

# AMM-järjestelmällä toteutetun varaavan sähkölämmityksen dynaamisen kuormanohjauksen toimintamalli ja kenttäkokeet

Kirjoittajat: Joel Seppälä Helen Sähköverkko Oy, Pekka Koponen VTT

Luottamuksellisuus: julkinen



Raportin nimi AMM-järjestelmällä toteutetun varaavan sähkölämmityksen dynaamisen kuormanohjauksen toimintamalli ja kenttäkokeet		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot TEKES Jussi Mäkelä	Asiakkaan viite Dnro 2441/31/09 Rahoituspäätös 1031/09	
Projektin nimi Smart Grids and Energy markets	Projektin numero/lyhytnimi 41103/SGEM	
Raportin laatija(t) Joel Seppälä Helen, Pekka Koponen VTT	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 24/-	
Avainsanat Sähkön kysyntäjousto, kuormien hintaohjaus	Raportin numero VTT-R-09756-10	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Sähkömarkkina-asetus 66/2009 edellyttää sähkön kulutuksen tuntikulutuksen mittautta ja todelliseen tuntikulutukseen perustuvaa laskutusta sekä kulutusmittareihin liitääntä asiakkaan kuormien ohjaamista varten. Tällä pyritään edistämään sitä että pienasiakkaiden kulutuksen jousto saadaan sähkömarkkinoiden ja sähköverkon käyttöön. Näin voitaisiin vähentää investointeja sellaisiin voimalaitoksiin jotka kykenevät tuottamaan tuotetaan sähköä kulutushuippuja varten ja järjestelmäreserviksi. Tällaisten investointien tarvetta lisäävät ydinvoimalaitosten ja tuulivoiman rakentaminen suuressa mittakaavassa. Kulutuksen joustojen lisääntyminen parantaa myös sähkömarkkinoiden toimivuutta sekä kilpailun että toimintavarmuuden osalta. Tekniset ratkaisut pienasiakkaiden kysyntäjouston toteuttamiseksi riittävän kustannustehokkaasti kuitenkin vielä puuttuvat.</p> <p>Tässä raportissa esitetään toimintamalli kysyntäjoustojen toteuttamiseksi energianmittausjärjestelmillä (AMM-järjestelmillä). Sen avulla voidaan täyttää erilaisia dynaamisia kuormien ohjaamisen tarpeita. Tähän asti AMM-järjestelmien ohjausten muuttaminen dynaamisesti on ollut liian työlästä. Uudessa toimintamallissa ohjausten ajoitukset voidaan tehdä muuttumaan automaattisesti esimerkiksi sähkön markkinahinnan perusteella. Malli soveltuu erityisen hyvin täysin mm. varaavan sähkölämmityksen ja käyttöveden lämmityksen ohjauksiin, mutta se on nykyistä aikaohjausta parempi myös osittain varaavan lämmityksen ohjauksessa. Toimintamalli on toteutettu kahden valmistajan AMM-järjestelmiin ja ratkaisun toimivuus on testattu laboratorioissa. Ensimmäinen kenttäkokekohde saatiin toimimaan marraskuun 2010 alkupuolella ja lisää koekohteita liitetään vaiheittain toimintamallin piiriin. Kenttäkokeissa malli on toiminut suunnitellulla tavalla. Kenttäkokeita jatketaan koko talvi, jonka jälkeen tehdään tuloksien perusteellisempi analyysi</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 10.2.2011 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Pekka Koponen Erikoistutkija	Corentin Evens Tutkija, työpaketin vetäjä	Seppo Hänninen Teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot PL1000		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) CLEEN/SGEM projekti		
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

## Alkusanat

Tämä tutkimus tehtiin Smart Grids and Energy Markets (SGEM) hankkeen vaiheessa 1 vahvasti pohjautuen tutkimus ja kehityshankkeessa "Energiatehokkuuden edistäminen energiayhtiöiden toimesta" ENETE. hankkeessa aikaansaatuihin tuloksiin. Molemmissa hankkeissa rahoittajina olivat TEKES ja osallistuneet yritykset. Tutkimusta ohjasi SGEM hankkeen vaiheen 1 WP3.2 työpaketin kysynnän jousto (Demand Response), ohjausryhmä, jossa yhteyshenkilöinä olivat seuraavat:

Markku Hyvärinen, Helen Sähköverkko Oy

Jussi Matilainen, Fingrid

Matti Lehtonen, Aalto Yliopisto

Samuli Honkapuro, LTY

Antti Rautiainen, TTY

Corentin Evens, VTT

Ohjausryhmän kokouksiin tai muutoin on tutkimuksen ohjaukseen osallistunut monia muitakin osapuolia. Näistä on erityisesti mainittava ainakin

Anders Wickström, Fortum Energy Markets ja

Hannu Pihala, VTT

Älykkäiden kulutuksen mittausjärjestelmien tarvittavien muutosten määrittelyssä ja toteutuksessa seuraavien osapuolten panos oli keskeinen:

Aidon Oy

Landis+Gyr Oy

Mitox Oy

Kiitämme kaikkia näitä osapuolia, jotka yhdessä tekivät tämän työn mahdolliseksi.

Helsinki 10.2.2011

Tekijät

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	5
1.1 Taustaa.....	5
1.2 Aiempi kehitystyö ja liitynnät muuhun tutkimukseen .....	5
1.3 Kenttäkokeet SGEM hankkeen osana .....	5
1.4 Tämän raportin jäsentely.....	6
2 Tarpeet ja roolit kuormien ohjauksessa .....	6
2.1 Sähköä käyttävä asiakas .....	6
2.2 Verkkoyhtiö .....	6
2.3 Voimajärjestelmän ylläpitäjät.....	7
2.4 Sähkön myyjä .....	7
3 Tavoite.....	7
4 Tarkastelun kohde .....	8
4.1 Ohjattu-yö-kohteet .....	8
4.2 Tarkastelun rajaukset.....	9
5 Uusi toimintamalli .....	9
5.1 Algoritmi ohjattu-yö-kohteiden lämmitysten ohjaukseen .....	9
5.2 Tiedon prosessointi.....	10
5.3 Järjestelmämalli .....	11
5.3.1 Tuotteen perustaminen .....	11
5.3.2 Päivittäinen ohjausviesti.....	12
5.3.3 Ohjausten korjaaminen .....	13
5.3.4 Välittömät käskyt.....	13
5.4 Tekninen toteutus .....	14
5.4.1 Sanomat.....	14
5.4.2 Muutokset normaaliprosessiin.....	14
5.4.3 Häiriöreservin aiheuttama poikkeus prosessiin .....	15
5.4.4 Toimilaitteet ja kytkennät.....	15
6 Toimintamallin verifiointi ja saavutetut tulokset.....	15
6.1 Menetelmien vertailu simuloinnein .....	15
6.2 Järjestelmätesti laboratoriossa.....	16
6.3 Kenttäkokeet.....	16
7 Tulosten tarkastelu .....	20
8 Toimintamallin sovellettavuus muihin tapauksiin .....	20
9 Johtopäätökset .....	21
9.1 Dynaamisten hintaohjausten toteutusmahdollisuudet.....	21
9.2 Mahdollisia parannuksia algoritmin yksityiskohtiin .....	21

9.3 Ehdotuksia jatkoselvitysten kohteiksi .....	22
10 Yhteenveto .....	24
Lähdeviitteet .....	24

## 1 Johdanto

### 1.1 Taustaa

Helsingin Energia on vuodesta 1964 lähtien tarjonnut sähköverkkonsa asiakkaille mahdollisuuden kaksiaikatariffiin ja -ohjauksiin. Kilpailluilla sähkömarkkinoilla ovat yön ja päivän väliset hintaerot pienentyneet., mutta yllättäviä korkeita (jopa yli 1000€/MWh) hintapiikkejä on alkanut esiintyä ja niiden odotetaan lisääntyvän. On myös alkanut esiintyä hetkittäin hyvin matalia hintoja. Tarve saada uutta kysynnän hintajoustoa spot-markkinoille tulee kasvamaan, kun suurteollisuuden ohjattavia kuormia poistuu spot-markkinoilta siirtymällä järjestelmäoperaattorin (Fingrid) häiriöreserveiksi. Sähkömarkkina-asetuksen uudistus, VNA 66/2009, tekee pakolliseksi useimpien sähkönkäyttäjien osalta siirtymisen sähkön kulutuksen tuntimittaukseen ja todennettuun kulutukseen perustuvaan laskutukseen. Kiinteistä aikaohjauksista dynaamiseen hintaohjaukseen siirtymiselle on siis sekä kasvavaa tarvetta että uusia mahdollisuuksia.

### 1.2 Aiempi kehitystyö ja liitynnät muuhun tutkimukseen

Helen Sähköverkko Oy:ssä on jo vuodesta 2008 lähtien tutkittu ja kehitetty dynaamista markkinahintaperusteista kuormien ohjausta. Kehitystyössä ja tutkimuksessa on toteutettu esiselvitys [2], kehitetty toimintamallia ja toteutusta energianmittausjärjestelmiin sekä toteutettu laboratorioskokeita. Lisäksi on mallinnettu esimerkkikohte ja vertailtu erilaisia kuorman hintaohjausmenetelmiä simuloinnein[3]. Simulointien toteuttamisen mahdollistivat aikaisemman tutkimuksen [4,5] tuloksena tehdyt mallit, simulointi- ja -optimointityökalut, sekä mittauksien tiedot. Toimintamallin ja simulointitulosten pääpiirteet on esitetty ENETE-projektin loppuraportissa [6].

ENETE-projektin tutkimus tehtiin yhteistyönä Helen Sähköverkon, VTT:n, Aidonin, Landis+Gyrin, Mitoxin, Helsingin Energian ja Fortum Marketsin kanssa. Tutkimuksen keskeisinä tuloksina muodostettiin toimiva tiedonvaihtomalli ja osoitettiin, että nykyisten prosessien tuottamilla tiedoilla ja uuden sukupolven sähköenergiamittareilla voidaan toteuttaa kysynnän mukaan ohjautuva kuormanohjausjärjestelmä.

