

Pekka Koponen, Seppo Kärkkäinen, Juho Farin & Hannu Pihala

Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus

| Loppuraportti

Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus

Loppuraportti

Pekka Koponen, Seppo Kärkkäinen,
Juho Farin & Hannu Pihala

ISBN 951-38-6884-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7026

VTT, Biologgränden 7, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7026

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 7, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7026

Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Farin, Juho & Pihala, Hannu. Markkinahintasiinaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkökäytön ohjaus. Loppuraportti [Control of small customer electricity demand with spot-market price signals. Final report]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2362. 66 s. + liitt. 8 s.

Avainsanat power demand, demand response, power consumption, electric heating, small houses, electricity markets, pricing policy, real-time pricing, market prices, barriers, modelling, simulation

Tiivistelmä

Sähkön hintajousto on välttämätöntä, jotta sähkömarkkinat toimivat ja kykenevät omalta osaltaan ratkaisemaan sähköjärjestelmä tehotasapainon. Kysynnän jousto voi olla edullinen vaihtoehto nopeasti ohjattavalle sähkön tuotannolle, jonka käyttöaika on yleensä lyhyt ja investoinnit huomattavat. Säädetävää vesivoimaa on rajallisesti, ja kaasuturbiinien hyötysuhde varsinkin säätökäytössä on huono. Pääosa teollisuuden suurten kuormien ohjauspotentiaalista on jo käytössä, sillä osa siitä on hintajoustopiirissä ja järjestelmävastaava on sopinut osan käytöstä häiriötilanteita varten. Mahdollisuuksia nopean kysynnän jouston lisäämiseen on etupäässä pienemmissä kohteissa, erityisesti sähkölämmityskohteissa.

Hintajoustoa koskevassa projektissa tutkittiin koekohteiden avulla niitä mahdollisuuksia ja esteitä, joita kohdataan, kun pienasiakkaiden ohjattavat kuormat pyritään saamaan reagoimaan sähkön spot-markkinahintojen nopeisiin vaihteluihin. Sähkömarkkinoiden avaaminen kilpailulle ja siihen liittyvä toimintojen eriyttäminen sekä vertikaalisen integraation purku ovat ainakin toistaiseksi vaikeuttaneet pienasiakkaiden ohjattavien resurssien, kuten ohjattavien kuormien, kytkemistä sähkömarkkinoihin.

Julkaisussa kerrotaan projektin lähtökohdat, havaitut hintajoustopiirien esteet ja mahdollisuudet sekä projektissa saavutetut tulokset. Niihin kuuluu myös menetelmiä automaattisen hintajoustopiirien toteuttamiseksi ja hyötyjen arvioimiseksi simuloinnein. Sähkön pienasiakkaiden hintajoustopiirien esteiden poistamiseen tähtääviä parannuksia ehdotetaan. Varaava sähkölämmitys sisältää huomattavasti nopeaa ohjauskapasiteettia, jota nykyisin hyödynnetään lähinnä vain kiinteäaikaisilla kaksi- tai kolmiaikatariffeilla. Sähkömarkkinoilla tarvittaisiin nyt kuitenkin nopeasti tilanteen mukaan ohjattavia resursseja. Tärkeimmiksi pienkohteiden hintaohjauksen esteiksi on havaittu lainsäädäntö, sähkönjake- luverkkoyhtiön toteuttamien kulutusmittausten ja niiden rakennusautomaatioliitännän kustannukset asiakkaalle sekä pienkohteiden rakennusautomaation ja lämpötilansäätöjen puutteet.

Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Farin, Juho & Pihala, Hannu. Markkinahintasiinaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkökäytön ohjaus. Loppuraportti [Control of small customer electricity demand with spot-market price signals. Final report]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2362. 66 p. + app. 8 p.

