämmityskohteet on merkitty sinisillä ja muut punaisilla palloilla. Kuva perustuu verkkotietojärjestelmän tietoihin.

Tarkasteluun valittiin tarkasteluajanjaksolta neljä ajankohtaa: maanantai 5.9.2011, torstai 30.9.2011, keskiviikko 26.10.2011 ja sunnuntai 20.11.2011. 5.9.2011 on sähköenergian kulutukseltaan pienin vuorokausi tarkastelujaksolla, kun taas 20.11.2011 on suurin ja samalla myös tarkastelujakson kylmin päivä vuorokauden keskilämpötilalla mitattuna, noin -4,01 astetta. Se on myös ainoa tarkasteluun valituista päivistä, joka ei ole arkipäivä. 30.9.2011 on tarkastelujakson lämpimin vuorokausi, keskilämpötilaltaan noin 16,1 astetta, ja 26.10.2011 edustaa tarkastelujakson sähkölämmityksen energian kulutuksen keskiarvoa. Lisäksi tarkasteluun valittiin myöhemmin vielä kaksi ajankohtaa varsinaisen tarkastelujakson ulkopuolelta: maanantait 9.1.2012 ja 16.1.2012. Lisäys tehtiin, koska loppuvuosi 2011 oli poikkeuksellisen lämmin eikä sähkölämmityksen kulutuksesta pakkasilla saatu täten kunnollista kuvaa. Tammikuussa 2012 vuorokauden keskilämpötilat kääntyivät pääasiassa pakkasen puolelle. 9.1.2011 vuorokauden keskilämpötila oli -5,6 astetta ja 16.1.2012 -10,1 astetta, joka oli tarkasteluhetkellä talven keskilämpötilaltaan kylmin arkipäivä Vantaalla. Taulukko 4 esittää Ylästön kaupunginosan yhden ja kahden asunnon asuintalojen sähkölämmityksien energiatarpeen koko vuorokauden ja pelkän yösähkön ajalta sekä huipputehon ja sen ajankohdan.

Taulukko 4: Ylästön kaupunginosan yhden ja kahden asunnon asuintalon sähkölämmityksien energiatarpeet ja huipputehot. Sunnuntaita 20.11.2011 lukuun ottamatta päivät ovat arkipäiviä.

Ylästö (omakoti- ja paritalot)	Vuorokauden keskilämpötila, °c	Sähkölämmityksen energiatarve koko päivä, MWh	Sähkölämmityksen energiatarve, yö-sähkö (0.00-7.00 & 21.00-23.00)	Sähkölämmityksen huipputeho, MW	Huipputehon ajankohhta
5.9.2011	14,9	13,5	10,1	2,3	21:00
30.9.2011	16,1	19,8	15,5	2,3	22:00
26.10.2011	7,0	35,3	20,3	3,2	21:00
20.11.2011	- 4,0	65,3	27,5	3,8	19:00
9.1.2012	- 5,6	59,8	32,4	4,4	22:00
16.1.2012	- 10,1	72,2	36,8	5,3	22:00

Taulukosta 4 nähdään, että sähkölämmityksen energian kulutus on voimakkaasti riippuvainen ulkolämpötilasta. Tarkastelupäivien lämpimimmän ja kylmimmän päivän välillä sähkölämmityksen energian kulutus kasvaa yli viisinkertaiseksi ja huipputeho yli kaksinkertaiseksi. Lisäksi kulutus on suurimmillaan juuri yösähkön aikaan. Kylmimpinäkin aikoina vähintään 50 % sähkölämmityksen energian kulutuksesta sijoittuu yösähkön ajalle, kun lämpimäimpinä päivinä yösähkön aikana kulutettu sähkölämmitykseen käytetty energia on jopa lähes 80 % koko päivän kulutuksesta. Tämä voi johtua siitä, että lämpiminä päivinä koko lämmitystarve voidaan varata yöaikana. Kylminä aikoina taas päivälläkin pitää lämmittää suuremman energiatarpeen vuoksi. Sunnuntai 20.11.2011 poikkeaa merkittävästi tarkasteluun valituista arkipäivistä, koska sunnuntaisin koko päivä on halvemmän yösähkön aikaa eikä sähkölämmityskuormien ohjausta ole tällöin tarpeen toteuttaa samalla tavoin kuin arkipäivinä. Sähkölämmityksen energian tarpeen lisäksi myös huipputehon ajankohta sijoittuu yösähkön ajalle ja nimenomaan sähkölämmityskuormien kytkeytymisen ajalle. Tätä huipputehoa olisi helppoa pienentää kysynnänjoustotoimenpiteillä, koska sähkölämmityskuormien kytkeytymisajalla ei ole merkitystä, kunhan yön aikana tarvittava sähkölämmitysenergian tarve saadaan täytettyä. Tällöin nykytilanteessa yösähkön ensimmäisille tunneille painottunut tehontarve voitaisiin jakaa koko yösähkön voimassaoloajalle, jolloin huipputeho pienenesi ja lisäksi kulutus voitaisiin optimoida esimerkiksi markkinahinnaltaan halvimmille tunneille.

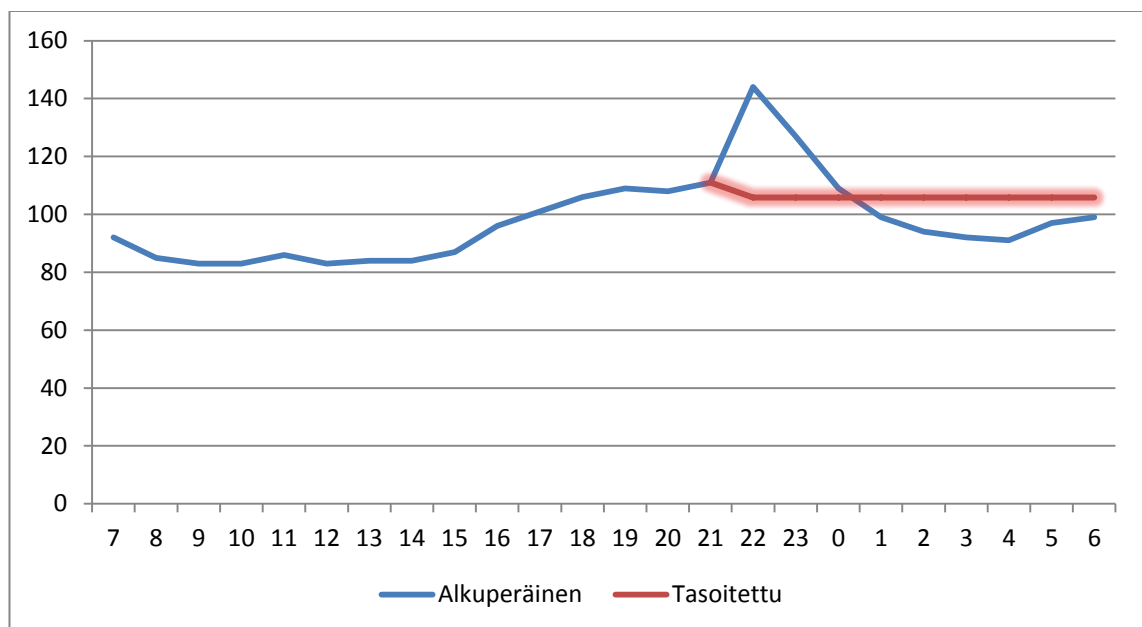
Ylästön kaupunginosan tarkastelu verkkotietojärjestelmässä

Sähkölämmityskuormien ohjaamisen verkostovaikutuksien tarkastelemiseen käytettiin verkkotietojärjestelmää, jonka avulla laskettiin erilaisia skenaarioita. Laskennan lähtökohdaksi pidettiin SLY-kuormitusmalleihin pohjautuvia indeksisarjoja, jotka kuvaavat

kaksiaikatariffiin kytkettyjen ja kuorman ohjausta hyödyntävien kohteiden kuormitusta. Tällaisia kuormitusmalleja on kaksi, joista ensimmäinen kuvaa kuorman ohjauksen hyödyntämistä käyttövesivaraajan ja toinen osittain varaavan sähkölämmityksen yhteydessä. Näissä kuormitusmalleissa kuorman ohjaus tapahtuu päivittäin kello 22:00. Tämä aiheuttaa sähkölämmitysvaltaisilla alueilla kuormitushuipun ajoittumisen juuri kuorman ohjauksien kytkeytymisen aikaan.

Kysynnänjouston vaikutuksien mallintamiseksi alkuperäisiä kuormitusmalleja muokattiin siten, että kuorman ohjauksen aiheuttama kuormitushuippu jaettiin koko yösähkön voimassaolon ajalle tasaisesti. Tällöin ohjattavien kuormien käyttämä sähköenergian määrä yösähkön aikana ei muutu, mutta haitallista kuormitushuippua saadaan pienennettyä siirtämällä osa kuormitushuipun aikaisesta kulutuksesta myöhempään ajankohtaan. Myös indeksisarjojen hajonnat skaalattiin samalla periaatteella. Tarkasteluun valittiin vuoden toista kaksiviikkojaksoa kuvaavat indeksisarjat, koska kylmänä ajankohtana erot näkyvät selvemmin.

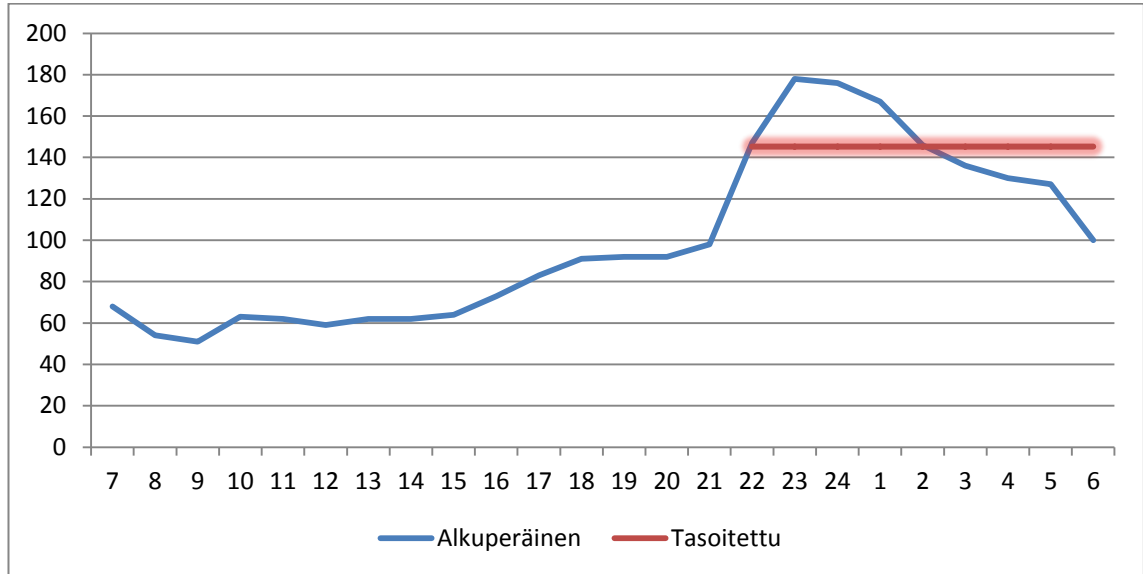
Valituilla käyttäjäryhmillä indeksisarjoissa ei ollut eroja arki-, aatto- ja pyhäpäivien välillä. Kuva 28 esittää käyttöveden lämmityksen sisältävän kuormituksen alkuperäisen sisäindeksikäyrän vuoden toiselta kaksiviikkojaksolta sekä muokatun käyrän, jossa lämmitysenergian tarve on tasoitettu yösähkön ajan tunneille. Muokattu käyrä on päivänsähkön tuntien osalta identtinen muokkaamattomaan verrattuna. Vuorokauden jokaisen tunnin optimoimisella saavutettaisiin parhaat mahdolliset tulokset, mutta pelkän jo olemassa olevan yösähköohjauksen muuttaminen on helpompi ja täten todennäköisempi vaihtoehto ainakin ennen kysynnänjouston laajamittaisempaa yleistymistä.



Kuva 28: Lämpimän käyttöveden varaajalla varustetun kotitalouden sisäindeksikäyrä sekä yösähkön osalta tasoitettu käyrä.

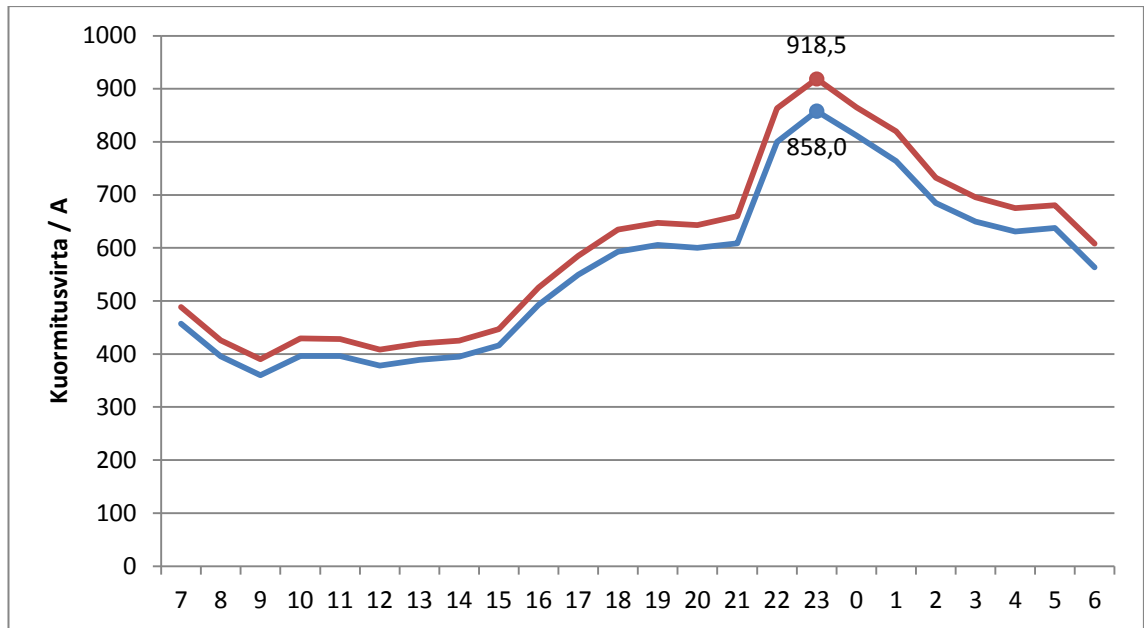
Osittain varaavan sähkölämmityksen sisäindeksikäyrä muokattiin samoin periaattein. Kuva 29 esittää osittain varaavalla sähkölämmityksellä varustetun kotitalouden sisäin-

deksikäyrän sekä yösähkön osalta tasoitetun kysynnänjoustokäyrän vuoden toiselta kaksiviikkojaksoilta.



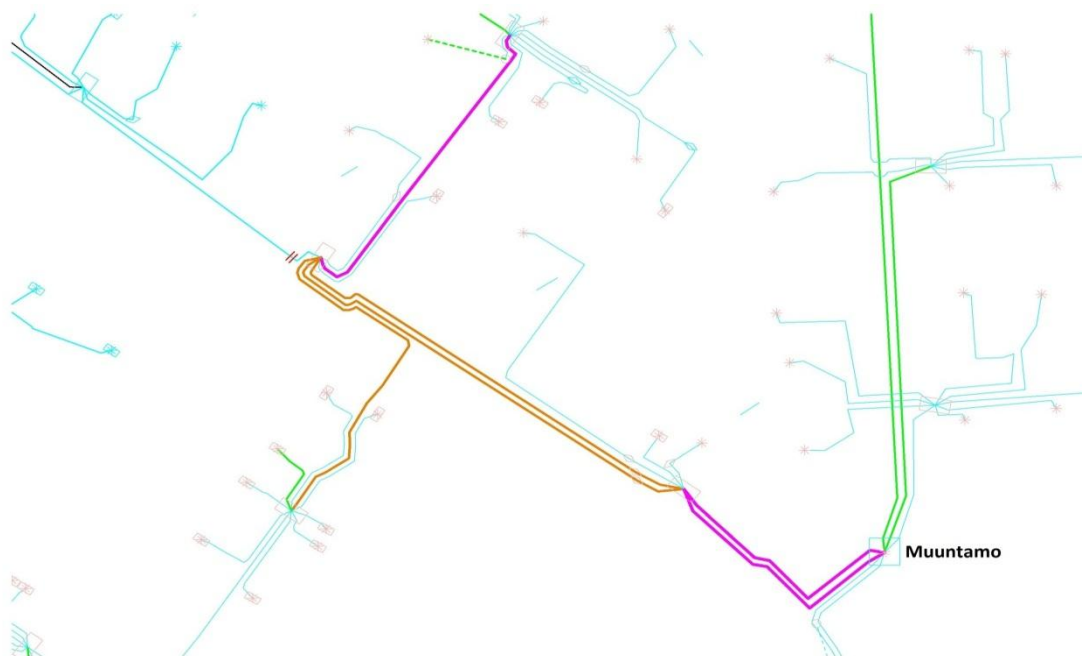
Kuva 29: Osittain varaavalla sähkölämmityksellä varustetun kotitalouden sisäindeksikäyrä sekä yösähkön osalta tasoitettu käyrä.