### 1.3 Kenttäkokeet SGEM hankkeen osana

Kenttäkokeet on jo aloitettu tuotannossa olevilla käyttöpaikoilla ja niiden tulokset analysoidaan vuoden 2011 kuluessa. Tavoitteena on saada kokemuksia sähkön myyjien ohjaamista kuormista ja tiedonvaihdon tarpeista.

Edellä mainitun lisäksi Fingrid osallistuu kokeiden seurantaan ja tuo systeemioperaattorin tarpeita, vaatimuksia ja näkökulmaa hankkeeseen. Myös muita yhteyksiä SGEM-hankkeen tutkimukseen ja sen osapuoliin kehitetään. Mahdollisesti toteutetaan Helen Sähköverkon

koetta vastaava kenttäkoe myös Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n verkkoyhtiön järjestelmillä ja käyttöpaikoilla osana SGEM-hanketta.

Energianäytöt (In-Home Display) edustavat uutta, kehitteillä olevaa teknologiaa, jolla kuluttajille tuodaan reaaliaikainen palaute sähkönkäytöstä. ENETE-projektissa tehtiin taustaselvitys markkinoilla saatavissa olevista näytöistä ja niiden ominaisuuksista. HSV:n pilotin yhteydessä testataan muutamassa pilottikohteessa Landis+ Gyr Oy:n valmistamaa ecoMeter -näyttöpaneelia kevään 2011 aikana. Tarkoituksena on selvittää mm. edellytyksiä laajamittaiseen kenttätestaukseen. Energianäyttöjen kokeita ja niiden tuloksia ei tarkastella tässä raportissa vaan ne raportoidaan myöhemmin.

## 1.4 Tämän raportin jäsentely

Tässä raportin sisältö on pääpiirteissään seuraava:

- Kerrotaan lyhyt yhteenveto pohjana olevasta dynaamiseen hintaohjaukseen liittyneestä kehitystyöstä ja sen tuloksista, eli siitä mitä asian suhteen on tehty ennen SGEM-hanketta
- Kuvataan energian kulutuksen mittaussysteemillä eli AMM-järjestelmällä toteutettavien dynaamisten kuormanohjausten toimintamallin yksityiskohdat.
- Kerrotaan lyhyesti alustavat simulointitulokset
- Esitetään alustavia kenttäkoetuloksia.
- Pohditaan AMM-pohjaisen dynaamisen kuorman ohjauksen tulevaisuuden näköaloja ja kehitystarpeita.

Lyhenne AMM tulee sanoista Automatic/Advanced Meter Management ja tarkoittaa sitä, että AMM-järjestelmän kautta mittarit ovat sekä luettavissa että myös hallittavissa ja jossakin määrin ylläpidettävissä.

## 2 Tarpeet ja roolit kuormien ohjauksessa

Sähkömarkkinaosapuolina tässä dokumentissa käsitetään

- sähköä käyttävä asiakas (Electricity Consumer),
- sähkön jakelun hoitava verkkoyhtiö (Distribution Network Operator),
- voimajärjestelmän ylläpitäjä (System Operator) ja
- sähkön myyjä (Electricity retailer = Electricity retail supplier).

### 2.1 Sähköä käyttävä asiakas

Asiakkaan perustarpeena on lämmittää asunto ja käyttövesi valmiiksi käyttöä varten. Asiakasta ei välttämättä kiinnosta, milloin sähkö on halpaa tai milloin kuormia ohjataan, kunhan asunto lämpenee ja hanasta tulee tarvittaessa lämmintä vettä. Tarpeeseen voidaan lisätä aikaulottuvuus energiankäytön optimointia varten sekä mahdollisuus sähkönkulutuksen seuraamiseen ja kulutukseen vaikuttamiseen.

### 2.2 Verkkoyhtiö

Verkkoyhtiö muodostaa siirtotien asiakkaan ja sähkön tuottajan välille kustannustehokkaasti. Verkkoyhtiö mittaa sähkön käytön ja tarjoaa informaation asiakkaan ja myyjän käyttöön. Verkkoyhtiöllä ei ole muuta motiivivia sähkölämmityksen ohjaamiseen, kuin että:



- kustannustehokkuutta voidaan parantaa tiukemmalla verkon mitoituksella, jos verkon kuormitushuippuja saadaan tasatuksi ja
- verkon häiriötilanteiden hallintaa voidaan tehostaa kuormien ohjauksen avulla eli nopeuttaa jännitteen palauttamista verkon kuormituksen tarkemman hallinnan ansiosta.

## 2.3 Voimajärjestelmän ylläpitäjät

Voimajärjestelmän ylläpitäjällä voi olla motiivi ohjata sähkökäyttöä stabiiliuden varmistamiseksi voimantuotannon, siirtoverkon ja sähkömarkkinoiden mahdollisissa häiriötilanteissa. Sähkölämmityskuormat edustavat merkityksellistä osaa sähkökäytöstä, joten niillä voi olla suuri merkitys stabiiliuden hallinnassa. Tätä varten tarvitaan tehon ohjausvasteelta nopeutta, ennustettavuutta ja luotettavuutta. Tyypillisesti sähkölämmitys sinällään täyttäisi nämä vaatimukset, mutta tietoliikenneatkaisut voivat rajoittaa kuorman käytettävyyttä stabiiliuden hallintaan.

## 2.4 Sähkön myyjä

Sähkön myyjä hankkii sähköä asiakkaidensa käyttöä varten. Myyjä ennustaa tulevan sähkökulutuksen asiakkaan perustietojen ja aiemman kulutuksen perusteella ja hankkii vastaavan määrän sähköä. Sähkön myyjä voi joutua hankkimaan sähköä myös kalliin sähkön aikana asiakkaiden tarpeiden mukaan.

Yksittäisten asiakkaiden sähkökulutus voi poiketa ennusteesta hyvinkin paljon riippuen satunnaistekijöistä, kuten esim. kotiinpaluuajasta ja vieraiden lukumäärästä. Suurehkon asiakasjoukon yhteinen kulutus on kuitenkin yleensä varsin tarkkaan ennustettavissa, koska toisistaan riippumattomien satunnaisvaiheluiden yhteisvaikutus pienenee nopeasti kohteiden lukumäärän kasvaessa. Jo noin sadan kohteen kokonaisuus on useimmiten varsin tarkasti ennustettavissa. Niinpä sähkön myyjä on kulutuksen aggregoija.

Sähkön myyjällä on suora rajapinta sähkömarkkinoihin ja sähkökulutusmassaa satunnaistekijöiden vaikutusten pienentämiseksi. Sähkön myyjä tarvitsee ohjattavia resursseja kulutuksen ja markkinahintojen yllättäviin vaihteluihin liittyvien riskien hallitsemiseksi, koska esimerkiksi hintapiikeiltä suojautuminen pelkästään rahoitusmarkkinoiden tuotteiden kautta tulee liian kalliiksi, kun kilpailluilla markkinoilla myyjän marginaalit jäävät varsin pieniksi verrattuna myynnin volyyymiin ja riskeihin. Kuorman ohjauksella myyjä voi siirtää hankintaansa kalliin hinnan ajalta halvan hinnan ajalle ja mahdollista tukkumarkkinoille myyntiään kalliin hinnan ajaksi. Lisäksi kuorman ohjaus vaikuttaa sähkömarkkinoiden hintahuippuja pienentävästi. Tämä välillinen hyöty voi olla suurempi kuin suoraan saatu hyöty.

## 3 Tavoite

Tämän tutkimuksen kohteena on dynaamisten kuormanohjausten toteuttaminen normaaliin laskutukseen käytettävillä etäluettavilla energiamittareilla. Nyt tarkastellaan erityisesti sähkölämmityksen ohjausta sähkön markkinahinnan perusteella, vaikka kehitetty toimintamalli soveltuu moniin muihinkin kuormanohjauksen tarpeisiin.

Nykyisillä etäluettavilla sähköenergiamittareilla on kaksisuuntainen tiedonsiirtoyhteys, kuormanohjausmahdollisuus sekä kaksiaikatariffikohteissa usein myös valmiiksi kytkettyä

ohjattavaa kuormaa. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää kuormanohjausmalli, jolla saadaan nykyisten etäluentajärjestelmien ominaisuudet palvelemaan nykyisiä järjestelmiä paremmin sähkömarkkinoiden tarpeita. Tässä vaiheessa pääpaino on kehitetyn toimintamallin raportoinnissa ja kenttäkokeiden käynnistämällä ja seurannalla.

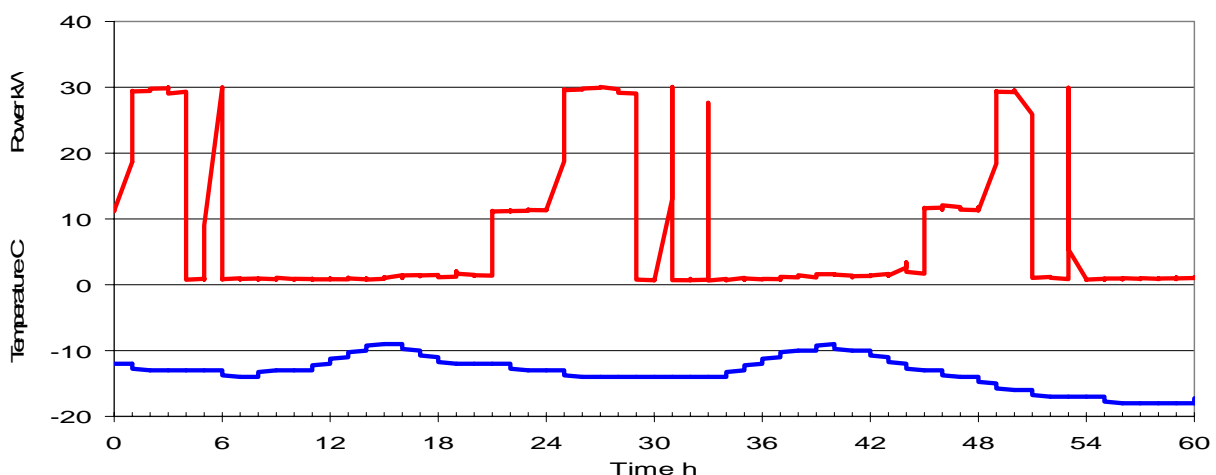
## 4 Tarkastelun kohde

### 4.1 Ohjattu-yö-kohteet

Tarkastelun kohteeksi otettiin Helen Sähköverkon ohjattu yö -tuote, jonka lämmöntarpeeseen perustuva verkkokäskeyhjaus pyrittiin korvaamaan uudella järjestelmällä sähkön hintatiedot huomioiden.