Keywords power demand, demand response, power consumption, electric heating, small houses, electricity markets, pricing policy, real-time pricing, market prices, barriers, modelling, simulation

Abstract

The need for demand response is increasing in the electricity market in Finland. Demand response can be a cost efficient and energy saving alternative to controllable power generation. Controllable hydropower resources may be limited or behind transmission bottlenecks. Providing controllability with fossil fuel based power plants, such as gas turbines, is rather expensive and increases energy losses and emissions. In Finland most of the big industrial controllable loads are either responding to electricity market prices or reserved for emergency control purposes. Thus the main potential to increase the price flexibility of demand is in smaller electricity users and especially in electrical heating.

The possibilities and barriers of applying real time spot-price control to small customers were studied in this project. The opening of the competitive electricity market and associated unbundling of businesses have at least so far made it difficult to connect small controllable resources to the electricity market.

This report explains the background of the project, identified barriers and potential for price response and the results achieved. The results include methods for automating the price response either by optimisation and heuristics. Actions to remove the barriers are suggested. There is significant controllable potential in storing electrical space heating. Now this controllable capacity is used in fixed multiple time zone tariffs, although also situation dependent dynamic response is needed. The main barriers identified in Finland were 1) electricity market legislation concerning small customer settlement, 2) high cost of needed consumption metering and its building automation connection, and 3) the lack of adequate, well functioning and reliable energy management automation for buildings.

Alkusanat

Tekesin osin rahoittama projekti "Markkinahintasignaaleihin perustuvan sähkön käytön hallinnan ja ohjauksen kehittäminen" käynnistyi marraskuussa 2003. Projektin päättämisaikajankohta oli alkuaan 30.8.2005, mutta sitä jatkettiin vielä yhdellä lämmityskaudella siten, että projekti päättyi 30.6.2006.

Projektin rahoittajina olivat Tekesin lisäksi Fingrid Oyj, Sähköenergialiitto Sener (sittemmin Energiateollisuus ry), Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry, Turku Energia ja VTT. Lisäksi Estera (ISS Security Oy) osallistui projektiin omalla työpanoksellaan. Projekti toteutettiin siten, että VTT vastasi tutkimuksesta, Turku Energia sähkömarkkinaliitännästä ja Estera kiinteistöautomaatio- ja tietoliikenneosuudesta. VTT:ltä projektipäällikkönä toimi tutkimusprofessori Seppo Kärkkäinen ja päätutkijana erikoistutkija Pekka Koponen. Lisäksi projektiin osallistuivat erikoistutkijat Juho Farin ja Hannu Pihala.

Projektin johtoryhmään osallistuivat puheenjohtajana Pekka Agge (Turku Energia) ja jäsenenä Pertti Ahonen (Estera), Erkki Stam ja Jarno Sederlund (Fingrid), Pekka Salomaa (Energiateollisuus ry), Juhani Kalevi (Adato) ja Juha Linden (Tekes).

Koekohteiden mittausjärjestelmät toteutti Matti Pietilä Esterasta. Yksittäisissä projektin koekohteissa huomattavaa apua ovat antaneet mm. Teemu Halenius Varissuon Huollosta ja Heikki Iihola.

Kiitämme heitä ja kaikki muita projektiin myötävaikuttaneita henkilöitä.

Espoossa lokakuussa 2006

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
2. Projektin lähtökohdat.....	11
2.1 Sähkön käytön ohjaus sähkömarkkinoiden spot-hintojen perusteella.....	11
2.2 Hintaohjauksen tarve.....	11
2.3 Mittausten ja hintatiedon tarve.....	14
2.4 Suppea kirjallisuuskatsaus.....	15
2.5 Ohjauspotentiaali Suomessa.....	17
2.6 Tavoite ja osapuolet.....	18
3. Tarkastelun kohteet ja menetelmät.....	20
3.1 Koekohteet ja mittaukset.....	20
3.1.1 Kohteiden valinta.....	20
3.1.2 Omakotitalo.....	20
3.1.3 Neljän erillistalon yhtiö.....	20
3.1.4 Rivitalo.....	21
3.1.5 Kerrostalot.....	21
4. Seurantatulokset ja niiden tarkastelu.....	23
4.1 Mittaustulokset.....	23
4.1.1 Omakotitalo.....	23
4.1.2 Neljän erillistalon kohde.....	28
4.1.3 Rivitalo.....	33
4.1.4 Kerrostalot.....	38
4.2 Käyttäjien reagointi hintoihin.....	42
5. Hintaohjausmallit ja simuloinnit.....	45
5.1 Dynaamiset lämpötasemallit.....	45
5.2 Automaattisen hintaohjauksen menetelmät.....	47
5.2.1 Optimointimenetelmäkehityksen tavoitteet.....	47
5.2.2 Sähkökuormien hintaohjauksen optimointimenetelmä.....	48
5.2.3 Heuristinen sähkökuormien hintaohjausmenetelmä.....	50
5.3 Automaattisen hintaohjauksen simuloidut hyödyt.....	51