Tarkasteluun valittiin yksi sähkölämmitysvaltainen muuntopiiri Ylästön kaupunginosasta, jossa on yhteensä 78 kulutuspistettä. Niistä noin 22 % kuuluu kuvan 28 käyttäjäryhmään ja noin 44 % kuvan 29 käyttäjäryhmään. Loput noin 34 % ovat suoran sähkölämmityksen piirissä. Lähtötilanne on laskettu verkkotietojärjestelmässä muuttamattomilla kuormitusmalleilla. Kaikissa laskennoissa on käytetty laskenta-ajankohtana vuoden toista kaksiviikkojaksoa. Lähtötilanteessa muuntopiirin kuormitus keskittyy voimakkaasti yösähkön ensimmäisille tunneille kuvan 30 mukaisesti.



Kuva 30: Muuntopiirin kuormitusvirta lähtötilanteessa. Sininen käyrä on laskettu 50 % ja punainen käyrä 90 % laskentatodennäköisyydellä.

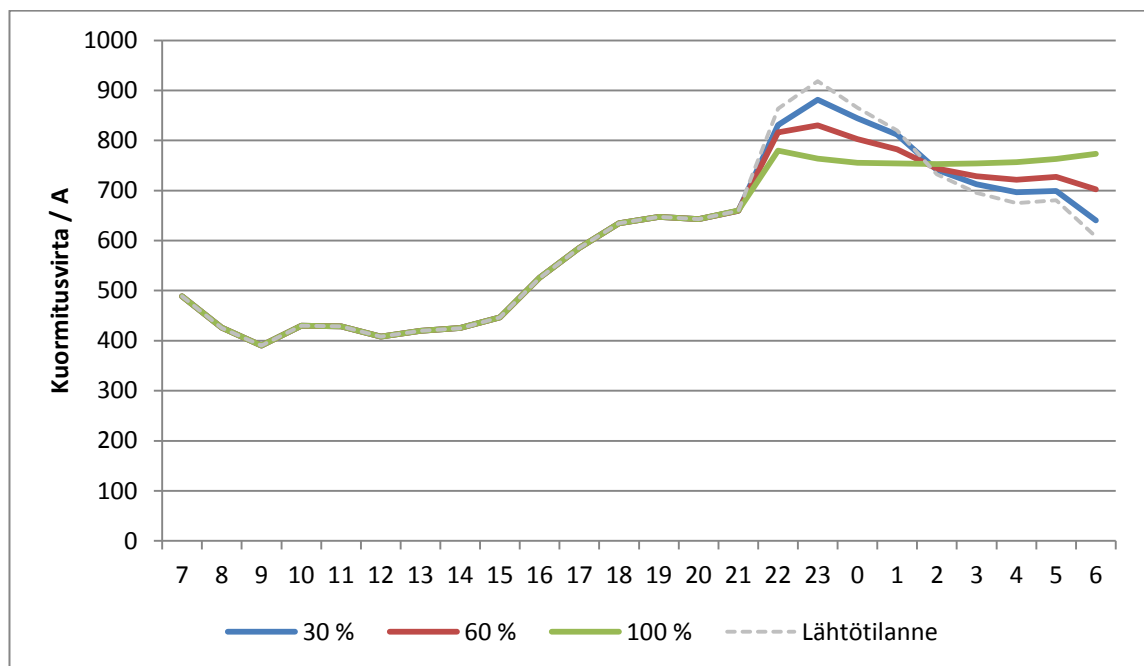
Muuntopiirin tiettyjen pienjännitekaapeliosuuksien kuormitusaste on kuormitushuipusta johtuen korkea. Kuva 31 näyttää muuntopiirin ongelmallisimman kohdan kaapeleiden kuormituksen osalta lähtötilanteessa. Kuormitus on laskettu 90 % laskentatodennäköisyydellä.



Kuva 31: Tarkastellun muuntopiirin kaapeleiden kuormitus lähtötilanteessa. Turkoosi kuvaa peruskuormitusta, vihreä yli 30 % kuormitusastetta, ruskea yli 80 % kuormitusastetta ja violetti yli 100 % kuormitusastetta.

Kuvasta 31 nähdään, että muuntopiirin alueella tiettyjen kaapeleiden kuormitusaste on erittäin korkea, jopa yli 100 %. Yli 100 % kuormitusaste johtaa siihen, että verkkoa pitää vahvistaa. Ylikuormitettua pienjännitekaapelia on kuvassa 31 noin 250 metriä. Näiden kaapeleiden korvaaminen seuraavalla suuremmalla kaapelikoolla maksaisi Energiamarkkinaviraston yksikköhinnoittelun perusteella laskettuna lähes 14 000 euroa (Energiamarkkinavirasto 2011). Laskussa oletetaan, että kolmasosa kaapelista on kaivuolosuhteiltaan vaikeaa ja loput normaalia. Kaapeliverkon pienenkin osuuden vahvistaminen on siis erittäin kallista. Lisäksi myös sähkön käyttäjälle aiheutuu haittaa verkon rakennustöistä muun muassa mahdollisten sähkökatkojen vuoksi.

Verkon vahvistamiselta voidaan välttyä huipputehoa alentamalla. Tarkasteluun valitussa muuntopiirissä on hyvät mahdollisuudet alentaa huipputehoa kuorman ohjauksella optimoimalla, koska huippukuorma sijoittuu lähtötilanteessa yösähkön kytkeytymisen ajalle. Verkkotietojärjestelmässä tarkasteltiin lähtötilanteen lisäksi kolmea erilaista skenaariota. Ensimmäisessä skenaariossa 30 % muuntopiirin kuorman ohjauksen piirissä olevista kulutuksista siirrettiin yösähkön osalta tasoitetulle kuormitusmallille. Toisessa skenaariossa muutettiin 60 % kulutuksista. Molemmissa tapauksissa siirretyt kohteet valittiin satunnaisesti ja jäljelle jääneet kulutukset säilyivät alkuperäisillä kuormitusmallilla. Viimeisessä skenaariossa muuntopiirin kaikki kuorman ohjauksen piirissä olevat kulutukset siirrettiin yösähkön osalta tasoitetuille käyrille. Kuva 32 esittää kuorman ohjauksen optimoinnin vaikutuksia muuntopiirin kuormitukseen.



Kuva 32: Kuorman ohjauksen optimoinnin vaikutukset muuntopiirin kuormitukseen. Harmaa katkoviiva kuvaa lähtötilannetta, jossa kaikki muuntopiirin kuorman ohjauksen piirissä olevat kulutukset noudattavat kuvien 28 ja 29 alkuperäisiä kuormituskäyriä. Sininen (30 %) ja punainen (60 %) käyrä kuvaavat muuntopiirin kuormituskäyriä, kun osa kuorman ohjauksen piirissä olevista kulutuksista on siirretty kuvien 28 ja 29 tasoitetuille käyrille. Vihreä käyrä kuvaa kuormitustilannetta, kun kaikki kuorman ohjauksen piirissä olevat kulutukset on siirretty kuvien 28 ja 29 tasoitetuille käyrille.

Kuvasta 32 nähdään, että sähkölämmityskuormien ohjaustavan muuttamisella on merkittävä vaikutus muuntopiirin huipputehoon. Kun 100 % kuorman ohjauksen piirissä olevista kulutuksista on siirretty yösähkön osalta tasoitetulle käyrälle, laskee muuntopiirin huipputeho yli 15 %. Vihreän käyrän skenaariossa kuormituskäyrä on yösähkön osalta lähes tasainen. Tämän takia muuntopiirin huipputehoa ei voi enää laskea enempää pelkän yösähkön ajan kuorman ohjauksella optimoimalla. Suurempi huipputehon leikkaaminen olisi kuitenkin mahdollista, jos myös päiväsähkön ajan tunnit olisivat käytettävissä kuorman ohjauksien optimoinnissa.

Kuorman ohjauksien optimointi yösähkön ajalta auttaa myös muuntopiirin kaapeliosuuksien ylikuormitustilanteeseen. Kuva 33 esittää muuntopiirin korkeimmin kuormitetut kaapeliosuudet vihreän käyrän skenaariossa.

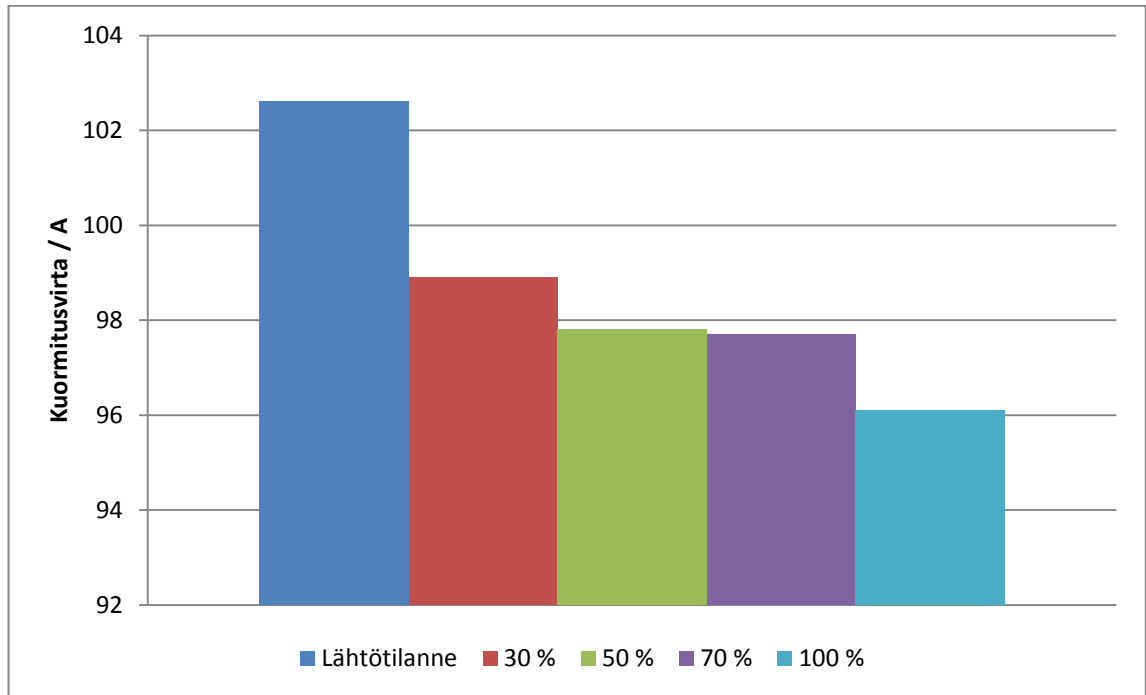


Kuva 33: Tarkastellun muuntopiirin kaapeleiden kuormitus, kun kuorman ohjaus on optimoitu yösähkön osalta. Turkoosi kuvaa peruskuormitusta, vihreä yli 30 % ja ruskea yli 80 % kuormitusastetta.

Kuvia 33 ja 31 vertailemalla voidaan todeta, että optimointi on alentanut muuntopiirin kaapeliosuuksien kuormituksia merkittävästi. Kuvan 33 skenaariossa ei ole välitöntä tarvetta vahvistaa verkkoa, koska yhdenkään kaapeliosuuden kuormitusaste ei ole yli 100 %. Täten kuorman ohjauksen optimoinnilla pystyttiin skenaariossa välttämään verkon vahvistamiseen tarvittavat investoinnit tai ainakin lykkäämään niitä tulevaisuuteen.

Kuorman ohjauksen optimoinnin vaikutuksia tarkasteltiin myös keskijännitelähdöillä. Ylästön kaupunginosaa syöttää normaalissa kytkentätilanteessa kaksi Pakkalan sähköaseman keskijännitelähtöä, joista toisen kuormitus koostuu lähes ainoastaan Ylästön kulutuksesta. Tälle keskijännitelähdölle laskettiin verkkotietojärjestelmässä edeltävien pienjännitelaskentojen tapaan erilaisia skenaarioita. Lähtötilanteen lisäksi laskettiin skenaariot, joissa 30 %, 50 %, 70 % tai 100 % kuorman ohjauksen piirissä olevista koko

Ylästön kaupunginosan kulutuksista siirrettiin kuvien 28 ja 29 tasoitetulle kuormituskäyrille. Kuva 34 esittää kuorman ohjauksen optimoinnin vaikutukset keskijännitelähdön huipputehoon eri skenaarioilla.



Kuva 34: Pakkalan sähköaseman Ylästön kaupunginosaa syöttävän keskijännitelähdön huippukuormitus eri skenaarioissa.

Kuva 34 osoittaa, että kuorman ohjauksen optimoinnilla on merkittävä vaikutus myös keskijännitelähdön huipputehoon. Tarkasteltu keskijännitelähtö on kuitenkin lähtötilanteessa hyvin kevyesti kuormitettu, jolloin tässä tapauksessa kuorman ohjauksen optimoinnilla ei säästetä investoinneissa lyhyellä tähtäimellä. Huipputehon pieneneminen vaikuttaa kuitenkin myös päämuuntajien kuormitukseen ja voi pitkällä tähtäimellä säästää merkittävältä investoinneilta. Lisäksi se vähentää jakeluverkon häviöitä.

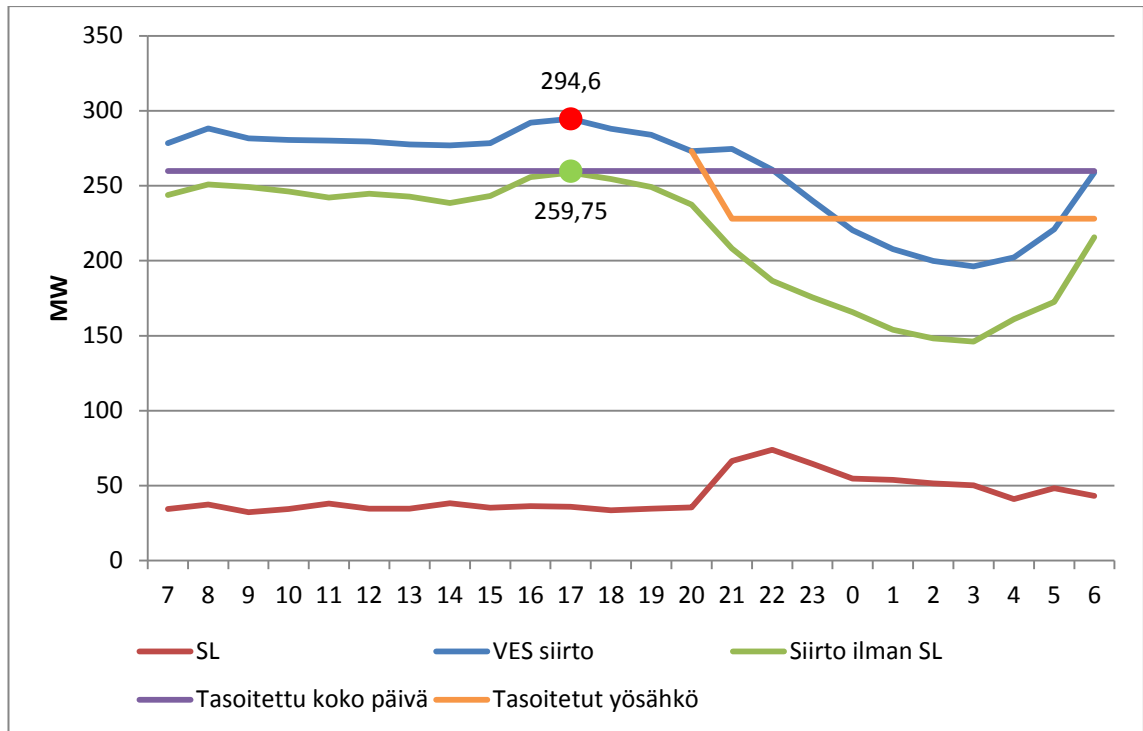
3.3.4 Case Koko Vantaa

Koko Vantaan tarkastelu suoritettiin samoin menetelmin kuin kappaleessa 3.3.3 tehty Ylästön kaupunginosan tarkastelu. Koko Vantaan tapauksessa tarkasteluun otettiin mukaan yhden ja kahden asunnon asuintalojen lisäksi myös rivitalot, koska Vantaan alueelta löytyi sähkölämmitetyjä rivitalokohteita. Koko Vantaan sähkölämmitettyjen yhden ja kahden asunnon asuintalojen ja rivitalojen pinta-alojen osuudeksi saatiin noin 22 % koko asuinrakennuskannan pinta-aloista. Kappalemääräisesti se on noin 9700 asuinrakennusta. Tarkastelu tehtiin samoille päiville kuin kappaleen 3.3.3 tarkastelut. Taulukko 5 esittää koko Vantaan kaupungin yhden ja kahden asunnon asuintalojen sekä rivitalojen sähkölämmityksen energiatarpeen koko vuorokauden ja pelkän yösähkön ajalta sekä huipputehon ja sen esiintymisajankohdan.

Taulukko 5: Koko Vantaan kaupungin yhden ja kahden asunnon asuintalojen sekä rivitalojen sähkölämmityksien energiatarpeet ja huipputehot. Sunnuntaita 20.11.2011 lukuun ottamatta päivät ovat arkipäiviä.