Ohjattu yö -siirtotuotetta käytetään sähkölämmitteisissä kotitalouksissa. Kohteissa on vesikiertoinen, täysin varaava sähkölämmitysjärjestelmä, jota on voitu täydentää muilla lämmitysmuodoilla. Järjestelmien ottotehot vaihtelevat tyypillisesti 20-50 kW:n välillä. Nykyisin 1/3 ottotehosta ohjataan kiinteästi aikaan perustuen ja loppua 2/3 järjestelmän ottotehosta ohjataan ulkolämpötilan mukaan. Lämmityskuorman poiskytkentä tapahtuu termostaattiohjattuna tai aikaikkunan sulkeutuessa. Lämpöä varataan järjestelmään ulkolämpötilasta riippuen 3...10 tuntia ajalla 21-07.

Yhdessä kenttäkokeiden piiriin kuuluvassa ohjattu-yö-kohteessa sähkön kulutusta on mitattu yksityiskohtaisesti aikaisemmassa projektissa [5]. Kuvassa 1 on kohteen sähkönkulutuksen ja ulkolämpötilan mittaukset.



Kuva 1 Esimerkki erään kenttäkokeen kohteena olevan talon ulkolämpötilan ja tehon mittauksista vuodelta 1997. Kohteessa on täysin varaava sähkölämmitys.

Kuvassa 1 nähdään aamuyön tunteina kulutuspiikkejä. Piikit johtuvat siitä, että lämmitys tulee vähäksi ajaksi päälle korvaamaan yön aikana tapahtuvat vesisäiliön lämpöhäviöt.

Pilottiprojektissa järjestelmän koko kuorma siirretään yhden ohjauksen taakse. Yön edullisemmat ajanhetket saadaan täysimääräisesti hyödynnettyä, kun lämmön varaamista ei aloiteta kiinteästi osateholla iltayön keskimäärin kalliimpien tuntien aikaan.

Osassa kohteista on erillinen lämpimän käyttöveden varaaja. Erillistä käyttöveden varaajaa ohjataan lämmitykseen käytetyn lämmönvaraajan ohjauksista riippumattomasti.

## 4.2 Tarkastelun rajaukset

Tässä vaiheessa tarkastelu on rajattu täysin varaavaan sähkölämmitykseen. Poikkeuksena on menetelmien vertailu simuloinein osittain varaavan sähkölämmityksen tapauksessa.

Tarkastelun pääpaino on lämmitysvesikierron vesivaraajan lämmityksen ohjauksissa. Lämpimän käyttöveden ohjauksien tutkiminen ja kehittäminen jätetään pääosin myöhemmäksi.

## 5 Uusi toimintamalli

Tässä tarkennetaan toimintamallin aikaisempaa kuvausta [6].

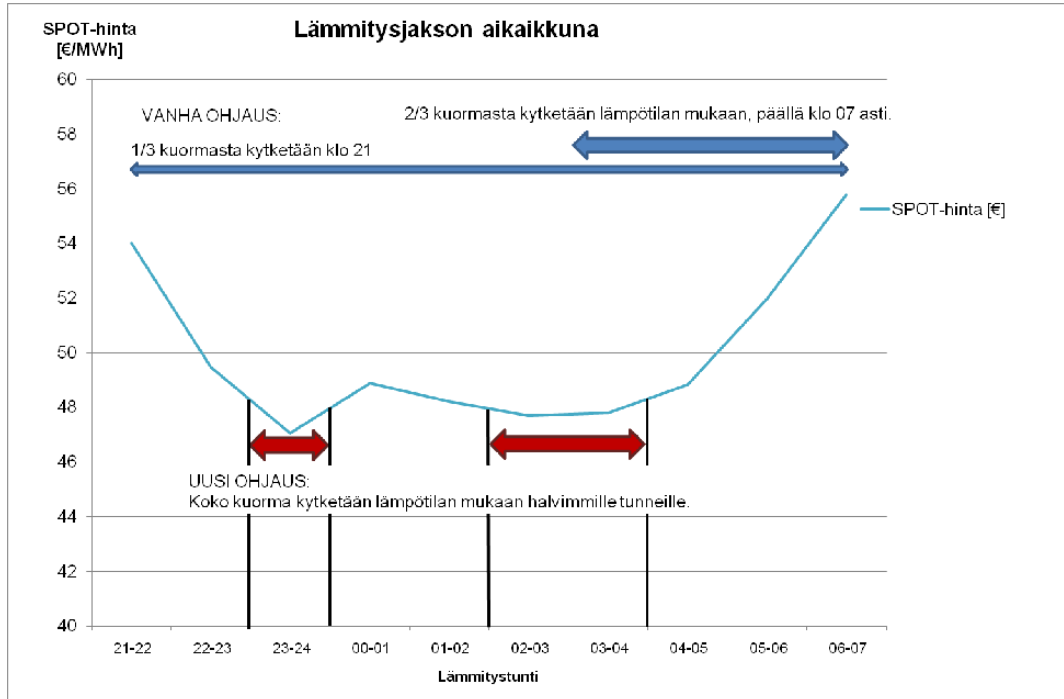
### 5.1 Algoritmi ohjattu-yö-kohteiden lämmitysten ohjaukseen

Sähkön hinnan ja lämmöntarpeen mukaan ohjautuvan järjestelmän lähtötiedot saadaan tuntiaikasarjana mittaustiedon hallintajärjestelmästä (Generis). Generis sisältää monipuolisia mittaussarjojen laskentafunktioita, mutta sillä ei voida suoraan muodostaa päättelyfunktioita kuormanohjausten päättämiseksi.

Pilottihanketta varten tehtiin erillinen pieni ohjelmisto, joka täyttää lämmöntarpeen halvimmista tunneista alkaen. Ohjelma lukee Generiksestä saadut tuntien hintatiedot sekä lämmöntarpeen ja tulostaa tiedostoon halvimmat lämmitysjaksot ohjauksikäskyinä.

Lämmöntarve on määritetty lineaarisena funktiona edellisen vuorokauden keskilämpötilan perusteella. Lämmitysjakson aikaikkuna on pienimmillään keskilämpötilan ollessa  $+13\text{ C}^\circ$ , jolloin lämmitysjakso on kolme tuntia. Kun lämpötila on alle  $-27\text{ C}^\circ$ , lämmitysjakso on täydet 10 tuntia. Mikäli lämmitysjaksoa ei saada lähtötietojen perusteella luotettavasti määritettyä, järjestelmä varmistaa lämmöntarpeen ohjaamalla lämmitykset päälle koko yötariffin ajaksi (10 h).

Kuva 2 havainnollistaa, miten dynaamisella ohjauksella voidaan hyödyntää lämmitysjakson edullisemmat tunnit lämmöntarpeen täytyessä samalla tavalla kuin perinteisessä ohjauksessa.



Kuva 2. Kuormanohjausten periaatteellinen sijoittuminen lämmitysjaksolle.

## 5.2 Tiedon prosessointi

Seuraavan vuorokauden kuormanohjaukset päätellään vuoden jokaisena päivänä. Pyhien ja viikonloppujen poikkeuksellinen sähköpörssin kaupankäyntirytmä ei aiheuta järjestelmään poikkeamia, koska seuraavalle päivälle on normaalitilanteessa aina tiedossa spot-hintatieto. Samoin edellisen vuorokauden lämpötilaa käyttämällä käytössä on tuorein mitattu lämpötilatieto. Lähtötiedot tallennetaan päivittäin tuntiaikasarjoina XML-muodossa (eXtensible Markup Language) tiedostopalvelimelle.

Tiedon automaattista prosessointia varten käytetään pientä ajastettua ohjelmaa, joka laskee tuntisarjasta edellisen vuorokauden keskilämpötilan ja päättää lämmitysajan  $n$  lineaarisen lämmöntarvefunktion mukaisesti. Lämmöntarpeen mukaan lämmitys kytketään päälle yötariffi-ajan  $n$ :lle halvimmalle tunnille. Ohjausajat tulostetaan määrämuotoisena XML-tiedostona tiedostopalvelimelle. Tiedosto sisältää ohjattavat käyttöpaikat ja ohjausajat.

Ohjaustiedosto lähetetään haluttuihin luentajärjestelmiin WebServices-rajapinnan kautta. Kukin luentajärjestelmä käsittelee ohjausviestit omalla tavallaan ja välittää tiedot normaalia kaksisuuntaista tiedonsiirtoyhteyttä pitkin mittarille. Mikäli ohjaustiedot eivät siirry mittarille, mittarilla toteutetaan oletusohjaustoiminto, jolla täytetään lämmöntarve minä tahansa vuodenaikana. Kuvassa 3 on esitetty tiedon periaatteellinen käsittelyketju.



Kuva 3. Tiedon käsittelyketju.

### 5.3 Järjestelmämalli

Järjestelmämallin tarkoituksena on vastata edellä luvussa 2 esitettyihin sähkömarkkinaosapuolten tarpeisiin. Johtoajatukseksi on, että järjestelmä on perustoiminnoltaan automaattinen ja luotettava. Järjestelmää voidaan käyttää myös monipuolisemmin, mikäli siihen on tarvetta ja tekniset reunaehdot (esim. tiedonsiirtoyhteydet) antavat myöten. Tämä järjestelmämallin tarkastelu perustuu viitteeseen [7].

Järjestelmän toiminta voidaan käsittää kolmena tasona ohjauksiin käytettävien lähtötietojen mukaan, kuva 4.



Kuva 4. Ohjausten kerrostuminen lähtötietojen lisääntyessä [7].

Kuvassa 4 ensimmäinen taso on käyttöpaikalla toimiva perustoiminnallisuus, jolla voidaan tehdä automaattiset kytkennät kiinteästi kellonajan mukaan. Toisella tasolla käyttöpaikalle tai käyttöpaikkaryhmälle lähetetään päivittäin muuttuva kuormanohjaus. Kolmannella tasolla jokaiselle käyttöpaikalle lähetetään päivittäin muuttuva yksilöllinen kuormanohjaus. Jotta kuormien ohjaus on hallittua, tarvitaan ohjaavaan järjestelmään tietoja ohjattavasta kuormasta. Ennen kuormanohjauksen aloittamista on siis määriteltävä tuotteena, mitä ohjataan ja milloin ohjataan.

#### 5.3.1 Tuotteen perustaminen

Tuotteen perustamiseen voidaan ottaa käyttöön esim. seuraavat tiedot:

- Perustiedot (Käyttöpaikka, verkkoyhtiö, maantieteellinen sijainti (?))
- Ohjattava teho [kW]
- Perusohjausten aika [päällä, poissa]
- Kuorman tyyppi [mukavuuslämmitys, lämminvesivaraaja, auton lohkolämmitin, kiuas]
- Lämmöntarve vuorokaudessa [kWh]
- Kuorman käyttäytymistä kuvaava tieto [Lämpötilariippuvuus 1...10]
- Lisätietokenttä [vapaa teksti]

Tietojen perusteella sähkön myyjä voi suunnitella kohteelle peruskäyttöprofiilin ja perustason dynaamisen ”lämmityssuunnitelman”. Esim. tuntimittaustiedon tai asiakaspalautteen perusteella sähkön myyjä voi tarkentaa lämmityssuunnitelmaa vastaamaan asiakkaan yksilöllisiä käyttötottumuksia.

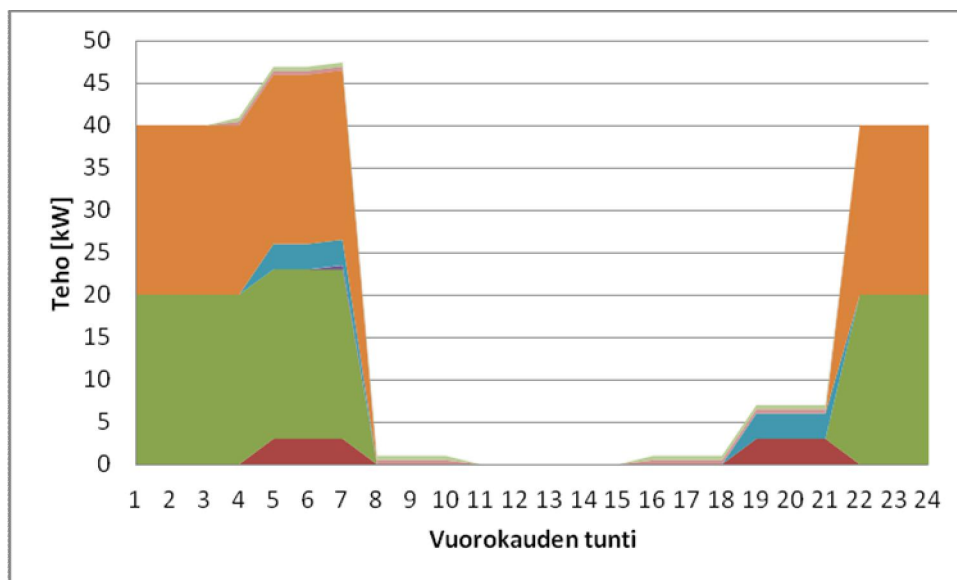
Tässä ei oteta kantaa teknisiin rajoituksiin, montako relettä mittarilla on, vaan määritellään kuormanohjausmallia, joka ei rajoita asiakkaan käyttötarpeita.

Sähkön myyjä voi koostaa tiedoista seuraaventyyppisen taulukon (taulukko 1).

Taulukko 1. Sähkön myyjän tiedot ohjattavista kohteista [7].

Käyttöpaikka	Verkko-yhtiö	Sijainti (Postinro)	Pääasiallinen lämmitys	Kuorman tyyppi	Ottoteho	Tarve/vrk [kWh]	Lämpötilariippuvuus	Perusohjaukset
2563775	VES	01420	Sähkö	KÄYTTÖVESI	3	9	2	04-06, 19-21
2563775	VES	01420	Sähkö	VARAAVA	20	50	8	00-06, 21-23
2563775	VES	01420	Sähkö	LOHKOLÄMMITIN	0,5	0,5	10	07
2563776	VES	01420	Sähkö	KÄYTTÖVESI	3	9	2	04-06, 18-20
2563776	VES	01420	Sähkö	VARAAVA	20	50	8	00-06, 21-23
2563776	VES	01420	Sähkö	KIUAS	6		2	
2563777	HSV	00180	KL	MUKAVUUSLÄMMITYS	0,5	2	3	03-09, 15-20
2563778	HSV	00180	KL	MUKAVUUSLÄMMITYS	0,5	2	3	03-09, 15-20

Kuvassa 5 on esitetty oletuskuormanohjausten perusprofiili:



Kuva 5. Kuormanohjausten perusprofiili. Eriväriset alueet kuvaavat eri kuormia [7].

Kuvassa 5 on huomattava, että profiili kertoo ainoastaan suurimman mahdollisen tehon ohjatuista kuormista, mutta termostaattiohjaukset tai muu ohjaus voi pienentää todellista sähkönkäyttöä.

### 5.3.2 Päivittäinen ohjausviesti

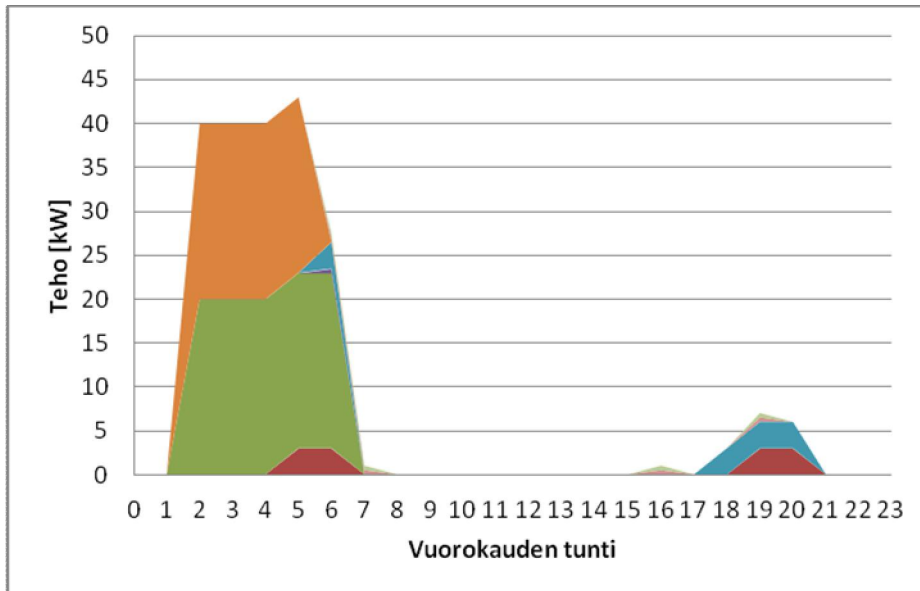
Tuotetiedon perusteella sähkön myyjä tietää asiakkaan tarvitseman energiamäärän ja laitteiston ottaman tehon. Sähkön myyjällä voi olla myös tuntimittaustietoa, jonka perusteella voidaan ennustaa energiankäyttöä. Tuote- ja kulutustietojen perusteella myyjä voi jaksottaa asiakkaan energiankulutuksen haluamaansa ajankohtaan.

Ohjaukset lähetetään käyttöpaikalle päivittäin, jotta ohjauksia varten saadaan mahdollisimman ajantasainen tieto esim. markkinatilanteesta tai ulkolämpötilasta. Päivittäinen tiedonvaihto noudattaa kuvassa 2 esitettyä periaatetta.

Päivittäinen sanoma sisältää seuraavat tiedot:

- Perustiedot (Verkkoyhtiö, käyttöpaikka, maantieteellinen sijainti)
- Ohjattava kuorma (kiuas, lattialämmitys, lämminvesivaraaja)
- Kuormanohjaukset seuraavalle vuorokaudelle tunti tunnilta

Päivittäisellä sanomalla kuormanohjauksen profiili voi näyttää esim. seuraavalta (kuva 6).



Kuva 6. Kuormanohjausprofiili dynaamisilla ohjauksilla. Eriväriset alueet kuvaavat eri kuormia [7]

Kuvan 6 keskeinen sisältö on, että kuormanohjauksen aikaikkunat voidaan tehdä pienemmiksi. Mitä tarkemmin energiantarve saadaan mitoitettua ja asetettua aikaikkunaan, sitä suurempi todennäköisyys on sille, että relettä ohjatessa kuorma kytkeytyy päälle.

### 5.3.3 Ohjauksen korjaaminen

Jos ohjaukset on esim. määritetty väärin, tai esim. sähkön hankinnassa tapahtuu voimakas muutos, on ohjauksiin voitava vaikuttaa päivittäisen lähetyksen jälkeen. Sanomamallissa voidaan sopia, että uudelleenlähetyksellä korvaa aiemmin samalle jaksolle määritellyt ohjaukset.

### 5.3.4 Välittömät käskyt

Välittömille käskyille on ainakin kahden tyyppisiä tarpeita. Molemmissa tapauksissa kyseessä on ennustamaton sähkönkäytön poikkeus. Normaalissa käyttötilanteessa sähkön myyjä automaattisesti päättää asiakkaan lämmitystarpeen. Käytännössä lämmitystarve voi kuitenkin poiketa ennustetusta erityisesti lämpimän käyttöveden osalta tai jos ohjataan osittain varaavaa lämmitystä.