Vantaa (omakoti- ja paritalot)	Vuorokauden keskilämpötila, °c	Sähkölämmityksen energiatarve koko päivä, MWh	Sähkölämmityksen energiatarve, yö-sähkö (0.00-7.00 & 21.00-23.00)	Sähkölämmityksen huipputeho, MW	Huipputehon ajankohdta
5.9.2011	14,9	188,2	141,7	31,9	21:00
30.9.2011	16,1	277,4	216,1	32,0	22:00
26.10.2011	7,0	493,3	283,5	45,2	21:00
20.11.2011	- 4,0	914,1	384,7	52,8	19:00
9.1.2012	- 5,6	835,9	453,4	61,0	22:00
16.1.2012	- 10,1	1010,3	514,6	74,0	22:00

Koko Vantaalle saadut tulokset ovat johdonmukaisia Ylästön kaupunginosassa saatujen tuloksien kanssa. Lämpötilan alentuessa sähkölämmityksen energiantarve kasvaa yli viisinkertaiseksi kulutukseltaan pienimpään tarkastelupäivään verrattuna. Lisäksi pelkän sähkölämmityksen huipputeho nousee kylmimpinä päivänä erittäin suureksi. Tarkastelujakson kylmimmälle päivälle 16.1.2012 saatu sähkölämmityksen huipputeho on lähes 30 % VES:n saman päivän todellisesta kokonaiskulutuksen huipputehosta. Tulos tukee aikaisempaa tietoa siitä, että sähkölämmityksen osuus koko Suomen huipputehosta on samaa suuruusluokkaa. Tässä tapauksessa todellinen huipputeho tosin ilmenee illalla klo 17 ennen yösähkön kytkeytymistä, jolloin pelkän yösähköperustaisen kuorman ohjauksen ohjausajankohdan muuttaminen ei alenna koko päivän kuormitushuippua. Huippukuormituksen laskemiseksi sähkölämmityskuormia tulisi voida ohjata koko päivän aikana, jolloin koko päivän kuormitusta voitaisiin tasoittaa ja samalla laskea huippukuormaa. Kuva 35 esittää koko Vantaan todellisen kuormituksen 16.1.2012 sekä pelkälle sähkölämmitykselle saatujen tuloksien pohjalta lasketut tasoitetut kuormituskäyrät. Sininen käyrä (VES siirto) näyttää VES:n todellisen kokonaissiirron ja punainen piste kuvaa huipputehoa. Vihreä käyrä (Siirto ilman SL) kuvaa kokonaissiirtoa, josta on vähennetty punaisen käyrän (SL) kuvaama sähkölämmityskuorma. Oranssissa käyrässä (Tasoitettu yö-sähkö) sähkölämmityskuorma on tasoitettu yösähkön voimassaoloajalta klo 21-7. Liila käyrä (Tasoitettu koko päivä) kuvaa ideaalitulannetta, jossa sähkölämmityskuorma on tasoitettu koko päivän ajalle siten, että huippukuorma on mahdollisimman pieni. Optimoinnilla saavutettua uutta huippukuormaa kuvaa käyrällä vihreä piste.



Kuva 35: Koko Vantaan kuormitus 16.1.2011 sekä laskennallista sähkölämmityskuormaa siirtämällä piirretyt tasoitetut kuormituskäyrät. Punainen piste kuvaa nykyistä huippukuormaa ja vihreä piste sähkölämmityskuormien ideaalisella optimoinnilla saavutettua uutta, alhaisempaa huippukuormaa.

Kuvaan 35 merkityistä huippukuormapisteistä nähdään, että huippukuormaa olisi mahdollista laskea merkittävästi, lähes 35 MW, sähkölämmityskuorman ohjauksella optimoimalla. Näin suuri optimointi tosin edellyttäisi, että koko sähkölämmityskuorma olisi siirrettävissä, ja että muun kulutuksen huippukuorman aikana ei tarvittaisi ollenkaan sähkölämmitystä. Käytännössä tämä ei ole mahdollista, mutta huippukuorman vähäisenkin aleneminen on merkittävää ja täten optimoimalla vain osa sähkölämmityskuormien ohjauksista voidaan saavuttaa suuria hyötyjä.

Koko Vantaan keskijänniteverkon tarkastelu verkkotietojärjestelmässä

Koko Vantaan keskijänniteverkon tehonjako laskettiin verkkotietojärjestelmässä samoin periaattein kuin Ylästön kaupunginosan laskennat. Kuorman ohjauksen piirissä olevat pienjännitekohteet muodostavat vain pienen osan koko keskijänniteverkon kuormituksesta. Tämän takia kuorman ohjauksien optimoinnin vaikutukset koko keskijänniteverkolla laskettaessa olivat huomattavasti pienemmät kuin yksittäistä keskijännitelähtöä tai muuntopiiriä tarkasteltaessa.

Koko keskijänniteverkolla laskettaessa tarkasteltiin lähtötilanteen lisäksi vain skenaariota, jossa kaikki kuorman ohjauksen piirissä olevat pienjännitekohteet siirrettiin kuvien 28 ja 29 tasoitetuille kuormituskäyriille. Koko keskijänniteverkon huipputeho ajoittuu lähtötilanteessa alkuiltaan, jolloin yösähköajan muutoksilla ei ole vaikutusta huipputehoon. Päämuuntajatasolla kuorman ohjauksen optimointi laskee huipputehoa

kahdella päämuuntajalla. Molemmat päämuuntajat sijaitsevat sähkölämmitysvaltaisilla alueilla. VES:lla on yhteensä 18 päämuuntajaa. Keskijännitelähdöillä muutos näkyi selkeämmin. Huipputeho laski kuorman ohjauksen optimoinnin ansiosta yhteensä 24 keskijännitelähdöllä. VES:n sähköasemilla on käytössä yhteensä 135 keskijännitelähtöä. Tuloksia arvioidessa tulee ottaa huomioon, että koko Vantaan keskijänniteverkko on nykytilanteessa hyvin kevyesti kuormitettu.

Kuorman ohjauksen optimoinnin vaikutukset näkyvät siis parhaiten alueellisia ongelmakohtia tarkasteltaessa. Vaikka koko keskijänniteverkon huipputeho ei skenaarioissa laske, voidaan ongelmakohtissa välttyä suurilta investoinneilta, kun kuorman ohjaus ajoitetaan oikein. Laajentamalla kuorman ohjauksen vaikutus myös päiväsähkön tunneille, voitaisiin koko keskijänniteverkon huipputehoa alentaa huomattavasti.

3.4 Tulevaisuuden näkymät

3.4.1 Taustaa

Uudet rakennusmääräykset asettavat entistä tiukempia vaatimuksia rakennusten eristyksille sekä energiankulutukselle. Vuoden 2010 alussa voimaan tulleet määräykset kiristivät uudisrakennusten energiatehokkuusvaatimusta 30 prosentilla. Vuoden 2012 alusta vaatimusta kiristettiin vielä 20 prosentilla (Vihanta 2011). Uusimman muutoksen myötä mukaan tuli myös kokonaisenergiatarkastelu, jossa eri lämmitysenergian lähteet laskeetaan mukaan erilaisin painoarvoin. Tämä asettaa sähkölämmityksen monia muita lämmitysmuotoja huonompaan asemaan, koska sähkölämmitykselle on asetettu korkea kerroin. Sähkö- ja teleurakoitsijaliiton (Stul) toimitusjohtajan Olli-Heikki Kyllösen (2010) mukaan energiamuotojen kertoimet eivät ole perusteltuja ja ne asettavat sähkölämmityksen kaksi kertaa pahemmaksi kuin öljy ja neljä kertaa pahemmaksi kuin puulämmitys sähkön tuotantotavasta riippumatta. Tällöin esimerkiksi päästöttömällä tuuli- tai vesivoimalla tuotettua sähköä hyödyntävät sähkölämmitystaloudet kärsivät korkeasta kertoimesta.

Sähkölämmitysvastaiset asetukset asettavat uusia tehokkuusvaatimuksia sähkölämmitykselle. Kysynnänjoustolla on mahdollista parantaa sähkölämmityksen kustannustehokkuutta, mutta uusien määräyksien johdosta sähkölämmityksen suosio ainoana lämmitysmuotona saattaa silti vähentyä. Yksittäisen lämmitystavan sijasta voidaan käyttää useita erilaisia lämmitystapoja sen mukaan mikä milloinkin on järkevintä. Tätä lämmitystapaa kutsutaan hybridilämmitykseksi. Hybridilämmityksessä käytetään erilaisia lämmitysmuotoja yhdessä, jolloin saavutetaan parempi energiatehokkuus ja käyttövarmuus. Hybridijärjestelmät voivat vähentää sähkölämmityksien kuluttaman sähköenergian määrää, mutta niiden avulla on myös mahdollista lisätä sähkön käytön joustavuutta, kun sähkölämmitystä on mahdollista korvata ainakin hetkellisesti esimerkiksi puulämmityksellä. Lisäksi rakennusten tiukentuneet erityismääräykset voivat myös lisätä sähkölämmityksen kannattavuutta sille asetetusta huonosta kertoimesta huolimatta, kos-

ka kokonaislämmitysenergian tarpeen laskiessa suuria investointeja vaativien lämmitystapojen, kuten maalämmön, takaisinmaksuaika pitenee.

Tulevaisuudessa kotitalouskäyttäjällä voi olla sähkölämmityksen lisäksi monia kokonaan uusia kuormia, jotka mahdollistavat sähkön käytön joustavuuden kasvattamisen. Sähköautot ja hajautettu tuotanto ovat esimerkkejä merkittävistä tulevaisuuden muutoksista, jotka parhaimmillaan kasvattavat sähkön käytön joustavuutta merkittävästi ja lisäävät kysynnänjouston potentiaalia.

3.4.2 Sähköautot

Liikenteelle on asetettu suuria päästöjen vähentämistavoitteita, joiden saavuttaminen nykyisin käytössä olevilla polttomoottoritekniikoilla on haastavaa, ellei jopa mahdotonta. Liikenteen päästövähennykset ovat osa Euroopan Unionin 20–20–20 tavoitteita, joissa kullekin jäsenmaalle on asetettu omat päästöjen vähentämistavoitteet. EU:n yhteisenä tavoitteena on kaikkien uusien henkilöautojen hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen alle 120 g/km vuoteen 2015 mennessä. Vuonna 2020 tavoite on 95 g/km. Lyhyellä tähtämellä yhä tiukentuvat päästötavoitteet voidaan saavuttaa polttomoottoriteknologian kehittämisellä, mutta pitkällä tähtämellä tarvitaan kokonaan uusia, polttomoottorin korvaavia ratkaisuja. Päästötavoitteiden lisäksi öljyriippuvuuden vähentäminen on toinen merkittävä tekijä, joka puoltaa polttomoottoreiden korvaamista vaihtoehtoisilla teknologioilla. Öljyvarantojen vähetessä öljyn hinnan oletetaan nousevan ja lisäksi öljyn hinnan volatilitetti kasvaa. Joidenkin arvioiden mukaan öljyn tuotantohuippu on jo saavutettu ja on selvää, että öljyriippuvuutta täytyy pitkällä tähtämellä vähentää. (Ruska et al. 2010)

Sähköautot ovat tällä hetkellä potentiaalisin vaihtoehto polttomoottoriautojen korvaajaksi muun muassa akkuteknologian kehittymisen ansiosta. Markkinoilla on jo useita verkosta ladattavia sähköautoja ja tarjonnan odotetaan lisääntyvän lähivuosina merkittävästi. Sähkömoottori on hyötysuhteelta ylivertainen polttomoottoriin nähden ja se soveltuu hyvin liikenteen käyttötarpeisiin hyvien ominaisuuksiensa ja yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Tähän asti sähköautojen yleistymistä ovat rajoittaneet lähinnä autojen korkeat hinnat, valmiiden tuotteiden rajoitettu määrä ja saatavuus, latausverkoston puuttuminen sekä lähinnä akuista johtuva rajallinen toimintasäde. Nyt rajoitteet ovat kuitenkin hiljalleen vähenemässä.

Uusia tuotteita on tulossa markkinoille runsaasti, ja valtiot kehittävät erilaisia tukimenetelmiä niiden hintojen kohtuullistamiseksi. Myös latausverkoston suunnittelu ja rakentaminen on jatkuvan kehityksen kohteena. Täyssähköauton (BEV, Battery Electric Vehicle tai lyhyemmin Electric Vehicle, EV) eli pelkkää sähköenergiaa hyödyntävän auton rajallisen toimintasäteen vuoksi niin sanotut hybridiautot ovat yleistymässä ensimmäisessä aallossa. Verkosta ladattavassa hybridiautossa (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle) on sekä polttomoottori että sähkömoottori. Sähkömoottorin avulla voidaan ajaa akkukapasiteetin puitteissa lyhyet siirtymät, kuten työmatkat, mutta pidemmissä siirtymissä polttomoottori tulee sähkömoottorin avuksi. Hybridissä yhdistyvät täyssähköautojen sekä polttomoottoriautojen parhaat ominaisuudet, mutta kahden erilaisen moottorin käyttäminen lisää auton kustannuksia.

Sähköautojen yleistymisestä tulevaisuudessa on luotu monenlaisia skenaarioita. Arvioiden tekeminen sisältää vielä suuria epävarmuustekijöitä, koska esimerkiksi valtion tukipolitiikasta ei tiedetä vielä tarkasti ja sähköautokanta on toistaiseksi pieni. Työ- ja elinkeinoministeriön asettaman työryhmän raportissa täyssähköautojen sekä verkosta ladattavien sähköhybridiautojen yleistymiselle on luotu kustannusanalyysien pohjalta kolme erilaista skenaarioita: perus-, nopea ja hidas skenaario. Skenaarioiden lähtötasona on käytetty vuotta 2008, jolloin sähköautoja ei juuri ollut käytössä Suomessa. Perusskenaariossa oletetaan ensimmäisten ladattavien hybridien tulevan markkinoille vuonna 2010, jonka jälkeen ne alkavat hitaasti yleistyä siten, että vuonna 2020 10 % uusista autoista on verkosta ladattavia hybridejä. Vuoden 2020 jälkeen yleistymisen oletetaan kiihtyvän. Perusskenaarion mukaan puolet uusista autoista on verkosta ladattavia hybridejä vuonna 2030. Täyssähköautojen osalta perusskenaariossa oletetaan, että ne seuraavat verkosta ladattavien hybridien kehitystä viiden vuoden viiveellä. Nopeassa skenaariossa oletetaan perusskenaarion tapaan, että ensimmäiset ladattavat hybridit tulevat markkinoille vuonna 2010. Tämän jälkeen nopea skenaario kuitenkin olettaa niiden yleistyvän nopeasti siten, että vuonna 2020 jo 40 % uusista autoista olisi verkosta ladattavia hybridejä. Tämän jälkeen niiden yleistymisen oletetaan jatkuvan lineaarisesti, jolloin niiden markkinaosuus on 60 % vuonna 2030. Täyssähköautojen osalta nopea skenaario olettaa ensimmäisten mallin tulevan markkinoille vuonna 2015, jonka jälkeen ne yleistyvät siten, että vuonna 2030 40 % uusista autoista olisi täyssähköautoja. Hitaassa skenaariossa oletetaan, että ladattavien hybridien saatavuus ja kustannuskehitys rajoittavat niiden yleistymistä siten, että vuosien 2010 ja 2030 välillä niiden osuus kasvaa nolasta 20 %:iin. Täyssähköautojen oletetaan seuraavan ladattavien hybridien yleistymistä perusskenaarion tapaan viiden vuoden viiveellä, jolloin niiden markkinaosuus uusista autoista olisi vuonna 2030 10 %. Taulukko 6 esittää skenaariot sähköautojen ja verkosta ladattavien hybridien yleistymiselle Suomessa vuoteen 2020 ja 2030 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009b)

Taulukko 6: Skenaariot sähköautojen ja verkosta ladattavien hybridien yleistymiselle Suomessa vuoteen 2020 ja 2030 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009b).