Toinen käyttötarve on lyhyen aikajänteen kysynnänjousto tai häiriöreservitarve. Sähkön hinnan noustessa poikkeuksellisen korkealle, kulutusta voidaan siirtää toiseen ajankohtaan tai hinnan laskiessa poikkeuksellisen alas kuormia voidaan varata myöhempää käyttöä varten. Häiriöreserviä varten toimenpiteet ovat vastaavat, mutta aikaikkuna ohjauksen tekemiseksi on pienempi ja tarve tulee asiakkaan ja myyjän sopimuksen näkökulmasta katsottuna kolmannelta osapuolelta. Kuormanohjausjärjestelmä kykenee ottamaan vastaan suorakytkentäohjauksia. Sähkömarkkinamallissa voidaan sopia, sallitaanko kolmannen osapuolen kytkennät suoraan, vai aggregoidaanko ne normaaliin prosessiputkeen sähkön

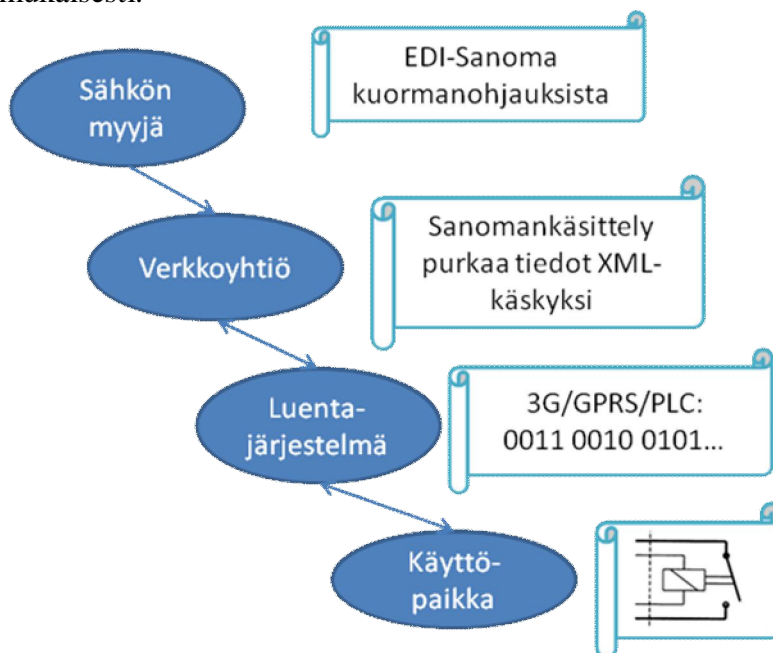
myyjän kautta. Kolmannen osapuolen suorittamia ohjauksia varten on sovittava sellainen sähkömarkkinoiden menettelytapa josta hyötyvät kaikki kolme osapuolta.

## 5.4 Tekninen toteutus

Tässä luvussa kerrotaan viitteessä[7] esitetty esimerkki teknisestä toteutuksesta ja annetaan kuva järjestelmän teknisestä suorituskyvystä.

### 5.4.1 Sanomat

Kuormanohjaukseen käytettävät sanomat kulkevat esimerkiksi kuvassa 7 esitetyn mallin mukaisesti.



Kuva 7. Kuormanohjausten periaatteellinen sanomanvälitys [7].

Sanomaliikenteen vasteajat sähkömarkkinaosapuolten välillä ovat teoreettisesti hyvin pieniä, koska viestit kulkevat kiinteässä langallisessa verkossa. Pisin vasteaika on tiedonsiirrossa luenta-järjestelmän ja käyttöpaikan välillä. Vasteajan pituus riippuu voimakkaasti tiedonsiirtoyhteyden tiedonsiirtomediasta ja yhteyden konfiguroinnista.

Helen Sähköverkon kokemusten mukaan yksittäisen käyttöpaikan suoraohjaukset voidaan toteuttaa luenta-järjestelmästä 15...60 sekunnin vasteajalla. Luku perustuu etäkytkentälaitteella tehtyihin kytkentöihin, mikä on teknisesti täysin vastaava toimenpide kuin kuormanohjausreleen ohjaus. Subjektivisten arvioiden mukaan samanaikaisten suorakytkentöjen määrän kasvattaminen kohtuullisessa määrin ei muuttane vasteaika. Vasteajoista voidaan saada mittaamalla tuloksia, mutta vasteaikoihin vaikuttaa lukemattomia eri muuttujia, jolloin vasteaika voidaan määrittää vain todennäköisyyksinä.

Subjektivisen arvion mukaan päivittäiset kuormanohjauskalenterit saadaan mittalaitteille vastaavalla tavoitettavuudella kuin kohteista saadaan tuntimittaustietoja. Helen Sähköverkon nykyaikaisista etäluenta-kohteista saadaan päivittäin n. 99 % tuntilukemista.

### 5.4.2 Muutokset normaaliprosessiin

Päivittäinen sanoman muodostaminen on suoraviivainen prosessi. Sähkön myyjä muodostaa tiedot ja lähettää tiedot verkkoyhtiön kautta käyttöpaikalle. Jos asiakkaalla on tarve profiilista poikkeavaan sähkönkäyttöön väliaikaisesti tai pysyvästi, asiakas ilmoittaa tarpeesta myyjän



tarjoamaan rajapintaan esimerkiksi tekstiviestillä, internet-palvelussa tai puhelinsoitolla. Tällä menettelyllä tieto saadaan normaalia prosessiputkea pitkin käyttöpaikalle.

#### 5.4.3 Häiriöreservin aiheuttama poikkeus prosessiin

Häiriöreservin käsittely prosessissa voidaan sallia, jos niin sovitaan. Häiriöreservipyynnö voidaan lähettää joko sähkön myyjän kautta, jolloin se voidaan huomioida asiakkaan ja myyjän välisessä sopimuksessa tai suoraan verkkoyhtiölle, jolloin viesti saadaan suodattamattomana nopeasti käyttöpaikoille. Jälkimmäisessä tapauksessa tulee huomioida asiakkaan sopimukset sähköverkkoyhtiön ja sähkön myyntiyhtiön kanssa.

Oletettavaa on, että sähkön myyjällä on suurempi intressi tuntea asiakkaan sähkönkäytön kuin verkkoyhtiöllä. Jos myyjä tuntee asiakkaan sähkönkäytön, voi hän muodostaa joustomalleja jotka ovat asiakkaalle lähes huomaamattomia. Myyjä voi muodostaa esimerkiksi ryhmäjoustop hallitsemistaan mukavuuslämmityksistä. Jos verkkoyhtiö ohjaa kuormat pois, on suurempi todennäköisyys sille, että täsmälleen haluttua joustoa ei saavuteta tai että jousto näkyy helpommin asiakkaan laskeneena asumismukavuutena.

#### 5.4.4 Toimilaitteet ja kytkennät

Tässä ei oteta kantaa, millaisella toimilaitteella kysynnänjousto toteutetaan. Monipuolinen kysynnänjousto edellyttää kuormien ryhmittelemistä eri ohjausten taakse, mikä käytännössä edellyttää montaa releitä käyttöpaikalla. Kuitenkin jo yhdellä releellä pelkästään sähkölämmitystä ohjaamalla voidaan saavuttaa sähkömarkkinoilla merkittävää kysynnänjousto. Monesti tämä kuorma on jo valmiiksi kytkettynä sähkömittarin releelle, jota nykyään ohjataan kelloon perustuvasti.

Etäluettavilla mittareilla on tyypillisesti vähintään yksi kuormanohjausrele tai muu VNA 66/2009 mukainen mahdollisuus välittää ohjauspyyntö eteenpäin. Joissakin mittarityypeissä on myös mahdollisuus ohjata useampaa releitä erillisellä relepaketilla. Koska järjestelmävaatimukset ovat pienehköt ja fyysisen asennuksen kustannukset ovat jopa olemattomat, kysynnänjousto-ohjaus on toteutettavissa erittäin kustannustehokkaasti etäluettavilla mittareilla. Halutessaan sähkön myyjä voi kuitenkin ohjata viestiprosessin kulkemaan etäluettavan mittarin sijaan esim. erilliseen toimilaitteeseen toimilaitteelle tai kotiautomaatiojärjestelmään.

## 6 Toimintamallin verifiointi ja saavutetut tulokset

### 6.1 Menetelmien vertailu simuloinnein

Edellä luvussa 5 esitettyä uutta hintaohjaus menetelmää verrattiin simuloinnein muihin menetelmiin, jotka olivat 2-aikaohjaus (perustapaus), ei ohjauksia, optimoitu ohjaus ja optimoinnin avulla kehitetty heuristinen menetelmä [3] Tätä varten laadittiin yksinkertainen dynaaminen lämpötasemalli täysin varaavalla sähkölämmityksellä varustetulle talolle, josta oli aikaisemmin tehty kolme vuotta yksityiskohtaisia sähkön kulutuksen mittauksia [5]. Kuvassa 1 on esimerkki kyseisen talon sähkön kulutuksesta. Lisäksi menetelmiä verrattiin osittain varaavan sähkölämmityksen tapauksessa [3]. Tämä tapahtui täydentämällä aikaisemmin tehtyjä simuloiteja [4] nyt tarkastelun kohteena olevan uuden menetelmän simuloinneilla. Simuloinnit tehtiin viikon 3/2006 ulkolämpötiloilla ja sähkön spot-markkinahinnoilla. Kyseisen viikon hinnat ja lämpötilat soveltuvat tarkoitukseen verraten hyvin. simuloinneissa käytettiin viikolla 3/2006 voimassa olleita sähköverkkotariffeja ja veroja.

Simulointituloksista voidaan vetää seuraavia johtopäätöksiä:

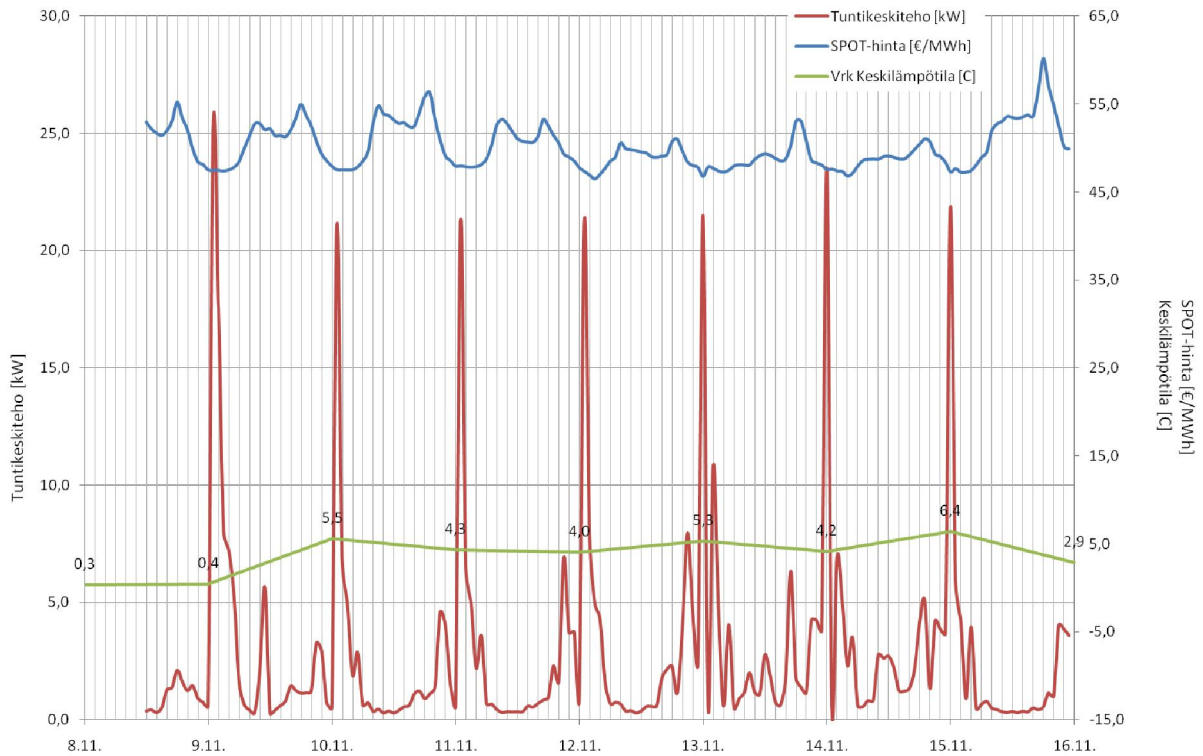
- Luvussa 5 kuvattu hintaohjausmenetelmä on täysin varaavan lämmityksen tapauksessa sähkökustannukseltaan ja energian kulutukseltaan lähellä optimointimenetelmällä saatua ratkaisua
- Hintaohjausmenetelmä on parempi kuin kaksiaikaohjaus, joka puolestaan on paljon parempi kuin ohjaamaton tapaus.
- Osittain varaavan lämmityksen tapauksessa uusi hintaohjausmenetelmä on kyllä parempi kuin kaksiaikaohjaus, mutta jää kauas optimaalisesta ratkaisusta. Myös osittain varaavissa kohteissa kaksiaikaohjaus on selkeästi parempi kuin ohjaamaton tapaus
- Yksittäisen viikon yli simuloinneilla saadaan suuntaa antava käsitys menetelmien keskinäisistä eroista, mutta ei tarkkoja määrällisiä eroja. Tarkempia tuloksia saataisiin tekemällä lisää simulointeja, niin että ne kattaisivat erilaisia hintojen ja lämpötilojen vaihteluja.

## 6.2 Järjestelmätesti laboratoriossa

Määrittelyn mukaisiksi muutettuja kulutusmittausjärjestelmiä testattiin Mitox Oy:n laboratoriossa. Testeissä varmistettiin järjestelmän luotettavuus ja selviytyminen virhetilanteista. Eniten aikaa vei määrittelyjen mukaisen viestin muodostaminen halutun algoritmin mukaisesti. Testien perusteella järjestelmiin tehtiin pieniä muutoksia, jonka jälkeen niiden todettiin toimivan määrittelyjen mukaisesti.

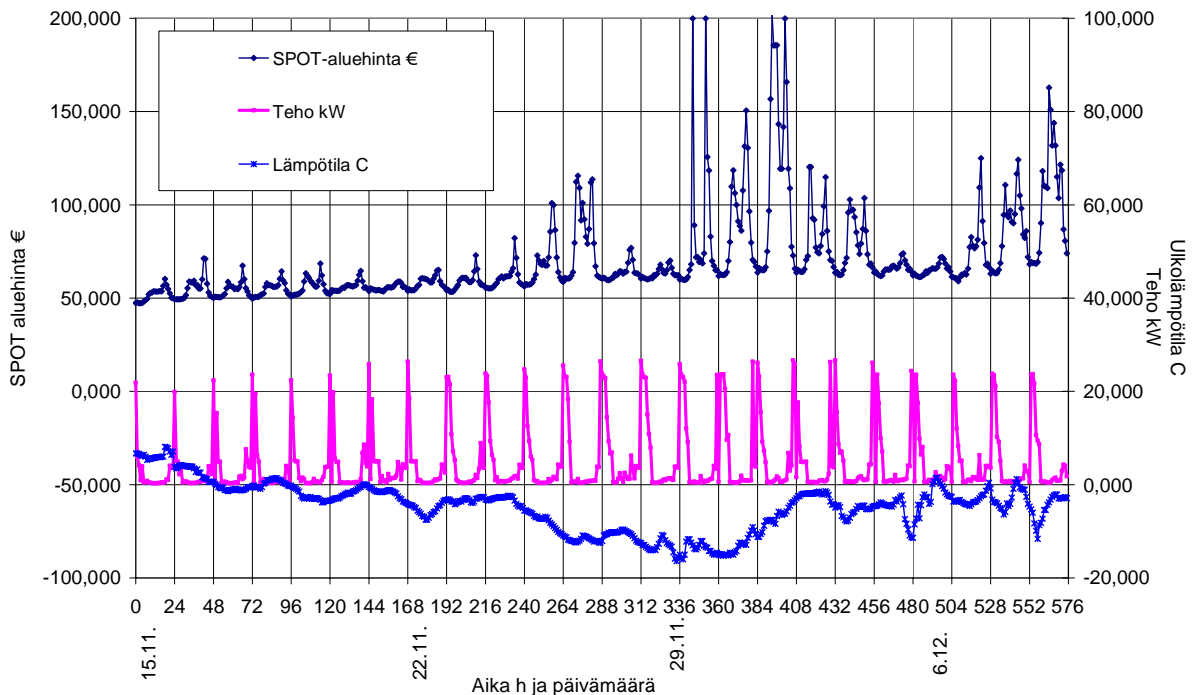
## 6.3 Kenttäkokeet

Kenttäkokeet käynnistyivät marraskuussa 2010. Järjestelmä on toiminut hyvin. Kuvassa 8 ovat ensimmäiset mittaustulokset kenttäkokeista.



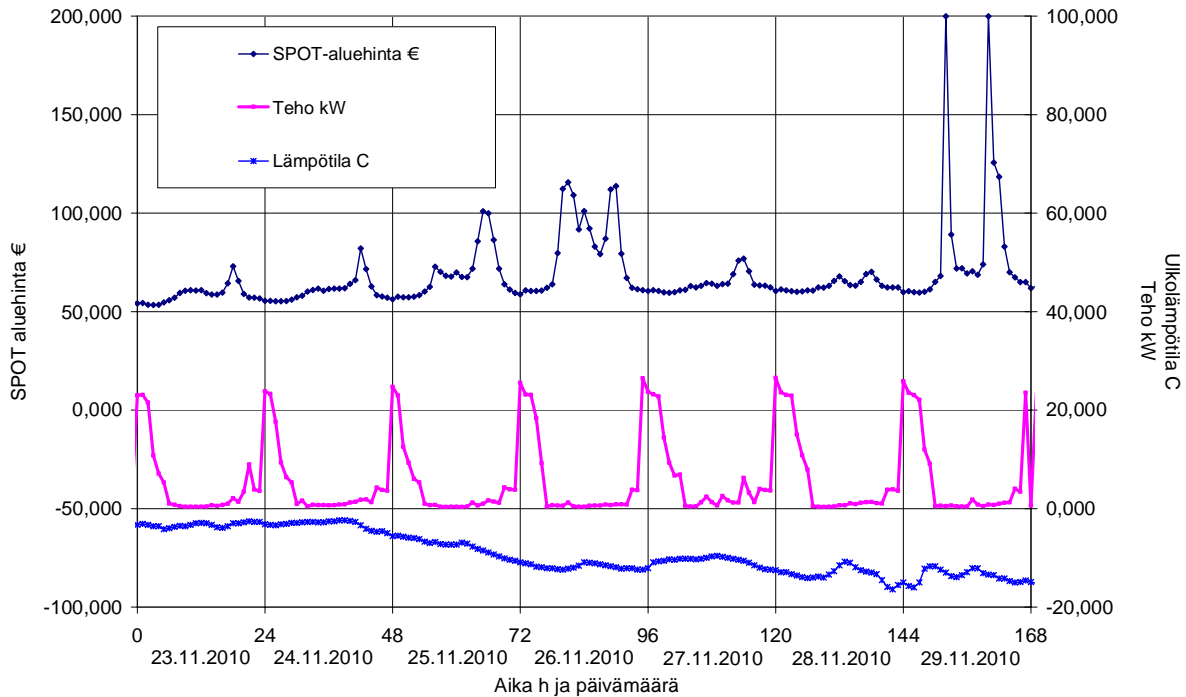
Kuva 8. Ensimmäiset kenttäkoetulokset

Kuvasta 8 nähdään kuorman kytkeytyminen päälle yön halvimpina tunteina. Ensimmäisenä yönä ohjattiin dynaamisesti myös erillistä käyttöveden varaajaa, mistä johtuen ensimmäisen yön kulutuspiikki on suurempi. Joskus lämmöntarve täyttyy aiemmin kuin aikaikkuna menee kiinni, jolloin satunnaisesti voi jäädä käyttämättä aikaikkunan viimeisenä oleva tunti.