	Vuosi	Osuus uusista autoista (%)		Kumulatiivinen myyntimäärä (kpl)		Osuus henkilöautojen liikennesuoritteesta (%)	
		PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV	EV
Perus-skenaario	2020	10	3	66 000	13 000	3	0,6
	2030	50	20	480 000	160 000	19	7
Nopea skenaario	2020	40	6	190 000	26 000	8	1
	2030	60	40	960 000	450 000	38	19
Hidas skenaario	2020	5	2	38 000	12 000	2	0,5
	2030	20	10	207 000	92 000	8	4

Eri skenaarioiden toteutumista on vaikeaa ennustaa, koska lähtötilanteessa sähköautoja ei juuri ole ja kehitys riippuu teknologian, valmistuskustannusten ja öljyn hinnan kehittymisen lisäksi merkittävästi myös valtioiden tukipolitiikasta. (Ruska et al. 2010)

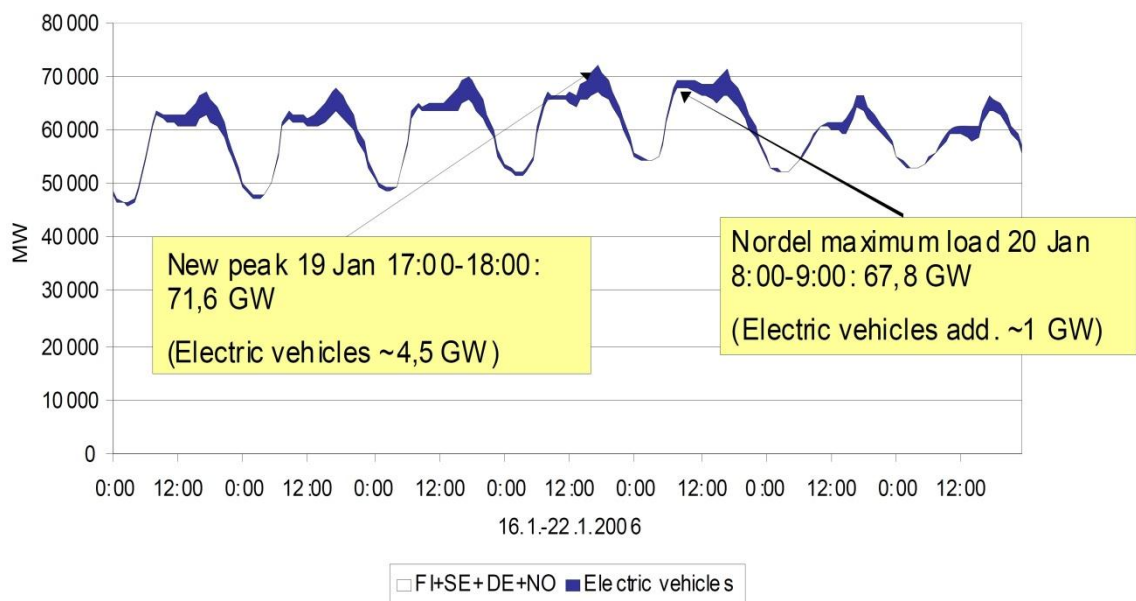
Suomessa on kohtalaisen hyvät valmiudet vastaanottaa merkittäviäkin määriä sähköautoja. Talvisin käytettävän polttomoottorien esilämmityksen ansiosta on olemassa kohtuullisen kattava verkko ulkopistorasioita, jotka soveltuvat myös sähköautojen lataamiseen tietyin rajoituksin. Lisäksi Suomessa on totuttu suhteellisen suurien yksittäisten kuormien, kuten lämminvesivaraajien tai saunojen, kytkeytymiseen pienjänniteverkkoon. Polttomoottorien esilämmitykseen tarkoitettut ulkopistorasiat ovat kuitenkin usein maksimiteholtaan pieniä. Ne soveltuvat siksi vain niin sanottuun hitaaseen lataukseen, joka tyypillisesti tarkoittaa yksivaiheista 10–16 A syötöllä varustettua latauspistettä. Sen maksimi latausteho on 2,3–3,6 kW. Esimerkiksi täyssähköautolle tyypillisen 25 kWh akun lataaminen 3,6 kW teholla kestäisi lähes 11 tuntia olettaen, että latauksen maksimitehoon jätetään 20 % turvamarginaali ja akun ja laturin hyötysuhteiksi oletetaan 0,9 (Mutanen 2009). Samoilla oletuksilla 10 A latausvirralla latausaika olisi jo 17 tuntia. Pitkän latausajan johdosta hitaan latauksen lisäksi tarvitaan tehokkaampia latausmenetelmiä. Kolmivaiheista 16–32 A syöttöä kutsutaan puolinopeaksi lataukseksi. Se mahdollistaa jopa 11–22 kW lataustehon, jolla latausaika olisi yllämainituin oletuksin pienimmillään jo alle 2 tuntia. Puolinopeaa latausta vieläkin nopeampaa latausta kutsutaan pikalataukseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009b)

Pikalataus mahdollistaa sähköauton lataamisen latauspisteellä muutamassa minuutissa polttomoottoriauton tankkaamisen tapaan. Siihen vaaditaan todella suuri latausteho. 25 kWh akun lataaminen täyteen viidessä minuutissa vaatisi noin 460 kW lataustehon yllämainituin oletuksin laskettaessa. Tällaisen tehon siirtäminen ongelmitta aiheuttaa monia haasteita, joita ovat muun muassa turvallisuuden varmistaminen ja akkujen kesto. Vertailun vuoksi nykyisillä huoltoasemilla olevilla bensapumpuilla siirretään energiaa auton tankkiin jopa 20 MW teholla (Mutanen 2009). Polttomoottori ei tosin hyödynnä energiaa yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin sähkömoottori. Kymmenien megawattien tehot sähköautojen latauksessa eivät ole nykyteknologioilla mahdollisia varsinkaan kun otetaan huomioon, että samalta latausasemalta tulisi voida ladata useampaa sähköautoa samanaikaisesti. Pidemmän latausajan pikalatausasemat yhdistettynä kotona ja työpaikalla tehtävään hitaaseen ja puolinopeaan lataukseen lienevät todennäköisin vaihtoehto sähköautojen yleistymisen alkuvaiheessa, koska se on mahdollista toteuttaa jo nykyisillä tekniikoilla. Haasteita aiheuttavat muun muassa latauksen laskutus muualla kuin kotona tehdyssä latauksessa sekä latausverkoston riittävä laajuus.

Sähköautojen sähköenergian tarvetta voidaan ennustaa niiden yleistymisskenaarioiden pohjalta. Yleisesti sähköllä toimivien henkilöautojen oletetaan kuluttavan sähköenergiaa noin 0,15–0,3 kWh/km auton tyypistä riippuen. Keskimääräiseksi kulutukseksi voidaan olettaa 0,2 kWh/km. VTT:n nopean skenaarion mukainen autokanta kuluttaisi vuonna 2020 noin 0,6 TWh ja vuonna 2030 noin 3,9 TWh sähköenergiaa. Laskuissa on oletettu, että verkosta ladattavien hybridien ajokilometreistä 80 % katetaan sähköllä. (Ruska et al. 2010) Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosaston energian ky-

syntäennusteessa on päädytty samankaltaisiin tuloksiin. Siinä perusskenaariona on pidetty, että vuonna 2020 uusista henkilöautoista Suomessa 15 % olisi verkosta ladattavia PHEV-autoja ja 10 % täyssähköautoja ja vuoden 2020 jälkeen kehitys kiihtyisi. Tämän pohjalta sähköautojen sähköenergian käyttö olisi noin 0,5 TWh vuonna 2020 ja noin 3 TWh vuonna 2030. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009a) Koko henkilöautoliikenteen muuttaminen sähköautoilla suoritetuksi nostaisi Suomen sähkön kulutusta vain noin 10 % (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009b)

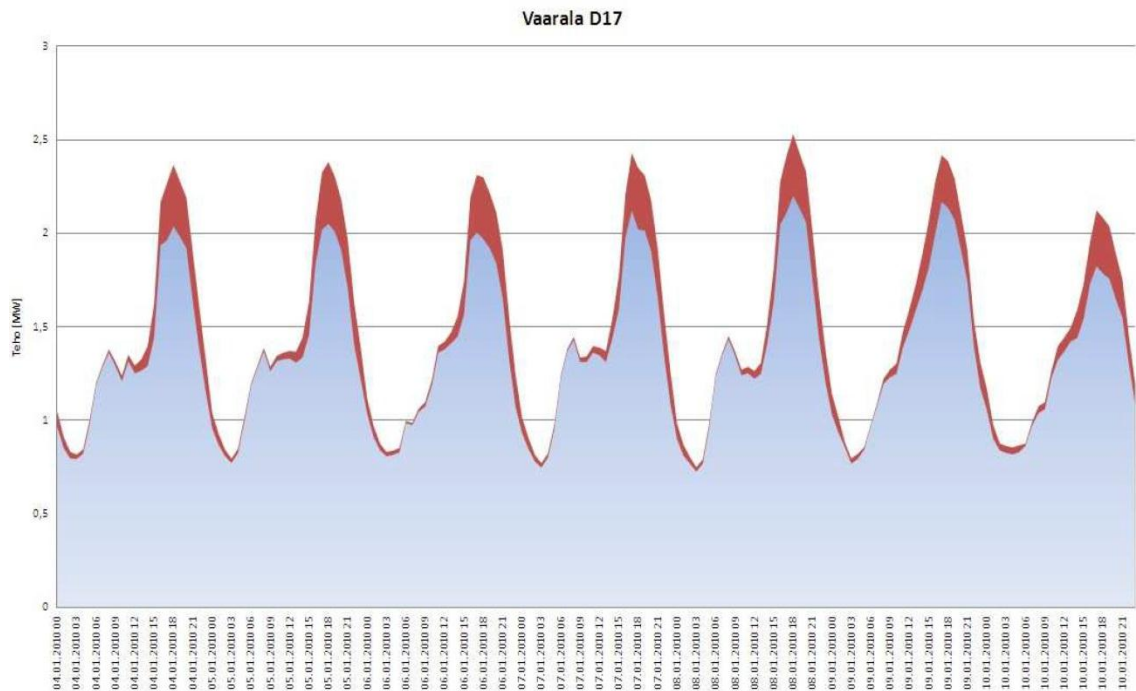
Energian määrän osalta sähköautojen yleistymisen ei siis ole suuri ongelma sähkön siirrolle tai tuotannolle. Sen sijaan energian käytön ajankohta voi aiheuttaa merkittäviä ongelmia. Tutkimusten mukaan sähköautojen lataamisen aiheuttama kuormitus ajoittuisi sähköjärjestelmän kannalta pahimpaan mahdolliseen aikaan eli korkea kuormituksen ajalle alkuiltaan, jos latausta ei ohjata tai optimoida mitenkään. Tämä nostaisi huippukuormitusta entisestään ja vaatisi merkittäviä lisäinvestointeja. Kuva 36 esittää sähköautojen latauksen vaikutusta pohjoismaiden huippukuormaan. Kuva perustuu vuoden 2006 todelliseen huippukulutukseen, johon on lisätty viiden miljoonan sähköauton ohjaamattoman hitaan latauksen kuormitus. (Ruska et al. 2010)



Kuva 36: Viiden miljoonan sähköauton ohjaamattoman latauksen vaikutus vuoden 2006 huippukulutukseen pohjoismaissa (Ruska et al. 2010).

Kuvassa 36 sähköautojen lataamisesta aiheutuva lisäkuorma ajoittuu sähköjärjestelmän kannalta huonoimpaan mahdolliseen aikaan ja nostaa huippukuormaa. Myös Vantaalla tehdyt analyysit sähköautojen lataamisen vaikutuksista osoittavat samanlaisia tuloksia ohjaamattoman hitaan latauksen vaikutuksista. Kuvan 37 esimerkki on Vaaralan sähköaseman yhdeltä lähdöltä, jossa huipputeho kasvoi jopa 17 % sähköautojen lataamisen vaikutuksena. Kuvassa on oletettu, että sähköautojen yleistymisaste sähköasemalähdön alueella olisi 30 % (noin 400 autoa), niiden kulutus olisi 0,2 kWh/km ja ladattava vuotuinen ajomäärä 13000 km. Lataus on mallinnettu ohjaamattomalle hitaalle kotilataukselle tehdyn mallin mukaan, jossa suurin kuormitus ajoittuu iltaan. Malli on rakennettu

Vantaan liikennevirtamittausten sekä Tampereen teknillisen yliopiston latausmallituttimuksen pohjalta (Rautiainen et al.).



Kuva 37: Sähköautojen hitaan kotilatauksen vaikutus Vaaralan sähköaseman lähdöllä, kun sähköautojen yleistymisaste on 30 %, kulutus 0,2 kWh/km ja ladattava vuotuinen ajomäärä 13000 km. Sähköautojen latauksen vaikutus on kuvassa punaisella merkitty alue. (Forsström 2010)

17 % kasvu huippukuormaan on merkittävä, mutta se ei vielä aiheuttaisi välittömiä ongelmia Vaaralan sähköasemalla. Samassa tutkimuksessa sähköautojen lataamisen arviointiin kasvattavan koko Vantaan kuormitusta noin 6 %, kun latausmenetelminä käytettiin koti-, yö- ja työpaikkalatausta ja sähköautojen yleistymisasteena oli 30 %. VES:n verkolla on hyvät edellytykset vastaanottaa sähköautojen kuormitusta ainakin suur- ja keskijännitetasoilla. Pienjänniteverkossa sähköautojen latauksen tuoma lisäkuormitus voi aiheuttaa ongelmia, kuten esimerkiksi muuntajien ylikuormittumista, jo alhaisilla sähköautojen yleistymisasteilla. (Forsström 2010)

Sähköjärjestelmän kannalta parasta olisi, jos sähköautojen latauksen aiheuttama lisäkuorma voitaisiin ajoittaa järjestelmän kannalta parhaaseen aikaan eli ajalle, jolloin kulutus on alhaisimmillaan. Tähän tarvitaan älykästä latausta, joka ohjaa sähköautojen lataamista oikeaan aikaan. Älykkäästi toteutettu sähköautojen lataus ei välttämättä nosta sähköjärjestelmän huipputehoa ollenkaan, vaan ainoastaan tasoittaa kuormitusta. Alhaisen kulutuksen aikana sähkön markkinahinnat ovat usein matalia, jolloin myös sähköauton omistaja säästää olettaen, että lataus tapahtuu markkinahintaan perustuvalla sähkön hinnalla.

Volvo, Ericsson ja Göteborgin energia ovat mukana Viktoria-instituutin järjestämässä hankkeessa, jossa kehitetään älykästä latausjärjestelmää sähköautolle. ELVIIS-nimisen (Electric Vehicle Intelligent Infra Structure) hankkeen tarkoitus on kehittää äly-

käs järjestelmä, joka ajoittaa latauksen halvimmille tunneille ja huolehtii latausenergian laskutuksesta huolimatta siitä, mihin pistorasiaan auto on kytketty. Käytännössä järjestelmä päätelee akkujen lataustarpeen käyttäjän ilmoittaman seuraavan päivän ajomäärän ja käyttöajankohdan perusteella. Lataustarpeen pohjalta järjestelmä ajoittaa latauksen markkinahinnaltaan halvimmille tunneille. Järjestelmä tunnistaa lataustolpat GPS:n sekä mobiiliverkon kautta ja ohjaa latauksen kustannuksen suoraan käyttäjän sähkölaskuun. (Volvo Car Corporation 2012)

Tällaiset älykkäät latausjärjestelmät voivat vähentää sähköautojen verkostovaihtokutuksia ja lisätä sähkön kulutuksen joustoa merkittävästi. VTT:n tutkimuksen mukaan älykkäästä latauksesta saatava kokonaishyöty Suomessa olisi 227 euroa/sähköauto vuodessa ohjaamattomaan lataukseen verrattuna, kun huomioon otetaan häiriöreserviin osallistuminen, joustavuus spot-markkinoilla ja latauksen optimointi markkinahintojen perusteella. Tutkimuksessa on oletettu sähköautojen lukumääräksi miljoona. Kokonaishyödyssä ei ole otettu huomioon sähköverkon kustannuksia, jotka todennäköisesti kasvattaisivat kokonaishyötyä. Sen sijaan sähköauton käyttäjälle muodostuisi älykkäästä latauksesta vain 60 euron hyöty sähköautoa kohden vuodessa ohjaamattomaan lataukseen verrattuna. Ero syntyy sähkön markkinahinnasta. Älykkään latauksen hyödyt ovat siis tutkimuksen mukaan sähköjärjestelmälle erittäin merkittävät, mutta yksittäiselle sähköauton käyttäjälle saavutettu säästö ei välttämättä ole riittävä kannustin. (Ruska et al. 2010)

Pitkällä tähtäimellä sähköautojen akut voivat toimia energiavarastona myös sähköjärjestelmälle silloin, kun sähköautoa ei tarvita liikkumiseen. Tällöin niistä muodostuu olennainen osa älykästä sähköverkkoa. Sähköverkkoon liitetyn sähköauton akkua voitaisiin käyttää energiavarastona esimerkiksi kotitalouden omalle hajautetulle tuotannolle, kuten tuuli- tai aurinkovoimalle. Tällöin tuulisen yön aikana tuulivoimalla tuotettu sähköenergia voitaisiin ladata sähköauton akkuun ja purkaa sieltä sähköverkkoon päivällä, kun sähkön hinta on korkeampi. Täten tuottaja saa sähköenergiastaan paremman tuoton.

Teknologiaa, jossa sähköauton akusta syötetään virtaa sähköverkkoon, kutsutaan Vehicle to Grid -teknologiaksi (V2G). V2G-teknologiaa on mahdollista hyödyntää myös verkon vikatilanteissa. Sähkökatkon aikana yksittäinen kotitalous voisi irrottautua sähköverkosta omaksi saarekkeeksi, ja syöttää sähköä kodin välttämättömiin tarpeisiin sähköauton akusta. Kriittisessä tilanteessa myös PHEV-auton polttomoottoria voitaisiin käyttää tuottamaan sähköä verkkoon. Tätä teknologiaa kutsutaan Engine to Grid -teknologiaksi (E2G). Sekä V2G- että E2G-teknologioiden käyttöön liittyy kuitenkin monia ongelmia. Nykytekniikalla toteutetuilla akuilla on tietty käyttöikä, joka lyhenee jokaisen latauksen ja purun yhteydessä. Tällöin V2G -konseptin mukainen jatkuva akun lataaminen ja purkaminen kuluttaa akkua ja lyhentää sen käyttöikää. Akkujen korkeasta hinnasta johtuen V2G-konseptilla saavutetut hyödyt jäävät helposti akkujen uusimisesta aiheutuvaa investointikustannusta pienemmäksi. Lisäksi sähköenergian syöttäminen eri lähteistä aiheuttaa haasteita verkon suojaukselle ja aiheuttaa pahimmassa tapauksessa turvallisuusriskin. E2G-konseptia koskevat samat ongelmat kuin V2G-konseptiakin.

Lisäksi polttomoottorin käyttö sähkön tuotannossa aiheuttaa päästöjä ja lyhentää polttomoottorin elinikää. Suljetuissa tiloissa, kuten autotalleissa, polttomoottorin käyttäminen voi myös muodostaa turvallisuusrisikin. (Ruska et al. 2010)

Latauksen ajankohtaan ei aina voida vaikuttaa edes älykkäällä latauksella. Akkukapasiteettien kasvaessa myös latausaika kasvaa. Suuren akkukapasiteetin lataaminen hitaalla latauksella voi viedä niin paljon aikaa, ettei latausajankohtaa voida optimoida, vaan auton tulee ladata aina, kun siihen on mahdollisuus. Lisäksi latausajankohta riippuu paljon auton käyttötarkoituksesta. Auto pitää ladata silloin, kun akku on tyhjä, vaikka sähkö olisikin sillä hetkellä kallista. Energiavarastoilla voitaisiin lisätä kysynnänjoustomahdollisuuksia pikalatausasemilla. Niillä voitaisiin myös rajoittaa hetkellistä verkosta otettavaa huipputehoa. Tällaisessa tapauksessa pikalatausaseman energiavarasto voisi latautua pienen kuormituksen ja halvan sähkön aikana, ja purkaa varautunutta energiaa myöhemmin sähköautojen akkuihin. Suuren energiavaraston rakentaminen on kuitenkin toistaiseksi kallista.

3.4.3 Hajautettu tuotanto

Sähkön tuotannossa keskitettyjen suurten tuotantoyksiköiden rinnalle on tulossa pienempiä hajautettuja energiaresursseja. Hajautetulla tuotannolla tarkoitetaan yleensä pienimuotoista tuotantoa, joka sijaitsee eripuolilla jakeluverkkoa ja lähellä kulutusta. Hajautetun tuotannon tuotantomuotoja voivat olla esimerkiksi uusiutuvaa energiaa hyödyntävät tuuli-, aurinko- ja vesivoima sekä fossiilisia polttoaineita hyödyntävät generaattorit. Sähköauton yleistymisen ohella hajautetun tuotannon lisääntyminen on yksi tulevaisuuden mahdollisista suurista muutoksista sähköjärjestelmälle.

Suomessa hajautettua tuotantoa hyödynnetään nykyisin lähinnä varavoimana. Varavoimaa käytetään vain verkon vikatilanteissa, jolloin se syöttää sähköä yhteen tai muutamaan sähkön saannin kannalta kriittiseen kohteeseen. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sairaalat, maataloustilat ja prosessiteollisuus. Sähkönjakeluverkosta irrotettua varavoimaverkkoa kutsutaan saarekkeeksi. Varavoimageneraattorit ovat usein dieselkäyttöisiä, ja niitä ei ole taloudellisesti kannattavaa hyödyntää jatkuvassa sähkön tuotannossa.

Jatkuvatoimisessa käytössä oleva hajautettu tuotanto on kuitenkin yleistymässä. Jatkuvatoiminen hajautettu tuotanto perustuu usein uusiutuvaan energiaan. Tällaisen tuotannon säätö ei usein ole kannattavaa, vaan tuotanto kannattaa hyödyntää täysin aina, kun sitä on saatavilla.

Aurinkopaneeleilla tuotettu aurinkoenergia on ollut Suomessa suosittu tuotantotapa kesämökeillä, jotka sijaitsevat sähköverkon ulottumattomissa. Suuremmissa mitta-kaavassa aurinkoenergiaa hyödynnetään muun muassa Saksassa, joka on huippumaita aurinkoenergian tuotannossa. Saksassa on lähes puolet koko maapallon aurinkovoimakapasiteetista, noin 25 GW. Aurinkoenergian suosio Saksassa perustuu pääosin kannustimiin. Hyvistä kannustimista johtuen aurinkovoiman tuotanto on kasvanut Saksassa jopa enemmän kuin Saksan hallitus on asettanut tavoitteeksi. Maaliskuusta 2012 alkaen

Saksan hallitus onkin leikannut aurinkovoiman tuottamiseen liittyviä kannustimia liian suurten kustannusten välttämiseksi. (Dowling 2012)

Suomessa olisi mahdollista hyödyntää aurinkovoimaa Saksan tapaan. Auringon vuosittainen säteily määrä on Etelä-Suomessa samaa tasoa kuin Keski-Euroopassa. Säteilyn vaihtelu vuodenaajan mukaan on kuitenkin Suomessa huomattavasti suurempaa. Noin 90 % Etelä-Suomen säteilyenergiasta ajoittuu maaliskuu- ja syyskuun väliselle ajalle, ja vuodenaikavaihtelu kasvaa entisestään pohjoisemmaksi siirryttäessä. Lisäksi aurinkovoiman saatavuuden vaihtelu on suurta myös vuorokauden sisällä. Yöllä tai pilvisellä säällä aurinkovoimaa ei välttämättä ole saatavilla ollenkaan. Tämä tekee aurinkovoiman saatavuuden ennustamisen haastavaksi.

Tuulivoimaa pidetään Suomessa suurena mahdollisuutena aurinkovoiman ohella. Energiategorollisuuden vision mukaan 13 % Suomen sähkön tuotannosta tuotetaan tuulivoimalla vuonna 2050 (Energiategorollisuus ry et al. 2010). Suomessa erityisesti rannikoilla, merialueilla ja tuntureilla on tuulivoimapotentiaalia. Vantaa ei siis ole sijaintinsa ja pienien korkeuserojensa takia erityisen otollinen paikka tuulivoimalle.

Paikallisen hajautetun tuotannon ansiosta siirrettävän sähkön määrä voi vähentyä, jos tuotanto sijaitsee lähellä kulutusta. Tällöin myös sähkön siirtohäviöt laskevat. Pientuotanto tukee myös lähialueen jännitettä, joka muuten saattaisi laskea alhaiseksi kaukana sähköasemista sijaitsevilla alueilla. Uusiutuva energia hyödyntävän hajautetun pientuotannon etuihin lukeutuu myös ympäristöystävällisyys. Lisäksi pientuulivoimalat ja aurinkopaneelit ovat omiaan helpottamaan ympäristöystävällisen imagon luomista.

Hajautetun tuotannon lisäämisessä on myös useita ongelmia. Jakeluverkon suojausten monimutkaistuminen on yksi niistä. Nykyisessä jakeluverkossa teho siirtyy yleensä yhteen suuntaan, sähköasemalta lähdön loppua kohden. Hajautetun tuotannon myötä verkkoon tulee useampi tehonlähde, jolloin teho voi siirtyä moneen suuntaan. Esimerkiksi lähdön lopussa sijaitsevat pientuulivoimalat voivat syöttää tehoa sähköasemalle. Tämä asettaa uusia vaatimuksia verkon suojaukselle. Vikatilanteessa hajautettu tuotantoyksikkö voi syöttää virtaa lähdölle, vaikka suojaus olisikin aukaissut katkaisijan sähköasemalta. Tällöin esimerkiksi pikajälleenkytkennän (PJK) yhteydessä hajautettu tuotantoyksikkö pitää yllä vikapaikan valokaarta. Tämän välttämiseksi hajautettu tuotanto pitää ottaa huomioon verkon suojausta suunniteltaessa. Suojauksen tulee kuitenkin toimia myös hajautetun tuotannon ollessa irti verkosta, koska esimerkiksi tyynellä ilmalla tuulivoimalat eivät aina ole kytkettyinä.

Hajautettu tuotanto voi myös lisätä sähköverkon häviöitä, jos välimatka tuotannon ja kulutuksen välillä kasvaa. Esimerkiksi tuuli- ja vesivoima pitää sijoittaa ensisijaisesti niille soveltuvimpiin paikkoihin. Pienten tuotantolaitosten takia ei kuitenkaan ole kannattavaa rakentaa pitkiä matkoja uutta sähköverkkoa. Tämä asettaa rajoituksia pientuotannon rakentamisen kannattavuudelle.

Vaikeasti ennustettavan ja ajan suhteen suuresti vaihtelevan tuotannon hyödyntämiseksi tarvitaan joustavaa kulutusta. Kysynnänjoustolla voidaan lisätä kuormitusta silloin, kun hajautettua tuotantoa on paljon saatavilla, jolloin hajautetun tuotannon hyö-

dynnettävyys paranee huomattavasti. Esimerkiksi sähkölämmityksen yhteydessä voitaisiin hyödyntää kotitalouden omaa pientuulivoimalaa. Tällöin lämminvesivaraaja ohjattaisiin varaamaan lämmitysenergiaa aina, kun tuulivoimala tuottaa sähköenergiaa. Tyyneellä säällä lämmön riittävyys on kuitenkin taattava muilla keinoilla. Samalla periaatteella voitaisiin hyödyntää aurinkoenergiaa esimerkiksi kotitalouden ilmastoinnissa. Tällaisessa tilanteessa tuotannon vaikea ennustettavuus ei välttämättä muodostu ongelmaksi, koska sähköenergia lämmityksen tai ilmastoinnin tarpeisiin voidaan ottaa tarvittaessa myös sähköverkosta.

4 KULUTTAJIEN SUHTAUTUMINEN

Kysynnänjouston potentiaalia on tarkasteltava kriittisesti, vaikka tarkastelut teknisestä potentiaalista näyttävätkin hyviltä. Tekninen potentiaali on mahdotonta hyödyntää, jos kuluttajien kiinnostus joustoa kohtaan on vähäistä. Tämän takia kuluttajien suhtautuminen on kysynnänjouston teknisen potentiaalin lisäksi toinen merkittävä rajoitus, joka tulee ottaa huomioon kysynnänjouston mahdollisuuksia arvioitaessa.

Tällä hetkellä vain suurimmat teollisuusyritykset ovat osoittaneet merkittävää kiinnostusta kysynnänjoustoja kohtaan, mutta jo sähkön kulutukseltaan hieman pienempien yritysten mielenkiintoa on ollut vaikeaa herättää. Kotitalouskuluttajien aktivoiminen kysynnänjoustossa on vieläkin haastavampi tehtävä, koska kotitalouskuluttajat ovat tottuneet käyttämään sähköä juuri silloin, kun sitä tarvitaan. Myöskään joustosta saata- vat hyödyt eivät välttämättä ole pienkuluttajalle lyhyellä tähtäimellä merkittäviä. Lisäksi kysynnänjouston taloudelliset edut kotitalousasiakkaalle ovat usein tapauskohtaisia ja ne saattavat riippua asiakkaan omasta aktiivisuudesta, jolloin tietyn suuruisia etuja on vaikeaa luvata etukäteen. Tällöin kysynnänjoustopotentiaalin aktivoimiseksi mahdollisesti vaadittavia ylimääräisiä investointeja ovat vaikeaa perustella, vaikka niillä todennäköisesti olisikin vain kohtuullinen takaisinmaksuaika. Jo olemassa olevilla älykkäillä sähkömittareilla toteutettu automaattinen kuorman ohjaus onkin asiakkaan kannalta helpoin vaihtoehto. Sen toteuttaminen ei vaadi merkittäviä uusia investointia ainakaan asiakkaalta. Sen avulla on kuitenkin mahdollista päästä ohjaamaan kotitalouksien merkittävämpiä yksittäisiä kuormia eli sähkölämmityksiä, jolloin mahdollisuudet taloudellisiin kannustimiin ovat suuremmat kuin pienempiä kuormia ohjattaessa. Automaattinen älykäs sähkölämmityskuormien ohjaus ei vaikuta kotitalouskuluttajan arkeen välttämättä mitenkään, koska kyse on nykyiseen malliin verrattuna vain ohjaustavan muuttamisesta. Tämän takia kuluttajan saavuttama pienikin hyöty saattaa olla riittävä aktivoimaan kuluttajan kysynnänjoustoan. Lisäksi idea kysynnänjoustosta on jo osittain myyty kotitalouskuluttajille kaksiaikatariffin yhteydessä (Segerstam et al. 2007). Kaksiaikatariffiin pohjalta kotitalouskuluttajat tietävät jo sähkölämmityskuormien ohjauksesta ja siitä miten se on toteutettu. Näin pelkän ohjaustavan muutos on helpommin hyväksyttävissä varsinkin, jos sillä saavutetaan taloudellista tai muunlaista hyötyä.

4.1 Kyselytutkimus

Kysynnänjouston teknisestä potentiaalista ja toteutustavoista on olemassa useita tutkimuksia, mutta kuluttajien suhtautumista asiaan ei ole juurikaan tutkittu. Tämän takia osana diplomityötä päätettiin järjestää asiakaskysely, jonka tarkoituksena oli selvittää asiakkaiden suhtautumista kysynnänjoustoan ja laajempaan informaatioon esimerkiksi

energian kulutuksesta. Kysely suunnattiin pääasiassa kotitalouskuluttajille ja se toteutettiin yhteistyössä Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston kanssa Cleen Oy:n Smart Grids and Energy Markets (SGEM) tutkimusohjelman puitteissa.

Kyselyn markkinoimiseksi kirjoitettiin artikkeli (Liite 2), jossa asiakkaille kerrottiin lyhyesti kysynnänjoustosta ja muista tulevaisuuden trendeistä energia-alalla sekä kehoitettiin heitä vastaamaan kyselyyn. Artikkelin julkaistiin Vantaan Energian Energia-virtaa-asiakaslehden numerossa 4/2011 sekä Vantaan Energian kotisivuilla, josta pääsi kyselyyn painamalla artikkelin lopussa olevaa linkkiä. Kysely julkaistiin asiakaslehden ilmestymisen yhteydessä joulukuun 2011 alussa ja kyselyaika päättyi 18.12.2011.

Kyselyn kysymykset (Liite 1) pyrittiin muotoilemaan mahdollisimman selkeiksi ja helposti ymmärrettäviksi, koska kuluttajien on vaikeaa ymmärtää monimutkaisia teknisiä ratkaisuja tai esimerkiksi sähkömarkkinoiden erityispiirteitä. Samasta syystä kysely haluttiin pitää myös mahdollisimman lyhyenä. Tavoite oli, ettei yksikään asiakas jättäisi vastaamatta sen takia, että kysymykset olisivat liian vaikeita tai kysely veisi liikaa aikaa. Tämän takia kaikki kyselyn kysymykset olivat monivalintakysymyksiä. Useissa kohdissa oli myös mahdollista tarkentaa vastaustaan kirjoittamalla erilliseen kenttään. Kyselyyn valittiin lopulta 13 kysymystä, joiden lisäksi kyselyn lopussa oli vapaa kenttä vastausten tarkennuksia, kommentteja ja palautetta varten. Kyselyn ensimmäisissä kysymyksissä selvitetään asiakkaan perustiedot, kuten kotitalouden sähköenergian vuosikulutusarvio ja asunnon ensisijainen lämmitystapa. Näiden kysymysten jälkeen oli lyhyt selitys kuorman ohjauksesta ja siitä miten se toimii nykyään sekä miten se voisi toimia tulevaisuudessa, jonka jälkeen seurasi kysymykset kuorman ohjauksesta ja kysynnänjoustosta. Lisäksi kyselyn lopussa oli kysymys, joka käsitteli kuluttajan vastaanottamaa informaatiota. Siinä kysyttiin, minkälaisesta sähkön kulutukseen ja hintaan liittyvästä informaatiosta asiakas on kiinnostunut sekä millä tavalla tämä tieto tulisi asiakkaalle välittää.

4.1.1 Kyselytutkimuksen tulokset

Kyselyyn osallistui yhteensä 2114 vastaajaa, tosin kaikki vastaajat eivät vastanneet kaikkiin kysymyksiin. Jokaiseen kysymykseen saatiin kuitenkin yli kaksi tuhatta vastausta ja lisäksi kyselyn lopussa olleeseen vapaaseen palautekenttään saatiin yli kaksisataa kommenttia. Kysynnänjoustoa ja tulevaisuuden energiaratkaisuja koskeviin kyselyihin on asian monimutkaisuuden johdosta ollut vaikeaa saada osallistujia, joten kyselyä voidaan pitää vastaajien lukumäärän osalta erittäin onnistuneena.