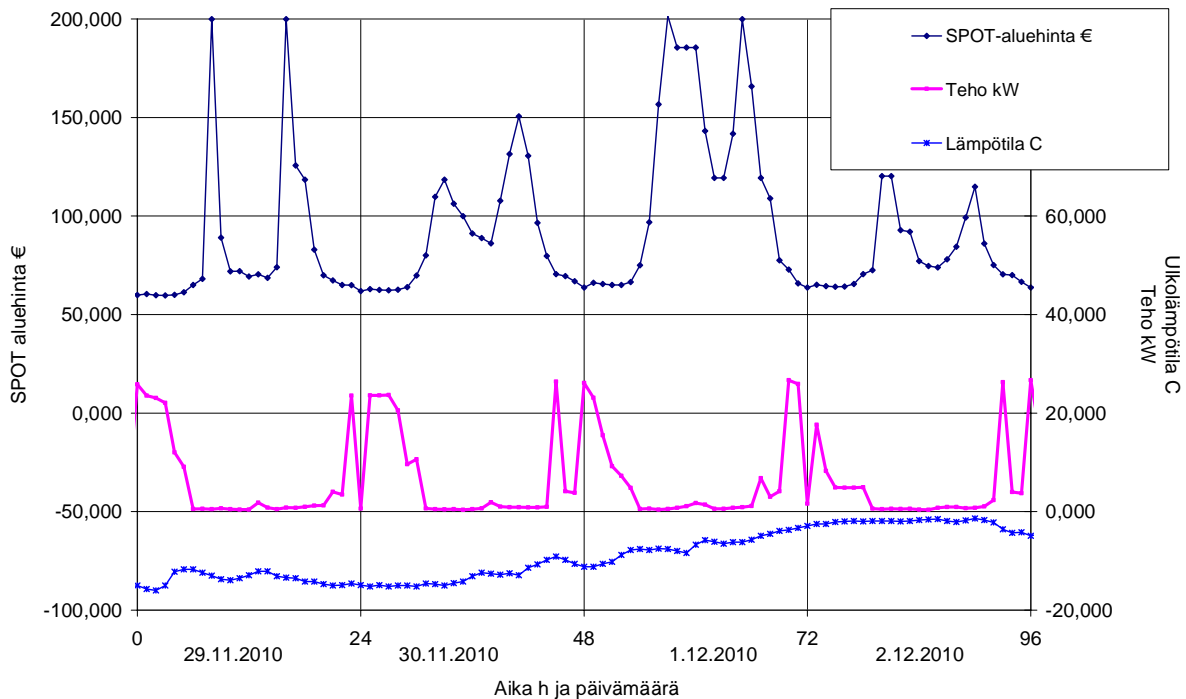
Kuva 9. Kenttäkoekohteen mittauksia 15.11-8.12.2010

Kuvassa 9 on 24 vuorokautta pitkä mittausjakso, joka alkaa keskiyöllä. Sitä tarkastellaan tarkemmin seuraavissa kuvissa 10 ja 11.



Kuva 10. Kenttäkoekohteen mittaukset 23.11-29.11. 2010, osa kuvan 9 mittauksista

Kuvassa 10 on kenttäkoekohteen mittauksia, kun lämpötila on laskemassa ja sähkön hinnat vaihtelevat enemmän, kuin kuvassa 8. Kuvasta 10 nähdään miten lämmitykseen käytetyn sähkön määrä seuraa viipeellä ulkolämpötilan muutoksia. Perjantaina 26.11.illalla lämmitys oli kytkeytynyt aikaisemmin kuin muina päivinä, koska sähkön hinta oli illalla halvempi kuin aamuyöstä. Kuormanohjausviesti sisältää nimittäin seuraavan yhden kalenterivuorokauden ohjaukset tunti tunnilta. Se sisältää siis ”kahden lämmitysjakson” tietoja. (yöllä 00-07 ja taas illalla 21-24). Kuvan 10 perusteella lämmitysteho näyttää käyttäytyvän täysin odotetulla tavalla. Jos tarkastelujaksoa jatketaan, voidaan kuitenkin havaita pieniä poikkeamia verrattuna tavoiteltuun käyttäytymiseen. Katso kuva 11.



*Kuva 11. Näistä kenttäkoekohteen mittauksista 29.11-2.12.2010 havaitaan, että toimintamallin toteutusyksityiskohdissa on vielä parannettavaa.*

Kuvasta 11 nähdään, että ohjaukset eivät ole osuneet aina halvimmille tunneille. Kuorma ei ole kuvaajan mukaan kytkettyä ma 29.11.2010 kello 23-24 ja ke 1.12.2010 kello 23-24, vaikka kummassakin tapauksessa tuo on kyseisen vuorokauden ja yön halvin tunti. Myös ti 30.11.2010 kello 21-22 on teho 26,38 kW, vaikka sen jälkeen on kaksi halvempaa tuntia, joina teho on pois. Sama käyttäytyminen voi aiheutua, jos lämmityksen aikaikkuna on liian pitkä, mutta tässä tapauksessa syynä oli ohjelmointivirhe tietomuotojen konvertoinnissa. Mikäli hinnat poikkesivat huomattavasti yhden päivän aikana, ohjaukset eivät muodostuneet oikein. Virhe on myöhemmin korjattu.

Algoritmissa havaittiin myös eräs periaatteellinen ongelma. Kuormanohjausviesti sisältää seuraavan yhden kalenterivuorokauden ohjaukset eli ”kahden lämmitysjakson” tietoja (yöllä 00-07 ja taas illalla 21-24). Jos kyseisen arvioitu lämmöntarve ei täyty yöllä, annetaan illaksi ohjattua lämmitysaikaa. Päivän aikana varaaja on kuitenkin luovuttanut energiaa niin paljon, että mikäli ohjausaikaa on annettu illalle, on hyvin todennäköistä, että kuorma kytkeytyy päälle. Ilta-aikana varaaminen taas vähentää varaamista halvemmän aamuyön jaksolla, jolloin halvempi jakso voi jäädä käyttämättä.

Näyttää siis siltä, että lienee parempi laskea ohjaus kerralla yhtäjaksoiselle kello 21-07 väliselle ajalle. Ohjauksen laskeminen yhtenäiselle ajalle olisi myös sikäli parempi, että viive ohjauksen ja laskennan välillä olisi pienempi ja siten mahdollisten häiriöiden kasaantunut vaikutus pienempi. Toisaalta haittana olisi mittareiden saavutettavuuden pieneminen, jos ohjausviestit pitää saada nopeammin perille mittareille (ennen kello 21 eikä ennen kello 24). Mittalaitteiden saavutettavuus pienenee lähettämiseen käytetyn ajan pienentyessä.

## 7 Tulosten tarkastelu

Tähän asti saatujen tulosten perusteella kehitetty toimintamalli sopii hyvin täysin varaavien sähkölämmityskohteiden dynaamiseen ohjaamiseen sähkömarkkinahinnan perusteella. Menetelmän toteutus on myös toiminut hyvin. Sekä kenttäkokeiden mittauksia että simulointituloksia on kuitenkin vielä niin vähän, että ne kattavat vain hyvin pienen osan mahdollisista sähkömarkkinahintojen ja ulkolämpötilan tilanteista. Kenttäkokeita on jatkettava ja laajennettava jotta saadaan riittävä varmuus siitä, että menetelmä toimii hyvin erilaisissa tilanteissa.

Mittaustulokset ovat riittävän tarkkoja ja luotettavia tarkoitusta varten. Kuvassa 8 lämpötilamittausten aikaresoluutio on yksi vuorokausi, mutta lämpötilat on koko ajan mitattu tuntitasolla. Tuntitason mittauksista on se hyöty, että mahdolliset mittauksen häiriötekijät ovat paremmin erotettavissa. Myös ulkolämpötilan ja sähkön kulutuksen välinen dynamiikka saadaan tarvittaessa tarkemmin estimoitua. Tämä dynamiikka tarvitaan lämmitystarpeen ennustamisessa ja siten ohjausten määrittämisessä.

## 8 Toimintamallin sovellettavuus muihin tapauksiin

Toimintamallia voi käyttää kaikkiin aikaohjauksen piirissä oleviin tai aikaohjaukseen soveltuviin kuormiin. Tyypillistä näille kuormille on energian varastointi joko lämpönä tai kylmänä. (Sähkön ja käyttöveden lämmitys, kylmävarastot, ilmastointi). Toimintamalli soveltuisi myös hyvin sähköautojen akkujen latauksen ajoitukseen tai muuhun sähkövarastojen ohjaukseen.

Toimintamallia on vertailtu simuloinnein muihin kuormanohjausmenetelmiin [3] ja havaittu, että täysin varaavalle lämmitykselle toimintamallin antama ohjaus on varsin lähellä optimaalista ohjausta. Osittain varaavan lämmityksen tapauksessa optimaaliseen ohjaukseen ja sitä jäljittelevään heuristiikkaan on sen sijaan tällä yksinkertaisella dynaamisellakin toimintamallilla huomattava ero, vaikka se onkin selvästi kiinteäaikaista aikaohjausta parempi. Kyseisissä simuloinneissa ohjausaikaa ei rajoitettu yöhön, vaan mahdolliset päiväsaikaan esiintyneet halvat tunnit voitiin myös hyödyntää.

## 9 Johtopäätökset

### 9.1 Dynaamisten hintaohjausten toteutusmahdollisuudet

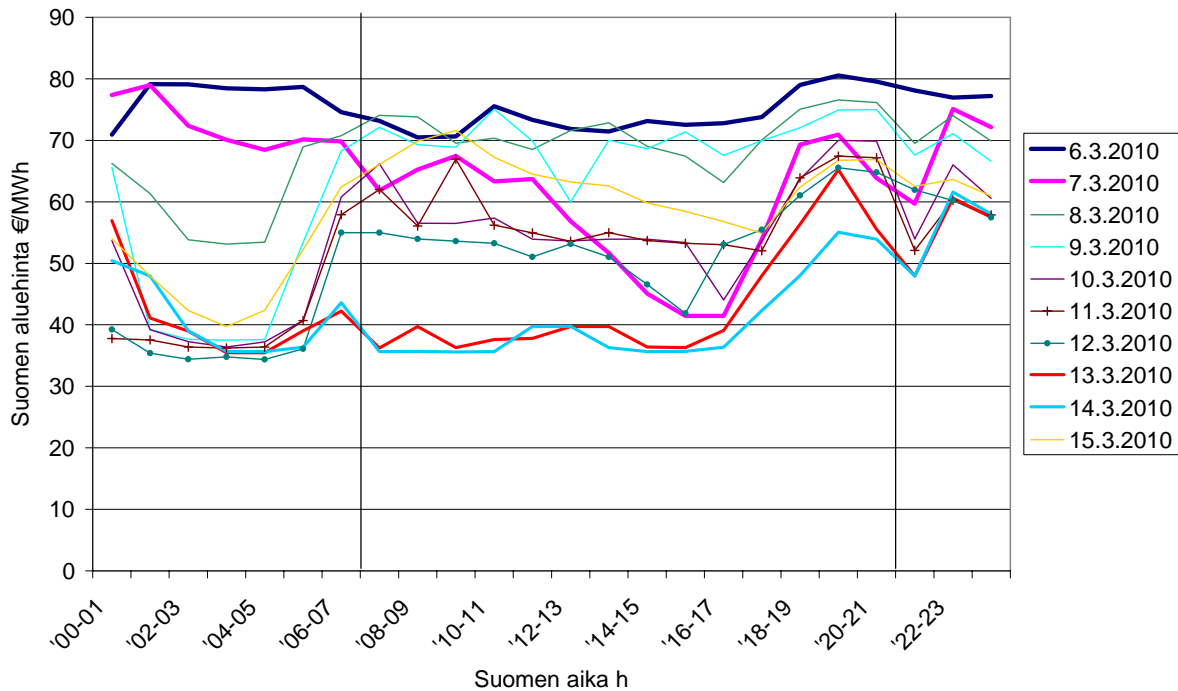
Kehitetty kuormanohjausmalli ja sen tekninen toteutus on alustavissa kenttäkokeissa havaittu toimiviksi. Tunnettuihin vaihtoehtoihin sähkölämmityskuormien ohjauksen toteutusmalleihin verrattuna kehitetty malli tarjoaa nopean ja erittäin kustannustehokkaan tavan lisätä kysynnän joustoa sähkömarkkinoille.