Kyselyyn osallistuvien vastaajien tyyppiä ei haluttu rajoittaa, koska aiemmissa tutkimuksissa vastaajia on ollut haastavaa saada riittävä määrä. Rajoittamattomuudesta johtuen kyselyyn saatiinkin hyvin monia erilaisia vastaajia. Suurin osa (noin 40 %) vastaajista oli iältään 30–45-vuotiaita, mutta vastaajia saatiin myös kaikista kyselyyn määritetyistä muista ikäkatgorioista, joita olivat alle 20-vuotiaat, 20–29-vuotiaat, 46–65-vuotiaat sekä yli 65-vuotiaat. Toiseksi eniten vastaajia oli katgorioista 20–29-vuotiaat sekä 46–65-vuotiaat, joista kummastakin muodostui noin 24 % vastaajista. Myös vastaajien sukupuolijakauma oli melko tasainen. Vastaajista noin 54 % oli miehiä ja 46 %

naisia. Noin 80 % vastaajista asui kerros- (46 %) tai omakotitaloissa (34 %) ja loput 20 % rivi- ja paritaloissa. Eniten vastaajia asui kahden hengen taloudessa, mutta osallistujia saatiin myös jopa yli 4 hengen talouksista. Vastaajien kotien pääasiallinen lämmitysmuoto on kaukolämpö (noin 44 % vastaajista), mutta lähes yhtä paljon (noin 39 %) vastaajista asuu sähkölämmityksessä asunnossa. Kaukolämmön suurta osuutta selittää osaltaan kerrostaloasujien suuri määrä sekä kaukolämmön suosio Vantaalla. Näiden perustietojen lisäksi kysyttiin asunnon mahdollisia lisälämmitysmuotoja sekä annettiin mahdollisuus kertoa sanallisesti oman kotinsa lämmityksestä. Useat vastaajat olivat kommenttien perusteella selvästi perehtyneet erilaisiin lämmitystapoihin ja monesta kodista löytyikin muun muassa varaavia takkoja, erilaisia ilmalämpöpumppuja ja lisäksi seitsemän vastaajaa (noin 0,3 % vastaajista) ilmoitti hyödyntävänsä aurinkopaneeleita lämmitysenergian tuottamisessa. Toinen merkittävä asia selvisi, kun kysyttiin vastaajien sähkön vuosikulutusta. Lähes puolet (noin 49 %) vastasi kysymykseen, etteivät tiedä sähkön vuosikulutustaan vaikka kulutukselle oli annettu valmiiksi kuusi eri kategoriata. Tämä indikoi selvästi, että monien vastaajien tietoisuus omasta sähköenergian kulutuksesta on vähäistä ainakin kilowattitunneista puhuttaessa. Sähkölaskun suuruutta kysyttäessä vastauksia olisi voitu saada enemmän, mutta niiden vertailukelpoisuus olisi ollut heikko. Sähkön vuosikulutuksen tietäneet jakautuivat tasaisesti eri kategorioiden välillä. Eniten vastaajia (noin 16 %) kertoi sähkönenergian vuosikulutukseksi 2000–4999 kWh ja toiseksi eniten oli 15000–25000 kWh kuluttavia.

Käyttäjien perustietojen jälkeen seurasi kysymykset kuorman ohjauksesta, kysynnänjoustosta sekä informaation tarpeesta ja välitystavoista. Perustietojen pohjalta voidaan päätellä, että suurella osalla vastaajista on suurta kysynnänjoustopotentiaalia sähkölämmittävien kohteiden suuresta määrästä johtuen. Toisaalta myös kaukolämmitettyjä kohteita oli paljon. Kaukolämmityksessä ja sähköenergian kulutukseltaan pienessä taloudessa asuvan vastaajan voi olla vaikeaa ymmärtää kuorman ohjauksella saavutettavat hyödyt ja muutamissa kommentteissa mainittiinkin, ettei kerrostaloasunnossa juuri ole potentiaalisia ohjattavia kuormia ja vaikutusmahdollisuudet omaan sähkön kulutukseen ovat pienet. Selkeä enemmistö vastaajista (noin 74 %) oli sitä mieltä, että rahallinen säästö sähkölaskussa olisi paras syy antaa ohjata sähkölaitteita muun kuin nykyisen kaksiaikatariffin mukaisesti. Lisäksi noin 29 % vastaajista koki päästöjen vähenemisen olevan hyvä syy sähkölaitteiden ohjaamiseen. Suurin osa vastaajista (noin 22 %) odotti kuorman ohjauksesta 51–100 euron rahallista hyötyä vuodessa, mutta lähes yhtä moni (noin 21 %) odotti jopa 201–500 euron hyötyä. Eniten huolta kuorman ohjauksessa herätti ohjausjärjestelmän toimiminen sovitulla tavalla. Noin 45 % vastaajista oli tätä mieltä ja lisäksi huoli heijastui myös kommentteissa, joissa pelättiin oman kontrollin menettämistä ja järjestelmän vikaantumista aiheuttavia ongelmia. Lisäksi kommentteissa nousi esiin huoli tietoturvasta. Useissa kommentteissa pelättiin, että kuorman ohjausjärjestelmään murtaudutaan ja kytketään kerralla esimerkiksi koko kaupungin lämmitykset pois. Huolta aiheuttivat myös perinteisemmät lämpötilaan liittyvät huolenaiheet, kuten lämpimän käyttöveden riittävyys, vesiputkien jäätyminen ja huonelämpötilan lasku. Vastauksien perusteella omaa vaikutusmahdollisuutta pidettiin erittäin tärkeänä. Jopa 91

% vastaajista oli sitä mieltä, että kuorman ohjaukset pitäisi halutessaan pystyä ohittamaan.

Kyselyn lopussa käsiteltiin kuluttajan vastaanottamaa informaatiota ja sen välittämiskeinoja. Informaatioksi oli kyselyssä listattu asunnon sähkön kulutus, yksittäisen sähkölaitteen sähkön kulutus, oma sähkön kulutus muihin samantyyppisiin kuluttajiin verrattuna, suuret muutokset sähkön kulutuksessa (viitattiin sähkölaitteiden vikaantumiseen) sekä sähkön tuntihinnat. Välitystapoina mainittiin tekstiviesti, sähköposti, internet-palvelu, kulutusnäyttö ja kirje. Lisäksi vastausvaihtoehtona oli, että tämä tieto ei ole kiinnostava. Internet-palvelu valikoitiin suosituimmaksi informaation välitysmuodoksi kaikilla informaatiotyypeillä. Ainoastaan sähkön kulutuksen suurissa muutoksissa myös sähköposti koettiin internet-palvelun vertaiseksi välitysmuodoksi. Tekstiviestit ja kirjeet saivat vain muutaman prosentin kannatuksen eri informaation välityskeinoiksi. Noin 21 % vastaajista koki, että tieto omasta sähkön kulutuksesta muihin verrattuna ei ole kiinnostava.

4.1.2 Yhteenveto

Kyselyn tulokset ovat monilta osin odotetun kaltaisia ja linjassa muista samankaltaisista kyselytutkimuksista saatujen tuloksien kanssa. Kyselyyn osallistuneiden määrä kasvoi jopa yllättävän suureksi. Osaltaan tähän vaikuttivat varmasti kyselyn markkinointi lehdistärtikkelin (Liite 2) ja Vantaan Energian kotisivujen kautta sekä kyselyyn vastanneiden kesken arvottava palkinto. Kyselystä saatiin paljon palautetta, joka oli pääasiassa positiivista. Aihe selvästi herätti mielenkiintoa, mutta myös huolenaiheita.

Tulosten perusteella nousi esiin muutamia selviä haasteita kysynnänjouston edistämiseksi. Suurimpana yksittäisenä haasteena on asian viestintä ja markkinointi, joilla kasvatetaan kuluttajien tietoisuutta. Kyselyn perusteella suuri osa ihmisistä ei ole tietoisia edes omasta sähköenergian vuosikulutuksestaan. Samanlaiseen tulokseen päädyttiin myös Motivan Elvari-ohjelmassa (2010) tehdyssä kyselyssä, jossa noin 68 % vastaajista ei osannut sanoa asuntonsa sähkön vuosikulutusta kilowattitunneissa. Samassa kyselyssä kysyttiin myös vuotuisen sähkölaskun suuruutta euroina, mutta noin 43 % vastaajista ei osannut vastata tähänkään. Samalla kuitenkin kuorman ohjauksella pitäisi useiden vastaajien mielestä saavuttaa useiden satojen eurojen säästöjä, jotta se olisi houkuttelevaa. Tässä on selkeä ristiriita, koska suuri osa kyselyyn vastanneista kuluttaa vain vähän sähköä, jolloin koko vuoden sähkölasku ei välttämättä ole edes kuorman ohjauksesta halutun säästön suuruinen. Tällaisessa tilanteessa kuorman ohjauksesta on vaikeaa tehdä kuluttajan kannalta kiinnostava tuote.

Vähäinen tieto omasta sähkön kulutuksesta johtuu ainakin osittain siitä, että tietoa ei ole tähän asti ollut juurikaan saatavilla. Sähkölaskun yhteydessä ilmoitettu kulutuslukema ei ole riittävä tietoa kuluttajalle varsinkaan, kun lukema on tähän asti perustunut kulutusarvioon eikä sillä täten ole mitään tekemistä käyttäjän oman aktiivisuuden kanssa. Tunti- ja etäluennan myötä asiakkaan käytettävissä oleva tietomäärä kasvaa, mutta pelkkä kasvanut tietomäärä ei yksinään riitä. Lisäksi asiakas pitää saada aidosti kiinnostumaan sähköenergian käyttöön liittyvistä asioista ja tiedon välittämiseksi tulee

olla yksinkertaisia ja luotettavia kanavia. Asiakkaiden kiinnostus omaa energian käyttöön kohtaan tuskin kasvaa suuresti, ennen kuin omat vaikutusmahdollisuudet kasvavat ja toimenpiteillä voidaan osoittaa saavutettavan konkreettisia säästöjä tai muita etuja. Tietoisuus ei myöskään kasva hetkessä, vaan sitä pitää kasvattaa määrätietoisesti. Aktiivinen asenne syntyy, kun on saavutettu riittävä tietoisuus ja kuluttajat ymmärtävät sähköyhtiöiden motiivit sekä omalla aktiivisuudella saavutettavat hyödyt. Sähköyhtiöillä on suuri vastuu kannustaa ja ohjata asiakkaita omaan aktiivisuuteen esimerkiksi uusilla tuotteilla ja palveluilla sekä tuottaa asiakkaille yksinkertaista ja luotettavaa informaatiota. Tietoisuuden kasvattaminen on energiansäästön ja pienkuluttajien kysynnänjouston edistämisen kannalta ensisijaisen tärkeää.

Toinen haaste on saada kuluttajat ymmärtämään kysynnänjouston hyödyt ja palvelun tuottama lisäarvo kuluttajalle. Kyselyssä suurin osa vastaajista ilmoitti, että raha on paras syy ohjata kuormia. Myös Motivan (2010) kyselyssä suurin osa (noin 63 %) vastaajista kertoi rahan olevan suurin motivoiva tekijä, kun kysyttiin tekijöitä, jotka eniten motivoivat vähentämään energian kulutusta. Sekä tämän työn yhteydessä tehdyn kyselyn, että Motivan (2010) kyselyn mukaan huomattava osa vastaajista arvostaa myös ympäristöystävällisyyttä ja päästöjen vähentämistä ja omia kulutustottumuksia ollaan valmiita muokkaamaan niiden vuoksi. Tällöin on kuitenkin vaikeaa osoittaa kuluttajalle omalla aktiivisuudella saavutetut hyödyt konkreettisesti. Myös omat vaikutusmahdollisuudet kuorman ohjauksien toteutukseen koettiin erittäin tärkeiksi. Samanlaisia tarpeita tunnistettiin myös Kuluttajatutkimuskeskuksen älykkään verkon tuoman lisäarvon ymmärtäminen -hankkeessa. Hankkeessa todettiin kuluttajien kaipaavan kuorman ohjauksessa muun muassa selkeää sopimusta, ohjauksen manuaalista ohitusmahdollisuutta sekä selviä hyötyjä yksilölle ja yhteiskunnalle (Heiskanen 2011). Tässäkin törmätään lievään ristiriitaan, koska halutaan selkeitä ja todennettavissa olevia hyötyjä ja silti halutaan säilyttää oma päätösvalta. Asiakkaan omaan aktiivisuuteen ja päätösvaltaan pohjautuvasta joustosta on haastavaa luvata säästöjä tai kannustimia, koska tulokset riippuvat lopulta käyttäjän omasta päätöksestä. Erilaisella kysymyksenasettelulla oman päätösvalan tarpeellisuudesta olisi kuitenkin voitu saada hyvin erilaisia tuloksia. Nyt kyselyssä kysyttiin, pitäisikö kuluttajalla olla kuorman ohjaukselle ylikirjoitusmahdollisuus, johon luonnollinen vastaus helposti on kyllä. Vastaukset olisivat todennäköisesti olleet hyvin erilaisia, jos olisi kysytty kaivataanko nykyisen kaksiaikatariffin mukaisiin ohjauksiin ylikirjoitusmahdollisuutta. Automaattisesti ohjautuvan varaavan sähkölämmityksen yhteydessä kuluttajalla on harvoin tarvetta ohittaa ohjauksia, koska niillä ei ole käytännön vaikutusta kuluttajan jokapäiväiseen elämään. Oikein toteutetuilla ohjauksilla kotitaloudessa riittää aina lämpöä ja lämmintä käyttövetä, jolloin kuluttajan ei tarvitse itse huolehtia ohjauksista. Tällöin myös hyötyjen konkretisoiminen kuluttajalle on helpompaa, koska ohjattava kuorma tunnetaan jo etukäteen ja ohjauksen reunaehdot ja toteutettavuus ovat pääosin selvillä.

Sähkön käyttötavat ovat pysyneet muuttumattomina pitkään, minkä johdosta kulutustottumukset ovat hyvin vakiintuneita. Katkeamaton sähkö koetaan perustarpeeksi, jota käytetään silloin kun tarve ilmenee. Pitkällä aikavälillä vakiintuneiden käyttötot-

tumusten haastaminen on vaikeaa ja vaatii todellisia kannustimia ja ennen kaikkea luottamusta. Luottamus ei rakennu hetkessä, vaan se vaatii kokeilumahdollisuuksia, hyviä ja reiluja sopimuksia, tosielämän esimerkkejä ja julkista keskustelua (Heiskanen 2010).

5 KYSYNNÄNJOUSTON VAIKUTUKSET JAKELUVERKKOYHTIÖLLE

Jakeluverkkoyhtiön rooli kysynnänjoustossa on erittäin keskeinen, koska jakeluverkko luo alustan ja mahdollisuudet uusien palveluiden ja tuotteiden toteuttamiselle. Muutokset sähkön kulutuksessa näkyvät jakeluverkon kuormituksessa liiketoimintamallista tai kuormien ohjaustavasta riippumatta. Siksi jakeluverkkoyhtiön tulee varmistaa, että jakeluverkko mahdollistaa joustavan kysynnän tulevaisuudessa aiheuttamat muutokset.

AMR-mittarit ovat taloudellinen tapa toteuttaa kuorman ohjauksia, koska niiden hyödyntäminen ei vaadi enää merkittäviä lisäinvestointeja. Lisäksi suuri osa sähkölämmityskuormista on jo valmiiksi kytketty AMR-mittarin ohjauksen perään, ja niitä voidaan ohjata automaattisesti ilman sähkön käyttäjän omaa aktiivisuutta. Ilman lisäinvestointeja tai omaa aktiivisuutta saavutetut hyödyt ovat houkuttelevia sähkön käyttäjille. Näistä syistä AMR-mittareilla toteutettu kuorman ohjaus on todennäköinen vaihtoehto kysynnän jouston alkuvaiheissa, ja jakeluverkkoyhtiön on otettava tämä huomioon toimintansa suunnittelussa. Älykkäiden sähkömittareiden avulla tulee pystyä toteuttamaan kuormien ohjauksia, ja lisäksi tuntimittausdatan tulee olla luotettavaa ja katkeamatonta. Tämän lisäksi myyjävetoisen mallin yhteydessä esitellyn myyjätyökalun kehittäminen on älykkäillä sähkömittareilla toteutettavan kuorman ohjauksen suurimpia haasteita. Kuorman ohjaus älykkäillä sähkömittareilla onnistuu jo nykyiselläänkin, mutta ohjauksen välittämiseen ja informaation vaihtoon ei ole olemassa vakioitua työkalua. Jakeluverkkoyhtiön tulee olla aktiivisesti mukana myyjätyökalun kehittämisessä, vaikkei se itse päättäisikään kuormien ohjausajankohdista. Täten jakeluverkkoyhtiö voi varmistaa, että myös jakeluverkon tarpeet tulevat huomioiduksi työkalua kehitettäessä. Lisäksi jakeluverkkoyhtiön tulee varmistua, että myyjätyökalun kehittämisessä otetaan huomioon jakeluverkon haltijan syrjimättömyysperiaatteen toteutuminen.

Asiakaskyselyn tuloksena todettiin, että pienkuluttajien kysynnänjouston edistäminen vaatii määrätietoista tiedottamista ja hyviä käyttökokemuksia. Tällä lisätään sähkön käyttäjien tietoisuutta ja poistetaan ennakkoluuloja sekä kasvatetaan luottamusta. Myyjävetoisessa mallissa päävastuu tiedottamisesta on sähkön myyjällä niin sanotun yhden luukun mallin mukaisesti. Yhden luukun malli helpottaa sähkön käyttäjien asiointia, koska usean eri kontaktirajapinnan sijasta tarvitaan vain yksi. Tämä ei kuitenkaan poista jakeluverkkoyhtiön tiedotusvastuuta. Se on edelleen vastuussa neuvonnasta teknisissä asioissa sekä tiedotuksesta jakeluverkon poikkeustilanteissa. Sähkön myyjä ei myöskään voi olla yksin vastuussa tietoisuuden kasvattamisesta ja kysynnänjouston edistämisestä, vaan siihen tarvitaan määrätietoista yhteistyötä, jossa myös jakeluverkkoyhtiön pitää olla mukana. Hyvät käyttökokemuksen kasvattavat luottamusta ja edistä-

vät kysynnänjouston yleistämistä. Hyvien käyttökokemusten varmistamiseksi jakeluverkkoyhtiön tulee varmistaa, että AMR-mittareiden kuorman ohjaukset toimivat suunnitellusti ja luotettavasti. Tämä on ensisijaisen tärkeää, koska huonot käyttökokemukset alkuvaiheessa saattavat jopa estää pienkuluttajien kysynnänjouston yleistymisen kokonaan.

Puhtaasti jakeluverkon kannalta pienkuluttajien joustavan kysynnän vaikutukset ovat merkittävät, jos ohjauksien ajoitukset toteutetaan oikein. Jakeluverkon huipputeho laski esimerkkitapauksissa merkittävästi. Merkittävin muutos on alueellisissa ongelmankohdissa, joissa pienelläkin joustolla on mahdollista välttyä merkittävilta lisäinvestoinneilta. Tämän takia joustava kysyntä on liitettävä osaksi jakeluverkon kuormituksen ennustamista ja investointisuunnittelua.

5.1 Kysynnänjouston vaikutukset pitkän tähtäimen suunnitteluun ja ennustamiseen

Kuormituksen ennustaminen on yksi jakeluverkkoyhtiön ydintoiminnoista. Se luo pohjan verkon yleissuunnittelulle, joka takaa, että verkko pystyy tyydyttämään siirtotarpeet tulevaisuudessakin. Vantaan Energia Sähköverkot Oy:ssä alueellista sähkökuormaa ennustetaan tarkoitukseen luodun ennustemallin avulla. Mallia on kehitetty ottamaan huomioon uusia kuormituksia, kuten sähköautoja, mutta joustavaa kysyntää se ei huomioi erikseen. Kysynnänjouston yleistyessä se tulee vaikuttamaan alueellisiin kuormituksiin merkittävästi, jolloin se tulee myös ottaa huomioon yleissuunnittelussa.

Kysynnänjouston vaikutuksien arvioiminen on haastavaa ilman oikeanlaisia työkaluja. Verkkotietojärjestelmällä on hyvät mahdollisuudet mallintaa erilaisten kuormitusmallien vaikutuksia erilaisissa skenaarioissa ja eri aikaväleihin. Tätä varten verkkotietojärjestelmään tulisi luoda vakioituneet mallit joustavalle kuormitukselle, kuten ohjattavalle sähkölämmitykselle.

Sähkölämmityksien ohjaustavan muuttamisen vaikutuksia voisi ennustaa myös sähkölämmityksen ominaiskulutuksen perusteella. Tällöin joustavan kuormituksen voisi liittää osaksi nykyistä ennustemallia. Ongelmaksi muodostuu, että sähkölämmitys on nykyisin kuormitusmallissa osa muuta kuormitusta ja sen tarkka erottaminen on haastavaa.

6 YHTEENVETO

Koko sähköjärjestelmässä eletään nyt murrosvaihetta. Muutoksia tapahtuu niin sähkön kulutuksessa ja tuotannossa kuin sähköverkoissakin. Sähkön kulutus muuttuu energiatehokkuus- ja päästövaatimuksien sekä uusien kuormitusten takia. Sähkön tuotannossa suurten keskitettyjen voimalaitosten rinnalle on tulossa pienempää hajautettua tuotantoa, joka sijaitsee usein lähellä kulutusta. Sähköverkoissa monet komponentit ovat elinkaarensa päässä ja ollaan siirtymässä älykkäisiin sähkömittareihin, jotka muodostavat ytimen älykkäälle sähköverkolle. Nyt rakennettavat älykkäät sähköverkot mahdollistavat muun muassa kuluttajan aktiivisuuden kasvattamisen ja uusien kuormitusten, kuten sähköautojen, nykyistä tehokkaamman hallitsemisen. Täten voidaan lisätä sähkön kulutuksen joustavuutta. Joustava kysyntä mahdollistaa hajautetun tuotannon nykyistä paremman hyödyntämisen sekä sähkön toimitusvarmuuden parantamisen. Lisäksi sillä voidaan rajoittaa kulutushuippuja, mistä on etua sähkön tuotannolle, sähköverkoille ja -markkinoille sekä sähkön käyttäjille. Älykkäässä sähköverkossa tehoa ja informaatiota liikkuu moneen suuntaan, mikä luo edellytykset monille uusille tuotteille ja palveluille.

Tässä työssä tutkittiin kysynnänjouston mahdollisuuksia älykkäissä sähköverkoissa. Ensisijaisena näkökulmana pidettiin jakeluverkkoyhtiön näkökulmaa. Erityistä huomiota kiinnitettiin pienkuluttajien sähkölämmityskuormien potentiaaliin. Lisäksi tutkittiin asiakkaiden suhtautumista joustavampaan sähkön kulutukseen sekä informaation tarpeeseen ja välitystapoihin asiakaskyselyn avulla.

Kappaleen 2 alussa tarkasteltiin kysynnänjoustoa yleisesti sekä kulutukseen vaikuttamisen keinoja ja kysynnänjouston teknisiä edellytyksiä. Kysynnänjoustolle on selkeä tarve ja se voi oikein toteutettuna hyödyttää monia osapuolia. Sen tekninen toteutus on jo nyt tietyissä rajoissa mahdollista älykkäiden sähkömittareiden yleistymisen ansiosta. Monimutkaisemmat kuormien ohjaukset vaativat kuitenkin uutta tekniikkaa, joka voi olla jakeluverkkoyhtiön tai muun toimijan hallussa.

Kappaleessa 2.5 pohdittiin eri sidosryhmien rooleja ja tarpeita kysynnänjoustossa. Työssä sidosryhmiksi tunnistettiin sähkön myyjä, jakeluverkkoyhtiö, kantaverkkoyhtiö, pienkuluttajat sekä ulkopuolinen agreggaattori. Näiden pohjalta luotiin kappaleessa 2.6 erilaisia liiketoimintamalleja. Todennäköisimmäksi liiketoimintamalliksi alkuvaiheessa todettiin myyjävetoinen malli, jossa kuormia ohjataan ensisijaisesti sähkön jälleenmyyjän toiveiden mukaisesti. AMR-mittareiden hyödyntäminen kuorman ohjauksessa vähentää alkuvaiheen investointitarvetta, koska tarvittavat laitteistot ovat jo pääasiassa olemassa. Täten voidaan kasvattaa AMR-mittareiden tuottamaa lisäarvoa, ja hyödyntää niihin vaaditut investoinnit nykyistä tehokkaammin. AMR-mittareiden hyödyntäminen liittyy jakeluverkkoyhtiön tärkeäksi osaksi myyjävetoista mallia. Myös

muut liiketoimintamallit ja kuorman ohjaustavat ovat mahdollisia varsinkin myöhemmin kysynnänjouston yleistymisen jälkeen.

Kolmannessa kappaleessa tutkittiin kysynnänjouston potentiaalia. Erityisesti pienkuluttajien sähkölämmityksien kysynnänjoustopotentiaali Vantaalla oli tutkimuksen kohteena.

Pienkuluttajat muodostavat merkittävän osan sähkön kokonaiskulutuksesta, mutta niiden kulutus on lähes joustamatonta. Pienkuluttajien kysynnänjousto rajoittuu lähinnä kaksiaikatariffin mukaiseen joustoon. Työssä luotiin todellisten AMR-mittauksien pohjalta kuormitusmalli sähkölämmitykselle Vantaalla. Kuormitusmallin avulla laskettiin sähkölämmityskuormien potentiaalia Ylästön kaupunginosassa sekä koko Vantaan alueella. Ylästön kaupunginosa valittiin, koska se on erittäin sähkölämmitysvaltainen alue ja siellä oletettiin täten olevan suuri potentiaali.

Kuormitusmallin pohjalta tehtyjen laskelmien pohjalta voidaan todeta, että sähkölämmityskuormien vaikutukset ovat erittäin suuret. Varsinkin sähkölämmitysvaltaisella alueella sähkölämmityksen aiheuttama kuormitus muodostaa suuren osan kokonaiskuormituksesta. Ylästön kaupunginosassa pelkän sähkölämmityksen huipputeho nousi kylminä päivinä useisiin megawatteihin.

Koko Vantaalle saadut tulokset ovat yhteneväiset Ylästön kaupunginosan tuloksien kanssa. Vantaan sähkölämmityskuormat muodostavat merkittävän kokonaisuuden, jonka älykkäällä ohjauksella voitaisiin saavuttaa monia etuja, kuten jakeluverkon ongelmakohtien huipputehon alentuminen.

Sekä Ylästön kaupunginosan että koko Vantaan sähkölämmityskuormien verkostovaikutuksia tutkittiin myös verkkotietojärjestelmässä mallintamalla. Verkkotietojärjestelmään luotiin käytössä olevien indeksisarjojen pohjalta uudet indeksisarjat. Uusissa indeksisarjoissa sähkölämmityskuormien yöajan sähköenergian tarve tasoitettiin koko yöajan voimassaolon ajalle. Ylästön kaupunginosassa muutosta pienjänniteverkossa mallinnettiin yhdessä muuntopiirissä, jonka kuormitus koostui pääosin sähkölämmityskuormista. Valitun muuntopiirin kaapelit olivat lähtötilanteessa korkeasti kuormitettuja ja osa jopa ylikuormitettuja. Muutoksen ansiosta muuntopiirin huipputehoa saatiin tiputettua merkittävästi. Laskeneen huipputehon ansiosta myös muuntopiirin ylikuormitusongelma poistui. Muutos näkyi selvästi huipputehon laskuna myös kaupunginosaa syöttävällä keskijännitelähdöllä. Koko Vantaata mallinnettaessa muutokset olivat vaikeampia havaita. Tämä johtuu osittain muun kuormituksen suuresta määrästä sekä kuormitushuipun ajoittumisesta alkuiltaan yöajan ulkopuolelle. Silti huippukuormitus laski muutoksen seurauksena usealla sähköasemalähdöllä ja kahdella päämuuntajalla. Tulokset osoittavat, että verkkoyhtiön olisi mahdollista välttää merkittäviä lisäinvestoinneilta sähkölämmityskuormien ohjaustapaa muuttamalla. Varsinkin alueellisissa ongelmakohtissa pienellä ohjaustavan muutoksella voi olla merkittävät vaikutukset kuormitustilanteeseen.

Sähkölämmitykselle saatuja tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että niiden todettiin olevan voimakkaasti lämpötilariippuvaisia. Tämä tulee ottaa huomioon kysynnänjouston potentiaalia arvioitaessa. Jatkotutkimusta varten sähkölämmitykselle

luotua kuormitusmallia pitäisi tarkentaa useammilla AMR-mittauksilla sekä laajentaa mallia kattamaan pidempi aikaväli. Myös verkkotietojärjestelmään voitaisiin luoda useampia erilaisia indeksisarjoja, joiden avulla voisi mallintaa eri skenaarioiden verkostovaikutuksia. Näitä skenaarioita voitaisiin käyttää yleissuunnittelussa ja investointipäätöksien tukena.

Kappaleen 3 lopulla tarkasteltiin uusia kuormituksia ja niiden erityispiirteitä. Jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta uudet kuormitukset, kuten sähköautot ja hajautettu tuotanto, luovat monia haasteita, mutta niissä on myös mahdollisuuksia. Esimerkiksi sähköautojen laajamittainen yleistyminen aiheuttaa lisäkuormitusta sähköverkolle, mutta älykkään latauksen ansiosta se ei välttämättä nosta verkon huipputehoja. Pitkällä tähtäimellä sähköautot voivat jopa mahdollistaa sähkön varastoinnin akkuihin ja purkamisen takaisin verkkoon. Hajautettu tuotanto taas aiheuttaa ongelmia esimerkiksi verkon nykyiselle suojaustekniikalle, mutta toisaalta sitä voidaan hyödyntää myös varavoimana sähköverkon häiriöiden aikana.

Pelkkä liiketoimintamalli ja suuri potentiaali eivät yksinään riitä, jos pienkuluttajia ei saada aktivoitua kiinnostumaan sähkön kulutuksesta. Kappaleessa 4 tutkittiin sähkön käyttäjien suhtautumista joustavampaan sähkön kulutukseen sekä lisäinformaation tarpeeseen ja välitystapoihin.

Asiakaskysely osoitti selvästi, että tietoisuuden ja kiinnostuksen kasvattaminen on yksi pienkuluttajien kysynnänjouston kehittämisen suurimmista haasteista. Pienkuluttajien tietoisuus omasta sähkön kulutuksestaan ja sähkölaskun suuruudesta on erittäin vähäistä. Tämän takia joustavammalla kulutuksella saavutettujen etujen odotetaan olevan jopa suuremmat kuin koko vuotuinen sähkölasku. Suuret odotukset vaikeuttavat uusien tuotteiden ja palveluiden markkinoimista, koska odotuksiin ei välttämättä pystytä vastaamaan. Tämän takia pienkuluttajien kysynnänjouston tulee olla mahdollisimman automatisoitua ja helppoa. Pienikin etu saattaa riittää kannustimeksi, jos kuluttajan ei tarvitse nähdä vaivaa tai muuttaa tapojaan kysynnänjouston toteuttamiseksi. Tämä on mahdollista automaattisen kuorman ohjauksen avulla.

Myyjävetoisessa mallissa sähkön myyjä ja jakeluverkkoyhtiö jakavat vastuun tiedottamisesta. Päävastuu on kuitenkin sähkön myyjällä. Tiedotusvastuun keskittäminen sähkön myyjälle selkeyttää toimintaa asiakkaan näkökulmasta, koska tällöin kontaktipintoja on vain yksi. Jakeluverkkoyhtiön tulee kuitenkin säilyttää tiedotusvastuu teknisissä asioissa sekä sähköverkon poikkeustilanteissa. Kuluttajien tietoisuuden kasvattamisen kannalta on tärkeää, ettei tiedotusvastuuta jätetä vain yhden toimijan vastuulle, vaan tehdään määrätietoista yhteistyötä. Yhteneväisen linjan ja hyvien käyttökemien perusteella kuluttajien luottamus ja ymmärrys kasvavat, jolloin kysynnänjouston tarve on helpompaa ymmärtää.

LÄHTEET

Belonogova, N., Lassila, J. & Partanen, J., 2010. Effects of demand response on the distribution company business. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Nordic Conference on electricity Distribution System Management and Development Aalborg, Tanska, 6.-7.9.2010. 17 s.

Chardon, A., Almén, O., Lewis, P., Stromback, J. & Château, B., 2008. Demand Response: a decisive breakthrough for Europe. How Europe could save Gigawatts, Billions of Euros and millions of tons of CO₂. Capgemini. 30 s.

Dowling, S., 2012. Germany battles over the future of solar energy. GlobalPost, [WWW]. Saatavissa: <http://www.globalpost.com/dispatch/news/regions/europe/germany/120217/germany-battles-over-the-future-solar-energy> [Viitattu 5.3.2012].

Energiamarkkinavirasto, 2011. Sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamenetelmien suuntaviivat vuosille 2012–2015. Energiamarkkinavirasto 29.6.2011. 74 s. + liitt. 11 s.

Energiateollisuus ry, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Turun kauppakorkeakoulu/Tulevaisuuden tutkimuskeskus, 2010. Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050. Energiateollisuus ry. 67 s.

Energiateollisuus ry, 2011b. Sähkön hinta ja sopimukset. [WWW]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/sahkomarkkinat/sahkon-hinta-ja-sopimukset> [Viitattu 7.10.2011].

Energiateollisuus ry, 2011a. Tilastot ja julkaisut. [WWW]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/tilastot-ja-julkaisut> [Viitattu 2.11.2011].

ENSTO-E, 2011. Consumption data. [WWW]. Saatavissa: <https://www.entsoe.eu/resources/dataportal/consumption/> [Viitattu 28.10.2011].

Fingrid Oyj, 2011. Fingrid – yritysinfo. [WWW]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/yritysinfo/> [Viitattu 15.9.2011].

Fingrid Oyj, 2011. Säätosähkömarkkinat. [WWW]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/palvelut/tasepalvelut/saatosahkomarkkinat/> [Viitattu 26.10.2011].

Forsström, S., 2010. Sähköautojen latauskuormituksen mallintaminen sähköjakeluverkossa verkkotietojärjestelmää hyödyntäen. Vantaan Energia Sähköverkot Oy. 32 s.

Heiskanen, E., 2011. Älykkään sähköverkon tuottama lisäarvo kuluttajalle. Esitys Adato Energia Oy:n Sähkön kysyntäjoustoseminaarissa. Vantaa, 3.11.2011

Ikäheimo, J., Coentini, E. & Kärkkäinen, S., 2010. DER Aggregator business: the Finnish case. Tampere, tutkimusraportti VTT-R-06961-09, 39 s. + liitt. 23 s.

Ilmatieteenlaitos, 2011. Suomen nykyilmasto ja ilmastotilastot – kuukausitilastot. [WWW]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/syyskuu> [Viitattu 28.12.2011].