### 9.2 Mahdollisia parannuksia algoritmin yksityiskohtiin

Tässä pilottikokeessa käytetty algoritmi perustuu kuorman ohjauksiin yötariffin ajalle. Syynä tälle valinnalle oli algoritmin yksinkertaistaminen ja ettei olemassa oleviin sopimuksiin asiakkaiden kanssa tarvittu muutoksia. Saatujen mittaustietojen perusteella olisi ehkä syytä selvittää, kuinka suuria hyötyjä voitaisiin saada hyödyntämällä ohjauksiin myös päiväaikaa, sillä sähkön spot-markkinoiden Suomen aluehinnassa on toisinaan tapauksia, jolloin päiväajalta on löytynyt jonkin verran halvempi tunti kuin yöajan kalleimmat tunnit. Nämä ovat olleet etupäässä viikonloppuisin, esimerkiksi:

- sunnuntaina 24.1.2010,
- sunnuntaina 28.2.2010,
- lauantaina 6.3.2010,
- sunnuntaina 7.3.2010,
- lauantaina 13.3.2010 ja
- sunnuntaina 14.3.2010.

Hintojen vaihtelua eri viikonpäivien välillä on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Toisinaan sähkön hinta on viikonloppuisin päivällä halvempi kuin yöllä.

Kuvasta 12 nähdään, että joinakin päivinä, erityisesti viikonloppuisin, sähkön pörssihinta on öisin korkeampi kuin eräinä päiväajan tunteina.

Viikonloppuisin kaksiaikatariffit ovat tyypillisesti Suomessa kokonaan halvemman tariffin aikaa, jolloin viikonloppujen hyödyntäminen on kiinni kuormanohjausalgoritmista.

Laajemman ohjausikkunan lisäksi voitaisiin myös selvittää sitä, olisiko enemmän hyötyä vai haittaa siitä, että päivittäin lähetettävät ohjauskomennot koskisivat ajanjaksoa kello 21 -21. eikä 00-24. Hyötynä olisi viiveiden väheneminen ja siten vasteiden tarkempi ennustus ja ohjaus. Haittana olisi se, että sanomien perille menoon olisi 3 tuntia vähemmän aikaa käytettävissä, jolloin mittareiden saavutettavuus voi pienentyä.

### 9.3 Ehdotuksia jatkoselvitysten kohteiksi

Kysynnänjoustoon on ehdottomasti luotava valtakunnallinen malli, jotta siitä saatavat hyödyt kasvavat liiketaloudellisesti merkittäviksi. Tekniikan on ehdottomasti oltava luotettavaa, jotta asiakkaiden luottamus järjestelmään säilyy ja järjestelmällä on siten käyttöedellytyksiä.

Valtakunnallista mallia varten tarvitaan yhteiset pelisäännöt verkkoyhtiöiden ja myyjien välille, jotteivät erilaiset intressit sähköenergian hinnan ja verkon kuormitettavuuden välillä johda verkon stabiiliuden huonontumiseen tai sähkön laadun heikkenemiseen ja että järjestelmäkokonaisuus saadaan tuotteistettua asiakkaan ymmärtämäksi ja *haluamaksi* tuotteeksi.

Taulukkoon 2 on kerätty asioita, joiden merkitystä kysynnänjoustossa täytyy selvittää tarkemmin ennen laajaa käyttöönottoa.



Taulukko 2. Jatkoselvitystä vaativia asioita.

Rajapinnat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sähkömarkkinasanoman (EDI-sanoma) kehittäjä ja ylläpitäjä</li> <li>- Laitteistorajapinnan kehittäjä ja ylläpitäjä</li> </ul>
Tekniikka	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vasteaika yksittäisessä suoraohjauksessa</li> <li>- Päivittäisen kuormanohjausviestin vastaanoton vasteaika ja luotettavuus</li> <li>- Tekniikan soveltuvuus suuren volyymin ohjauksiin (suoraohjaus ja päivittäinen ohjaus)</li> <li>- Voidaanko saada reaaliaikainen tieto ohjauksen onnistumisesta ja tehomuutoksesta</li> <li>- Erilaisten tiedonsiirtomedioiden (mittarityyppien) vaikutus vasteaikoihin</li> </ul>
Osittain varaavan sähkölämmityksen ohjauspotentiaalin täydellisempi hyödyntäminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Millä tavoin osittain varaavan sähkölämmityksen kysyntäjoustopotentiaali saadaan kustannustehokkaasti lähes kokonaisuudessaan hyödynnettyä</li> </ul>
Joustopotentiaali ja kuormien ryhmittely	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Millä tavoin kuormat voidaan ryhmitellä kotiautomaatiossa</li> <li>- Kuluttajaryhmien joustopotentiaalin ennustaminen tai mittaaminen</li> </ul>
Ohjausvasteiden ennustaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Millainen on kulutuksen (dynaaminen) vaste kuormanohjaussignaaliin (erityisesti muissa tapauksissa kuin täysin varaava sähkölämmitys, jonka vaste osataan jo ennustaa kohtalaisen hyvin).</li> </ul>
Sähkömarkkinavaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Onko sähkön myyjä luonnollinen aggregoija, Mikä on kannattavuus verrattuna muihin aggregoinnin liiketoimintamalleihin</li> <li>- Miten kysynnänjousto vaikuttaa SPOT-hintaan</li> <li>- Voiko iteratiivisella kytkennällä hintatiedon mukaan olla haitallisia vaikutuksia sähkömarkkinoihin.</li> </ul>
Kustannusvaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hyöty-/Kustannusanalyysi erilaisilla tekniikoilla (toimilaitteilla) toteutettuun kysynnänjoustoon</li> </ul>

Valtakunnallinen malli ja sen kulutuksen mittausjärjestelmille asettamat vaatimukset tulisi myös saada hyväksytyksi Euroopassa ja laajemminkin. Näin järjestelmään perustuvien sovellusten ja palveluiden markkina-alue saataisiin laajemmaksi ja nykyistä useammat kulutusmittausjärjestelmien valmistajat tukemaan toimintamallia. Näin saataisiin kustannuksia alemmaksi ja kysyntäjoustoa yleisemmin toteutukseen

## 10 Yhteenveto

Tässä raportissa esitettiin toimintamalli ja menetelmä kysyntäjousten toteuttamiseksi nykyaikaisilla energianmittausjärjestelmillä eli AMM-järjestelmillä. Toimintamallin avulla voidaan täyttää monipuolisesti erilaisia dynaamisia kuormien ohjaamisen tarpeita. Raportissa kerrottiin kuormanohjausjärjestelmän tekninen toteutus ja siinä hahmoteltiin sähkömarkkinoille soveltuvaa toimintamallia. Järjestelmän todettiin soveltuvan sähkölämmitykseen hyvin, ja sen soveltuvuus erityisesti täysin varaavien sähkölämmitysten ohjaamiseen osoitettiin simuloiteihin perustuvilla vertailuilla muihin ohjausmenetelmiin. Toimintamallin toimivuuden todentaminen kenttäkokein on alkanut ja raportissa esitettiin ensimmäiset kenttäkoetulokset. Kenttäkokeissa ohjausjärjestelmä ja sen toteutus ovat toimineet erinomaisesti.

## Lähdeviitteet

- [1] Uola Timo, *Kuormien ohjausajankohdan vaikutukset Helsingin Energian sähköverkossa*, Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto, Tampere 2001, 138 s.
- [2] Leksis Anita, *Markkinahintaperusteinen kuormanohjaus*, Insinöörityö, Metropolia Tekniikan ja liikenteen toimiala, sähkötekniikka, 16.4.2009. 44 s. + liitteet 4 s.
- [3] Koponen Pekka ja Seppälä Joel: *Comparison of price control methods for electrical heating ,simulation study*, Research Report VTT-R-04982-10, VTT Espoo, 30.8.2010, 17s.
- [4] Koponen, Pekka; Kärkkäinen, Seppo; Farin Juho ja Pihala, Hannu. *Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkön käytön ohjaus. Loppuraportti*, VTT Tiedotteita - Research Notes : 2362, VTT, Espoo 2006, 66 s. + liitteet. 8 s.
- [5] Pihala Hannu, *Non-intrusive appliance load monitoring system based on a modern kWh-meter*, VTT Publications: 356, VTT Espoo, 1998, 63s+liitteet 3s.
- [6] Seppälä Joel ja Koponen Pekka, *Markkinaehtoisen sähkölämmitysohjauksen toimintamallin kehittäminen ja pilotointi etäluettavalla mittarilla, Energiatohokkuuden kehittäminen energiayhtiöiden toimin, Yhteenvetoraportti ENETE-projektista*. Aalto Yliopisto, Espoo 2010, s. 20-30.
- [7] Seppälä Joel , *Kysynnänjousto, Sähkömarkkinamalli sähkölämmityksen ohjaamiseen*, Helen Sähköverkko Oy, Helsinki, 22.10.2010, 10 s.