Karjalainen, S., 2010. Consumer preferences for feedback on household electricity consumption. *Energy and Buildings*, 43. s. 458-467.

Kattelus, J., Tolonen, J., Honkasalo, N., Leskelä, J., Niskala, K. & Sundman, S., 2007. Arvio Suomen sähkön kysynnästä vuosille 2020 ja 2030. Elinkeinoelämän keskusliitto EK ja Energiateollisuus ry. 19 s.

Koponen, P., Kärkkäinen, S., Farin, J. & Pihala, H., 2006. Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkökäytön ohjaus. Loppuraportti. Espoo, VTT Tiedotteita 2362. 66 s. + liitt. 8 s.

Koskelainen, A., 2010. Sähkön hintapiikit tulevat kalliiksi sähkökäyttäjälle. [WWW]. Suomen Elfi Oy. Saatavissa: <http://www.elfi.fi/index.php?section=32> [Viitattu 7.9.2011].

Kyllönen, O., 2011. Stul teilasi taas uudet rakentamismääräykset. *Rakennuslehti - Rakentaminen*, [WWW]. Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/rakentaminen/23844.html> [Viitattu 9.1.2012].

Kärkkäinen, S., Koponen, P., Martikainen, A. & Pihala, H., 2006. Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin tila ja luomat mahdollisuudet. Espoo, VTT-R-09048-06, 63 s. + liitt. 7 s.

Lehtinen, S., 2009. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta – mikä muuttuu? Asetuksen siirtymäaikataulu ja aiheutuvat muutokset. Energiamarkkinavirasto tekninen valvonta.

Losi, A., Lombardi, M., Di Carlo, S. & D'Avino, R., 2011. Active Demand: the future of electricity. Raportti. The ADDRESS First International Workshop, Clamart, Paris, 9.6.2010. 37 s.

Moffratt, M., 2011. Price Elasticity of Demand. [WWW]. Saatavissa:
<http://economics.about.com/cs/microhelp/a/priceelasticity.htm> [Viitattu 8.9.2011].

Motiva Oy, 2011. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. [WWW]. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi [Viitattu 30.12.2011].

Motiva Oy, 2010. Sähkölämmityksen tehostamisohjelma Elvari – Lukemalaskutukseen siirtyminen ja asiakaskyselyn tulokset. [WWW]. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/3959/Asiakaskysely_Lukemalaskutukseen_siirtyminen_ja_asiakaskyselyn_tulokset.pdf [Viitattu 1.2.2012].

Mutanen, A., 2009. Sähköautojen ja plug-in hybridien vaikutukset sähköverkkoihin. Esityskalvot. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähköenergiatekniikan laitos.

Nord Pool Spot, 2011a. Elspot prices. [WWW]. Saatavissa:
<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/> [Viitattu 7.9.2011].

Nord Pool Spot, 2011b. Fees. [WWW]. Saatavissa:
<http://www.nordpoolspot.com/TAS/Day-ahead-market-Elspot/Fees/> [Viitattu 26.10.2011].

Nord Pool Spot, 2011c. Power Data Services – product details. [WWW]. Saatavissa:
<http://www.nordpoolspot.com/TAS/Power-Data-Services/Product-details/> [Viitattu 7.10.2011].

Ohlström, M., Ruohomäki, K., Honkasalo, N., Leskelä, J., Sundman, S., Westergren, M., Fagerblom, A. & Kätkä, M., 2009. Arvio Suomen sähkön kysynnästä vuonna 2030. Elinkeinoelämän keskusliitto EK ja Energiateollisuus ry. 23 s.

Oksanen, L., 2011. Distribution system operator as an enabler of the electricity market – Connecting small-scale production and demand response. Master of Science Thesis. Tampere. Tampere University of Technology, Master's Degree Programme in Electrical Engineering, 83 p.

Partanen, J., Viljainen, S., Lassila, J., Honkapuro, S., Tahvanainen, K., Karjalainen, R., Annala, S. & Makkonen, M., 2011. Sähkömarkkinat – opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Pihala, H., Farin, J. & Kärkkäinen, S., 2005. Sähkön kysyntäjouaston potentiaalikäyttö teollisuudessa. Espoo, VTT. PRO3/P3017/05, 29 s. + liitt. 5 s.

- Päivinen, R., 2008. Valot päällä pakkasilla tai vesisateilla – tulevan talven tehotilanne. Fingrid Oyj käyttövarmuuspäivä 26.11.2008. [WWW]. Saatavissa: http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/uutiset/seminaarit/seminaarit_2008/ [Viitattu 28.10.2011].
- Pöyry PLC, 2011. Sähkön kysyntäjousto. [WWW]. Saatavissa: http://www.poyry.fi/Artikkelit/Sahkon_kysyntajousto.html [Viitattu 8.9.2011].
- Rautiainen, A., Repo, S., Järventausta, P. & Mutanen, A. Statistical charging load modelling of PHEVs in electricity distribution networks using National Travel Survey data. Tampere University of Technology. 27 p.
- Ritonummi, T., Rajala, A., Lindroos, R., Heinimäki, R., Hirvonen, R., Seppälä, P. & Matikainen, M., 2008. Sähkön kysyntäjoustop edistäminen. Helsinki, Työ- ja elinkeinoministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 15/2008
- Roberts, S & Baker, W., 2003. Towards effective energy information – Improving consumer feedback on energy consumption. A report to Ofgem by the Centre for Sustainable Energy. 37 s. + liitt. 8 s.
- Ruotsalainen, J., 2007. Kysyntäjousto sähkömarkkinoilla. Projektityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 30 s.
- Ruska, M., Kiviluoma, J. & Koreneff, G., 2010. Sähköautojen laajan käyttöönoton skenaarioita ja vaikutuksia sähköjärjestelmään. VTT Working Papers 155. 46 s.
- Segerstam, J., Junntila, A., Lehtinen, J., Lindroos, R., Heinimäki, R., Hänninen, K. & Salomaa, P., 2007. Sähkön kysyntäjousto suurten loppuasiakasryhmien kannalta. Energiateollisuus ry, 30 s.
- Selonen, Tiia., 2010. Customer interface of distribution system operator in the Nordic electricity market. Master of Science Thesis. Tampere. Tampere University of Technology, Master's Degree Programme in Electrical Engineering. 87 p.
- Seppälä, J. & Koponen, P., 2011. AMM-järjestelmällä toteutetun varaavan sähkölämmityksen dynaamisen kuormanohjauksen toimintamalli ja kenttäkokeet. Espoo, VTT-R-09756-10, 24 s.
- Similä, L. & Pihala, H., 2010. Energianäytöt uutena sähkön kuluttajapalautteen muotona. Espoo, VTT-R-02235-10, 40 s. + liitt. 6 s.

Suomen Sähkölaitos r.y., 1992. Sähkön käytön kuormitustutkimus 1992. Helsinki, Suomen Sähkölaitosyhdistys r.y., Julkaisusarja 5/92. 172 s.

Sävel-työryhmä, 2005. Sähkölämmitysveron toteuttamiskelpoisuus Suomessa. Ympäristöministeriö. [WWW]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=42617&lan=fi> [Viitattu 8.11.2011]

Tekla corporation, 2010. Tekla Xpower PSA Theory Guide. Version 7.7 For Finland, 187 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2009a. Energian kysyntä vuoteen 2030 – Arvioita sähkön ja energian kulutuksesta. Työ ja elinkeinoministeriön energiaosasto. 16 s. + liitt. 9 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2009b. Sähköajoneuvot Suomessa – selvitys. Biomeri Oy. 92 s. + liitt. 37 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2009c. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Helsinki, [WWW]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066> [Viitattu 23.9.2011].

Valtonen, P., 2009. Interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamat energiatehokkuutta tukevat toiminnot ja niiden kannattavuus. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 125 s.

Valtonen, P. & Honkapuro, S., 2010. Aggregaattoritoiminnan ja –palveluiden toteutettavuus Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 45 s.

Vantaan Energia Oy, 2012. Vantaan Energia – Energiaa Elämään. [WWW]. Saatavissa: <http://www.vantaanenergia.fi/> [Viitattu 15.2.2012].

Vehviläinen, I., Bröckl, M., Virtanen, E. & Kallio, M., 2010. Nordic electricity peak prices during the winter 2009-2010. Final report. Gaia Consulting Oy, 43 s.

Vihanta, A., 2011. Uudet rakennusmääräykset hämmentävät. YLE Keski-Pohjanmaa, [WWW]. Saatavissa: http://yle.fi/alueet/keski-pohjanmaa/2011/08/uudet_rakennusmaaraykset_hammentavat_2778945.html [Viitattu: 9.1.2012].

Volvo Car Corporation, 2012. Smart Research project on charging of electric cars. [WWW]. Saatavissa: <http://www.media.volvocars.com/> [Viitattu: 24.2.2012].

LIITE 1



Sinustako tulevaisuuden edistyksellinen sähkökäyttäjä?

Sähkön kysyntäjoustolla tarkoitetaan sitä, että runsaasti sähköä kuluttavat toiminnot, kuten tilojen ja käyttöveden lämmitys ajoitetaan niin, että sähköntuotantolaitokset ja sähköverkot toimivat optimaalisesti. Kun sähkönkulutusta ajoitetaan tasaisesti koko vuorokaudelle, tarve usein runsaspäästöisten huippukuormavoimalaitosten käytölle pienenee.

Esimerkki jo nykyisin käytössä olevasta kysyntäjousta on lämminvesivaraajan käyttö yöaikaan, kun muu kulutus on pienimmillään. Kun tuulivoiman ja muun vaikeasti ennustettavan tuotannon määrä lisääntyy, kasvaa myös tarve nykyistä dynaamisemmin toimivalle kysyntäjousta. Tällä kyselyllä selvitetään kotitalouksien mielipiteitä nykyistä joustavammasta sähkökäytöstä.

Kyselyyn vastaamiseen menee noin 15 minuuttia. Suurin osa kysymyksistä on tyypiltään monivalinta- tai valintakysymyksiä. Voit lähettää kyselyn, vaikka et vastaisikaan kaikkiin kysymyksiin. Kyselyn lopussa olevaan tekstikenttään voit halutessasi kirjoittaa lisäyksiä vastauksiisi.

Kyselyn viimeinen vastauspäivä on 18.12.2011. Vastaajien kesken arvotaan Ipad. Kysely toteutetaan anonymisti ja lähetä-painikkeen jälkeen avautuu erillinen yhteystietomake arvontaa varten.

Kyselyn toteuttavat Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Vantaan Energia ja VTT. Lisätietoja kyselystä antaa Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkija Salla Annala, salla.annala@lut.fi, puh: 0408372104.

VASTAAJAN TIEDOT

1) Ikä

- Alle 20
- 20-29
- 30-45
- 46-65
- Yli 65

2) Sukupuoli

- Nainen
- Mies

3) Kuinka monta henkeä taloudessasi asuu?

- 1
- 2
- 3
- 4
- Yli 4

4) Valitse seuraavista asunosi tyyppi

- Kerrostalo
- Rivitalo
- Paritalo
- Omakotitalo

5) Mikä on asunosi pääasiallinen lämmitysmuoto?

- Sähkölämmitys
- Kaukolämpö
- Öljylämmitys
- Maalämpö
- Puulämmitys
- Muu, mikä?

6) Mitä lisälämmitysmuotoja asunnossasi on? (voit valita useita)

- Ei lisälämmitystä
- Puulämmitys
- Ilmalämpöpumppu
- Sähkölämmitys
- Aurinkopaneeli
- Muu, mikä?


7) Kuinka paljon sähköä kulutat vuodessa?

- En tiedä
 Alle 2000 kWh
 2000-4999 kWh
 5000-9999 kWh
 10000-14999 kWh
 15000-25000 kWh
 Yli 25000 kWh

SÄHKÖLAITTEIDEN OHJAUS

Tällä hetkellä sähköverkkoyhtiö ohjaa kotitalousasiakkaiden varaavaa sähkölämmitystä ja lämminvesivaraajaa päivä/yötariffin mukaisesti. Laitteet ohjataan päälle, kun halvempi yötariffi tulee voimaan ja pois päältä aamulla, kun muu kulutus on suurempaa. Tulevaisuudessa ohjauksen aikajaoittelua voidaan muuttaa niin, että aikarajat vaihtuvat päivittäin.

8) Millä perusteella antaisit ohjata sähkölaitteitasi (ennalta sovitut laitteet ja ehdot) muun kuin nykyisen päivä/yoohjauksen mukaisesti? (voit valita useita)

- Säästö sähkökustannuksissa
 Päästöjen väheneminen
 Jos saisin samalla myös itse mahdollisuuden ohjata sähkölaitteitani etäyhteyden kautta (esim. kännykän tai internet-palvelun)
 En mistään syystä
 Muu syy, mikä?

9) Kuinka suurta rahallista hyvitystä vastaan suostuisit siihen, että sähkölaitteitasi ohjataan? (Ohjauksilla ei tarkoiteta sähkökatkoja vaan pieniä muutoksia huonelämpötilassa ja käyttöveden lämpötilassa.)

- 0-20 € vuodessa
 21-50 € vuodessa
 51-100 € vuodessa
 101-200 € vuodessa
 201-500 € vuodessa
 Muu summa, mikä?

10) Mitkä syyt huolestuttaisivat sinua, jos sähkölaitteitasi ohjattaisiin etäyhteyden avulla? (voit valita useita)

- Ei mikään
 Huonelämpötilan lasku
 Lämpimän käyttöveden riittävyys
 Vesiputkien jäätyminen
 Ohjausjärjestelmän toimiminen sovitulla tavalla
 "Isoveli valvoo"
 Muu, mikä?

11) Pidätkö tärkeänä, että pystyt halutessasi mitätöimään sähkölaitteidesi etäohjaukset?

- Kyllä
 Ei

12) Suostuisitko sähkölaitteiden etäohjaukseen, jos saisit vastineeksi alennusta sähköverosta?

Kotitalouksilta perittävän sähköveron suuruus on noin 2,09 snt/kWh. Esim. 20000 kWh vuodessa kuluttava kotitalous maksaa sähköveroa vuodessa noin 420 €.

- Kyllä, kuinka suuri alennuksen pitäisi olla?
 Ei

SÄHKÖN KULUTUKSEN JA HINNAN SEURAAMINEN


13) Missä muodossa haluaisit tietoa seuraavista sähkökulutukseen ja hintaan liittyvistä asioista? (voit valita useita)

	Tekstiviesti	Sähköposti	Internet-palvelu	Kulutusnäyttö	Kirje	Tämä tieto ei kiinnosta
Asunnon kokonaissähkökulutus tietyllä hetkellä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yksittäisen laitteen sähkökulutus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Oma sähkökulutus verrattuna verrattuna samantyyppisiin kuluttajiin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suuret muutokset sähkökulutuksessa (voivat viitata esim. sähkölaitteen vikaantumiseen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sähkön tuntihinnat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

KOMMENTTEJA KYSELYSTÄ

14) Tähän voit kirjoittaa tarkennuksia vastauksiisi ja kommentteja kyselyn aiheista.

Kyselyn lähettämisen jälkeen avautuu uusi lomake, johon voit jättää yhteystietosi arvontaa varten. Kyselyn vastauksia ei yhdistetä vastaajaan.

Lähetä



LIITE 2



**Osallistu
kyselyyn
sähkön
kysynnän
joustoista!**

Sinustako tulevaisuuden edistyksellinen sähkökäyttäjä?

■ *Tuuli ulvoo puiden latvoissa ja myrsky on nousemassa. Tänä yönä tuulimyllyt pyörivät vinvasti ja lataavat sähköautojen akkuja seuraavaa aamua varten. Aamulla auringon noustessa alkavat aurinkokennot syöttää sähköä asuntosi ilmastointia varten. Ylimääräinen energia syötetään sähköverkon välityksellä muiden sähkökäyttäjien tarpeisiin.*

Tulevaisuudessa ekologisesti tuotettua sähköä on aina tarjolla, satoi tai paistoi. Tämä kaikki tapahtuu automaattisesti ollessasi töissä, lomalla, harrastuksissa tai nukkuessasi. Näinkö sinunkin kotisi sähkölaitteet toimivat tulevaisuudessa?

Älykkäiden sähköverkkojen myötä sähkön kysyntää ja tuotantoa on mahdollista hallita nykyistä huomattavasti tehokkaammin. Kysynnän joustossa on kyse siitä, miten sähkönkulutusta, kuten sähköauton akkujen latausta tai

lämmivesivaraajan lämpötilan nostoa, siirretään automaattisesti siten, että se on sähkökäyttäjän, sähköjärjestelmän ja ympäristön kannalta edullisinta. Kysynnän joustolla pystytään hyödyntämään ympäristöystävällistä tuotantoa mahdollisimman paljon ja tasoittamaan sähköverkon kuormitusta. Käyttäjälle joustot näkyvät edullisempina sähkönä ilman vaivannäköä tai mukavuudesta tinkimistä.

Vantaan Energia Sähköverkot Oy on jo aloittanut varautumisen tulevaisuuteen ja tutkii nyt yhteistyössä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa kuluttajien suhtautumista sähkön kysynnän joustoon. Oletko sinä valmis tulevaisuuden sähkökäyttäjäksi? Lue lisää, osallistu kyselyyn ja voita iPad!

www.vantaanenergia.fi