6. Hintaohjauksen mahdollisuudet ja esteet.....	53
6.1 Hintaohjauksen vaikutus sähkön käyttöön.....	53
6.2 Esteet ja mahdollisuudet valtakunnallisella tasolla.....	54
6.3 Projektin toteuttamiseen liittyvät esteet ja ongelmat.....	58
7. Päätelmät ja suositukset.....	60
8. Yhteenveto.....	62
Lähdeluettelo.....	64
Liite A: IEA-DSM-yhteistyö	

1. Johdanto

Sähkömarkkinoilla hinnat nousevat, jos tarjonta on niukkaa. Hintojen nousu voi johtua muun muassa polttoaineiden hinnoista, sateiden ja määrästä ja sijainnista, lumen määrästä ja sulamisajankohdasta, pakkas- ja hellekausista sekä sähkön tuotannon, tuonnin ja siirron kapasiteetin niukkuudesta, seisokeista, häiriöistä, kulutushuipuista sekä suurten voimalaitosten käynnistys- ja pysäytyskustannuksista. Nopeat hintapiikit lisäävät monien sähkönmyyjien hintariskejä, koska tasepoikkeamat kallistuvat ja koska sähkön vähittäismyynnin kiinteät hinnat muuttuvat hitaasti. Mahdolliset poikkeuksellisen pitkät pakkasjaksot lisäävät myös myyjien volyyimiriskiä, jos pakkasen aiheuttama lisäkysyntä joudutaan hankkimaan pörssistä kalliilla hinnalla.

Hintariskin torjumiseksi sähkön myyjät tarjoavat yleisesti tariffeja, joissa hinnat ovat voimassa toistaiseksi. Nämä ovat joskus osoittautuneet asiakkaan kannalta huonoiksi, koska myyjä yksipuolisesti päättää hintamuutoksista. Uusi myyjän vaihto vuoden sisällä tulee asiakkaalle kalliiksi, koska asiakas joutuu tällöin maksamaan mittarinlukumaksun; lisäksi myyjän vaihtaminen on työlästä ja pelivarasta vaihdon ajoituksessa on etua. Kiinteähintaisissa sopimuksissa hintaa lisäävät myyjän hintariskeiltä suojautumisen kustannukset. Näistä syistä spot-markkinahintoihin sidottuja energiatariffeja on alettu tarjota entistä pienemmille sähkön käyttäjille.

Sähkömarkkinoiden tehokas ja varma toiminta edellyttää sitä, että markkinoilla on riittävästi hintajoustoa. Ilman riittävää hintajoustoa kasvaa riski siihen, että sähkömarkkinat eivät löydä kulutuksen ja tuotannon välistä tasapainopistettä. Seurauksena ovat korkeat hintapiikit ja koko sähköjärjestelmän toiminnan vaarantuminen. Jälkimmäinen vaihtoehto tarkoittaa käytännössä sitä, että järjestelmävastaava siirtoverkko-operaattori joutuu yksipuolisesti päätöksin keskeyttämään sähkön toimituksen lyhyiksi ajoiksi tietyille alueille, jotta laajempi keskeytys vältetään. Koska sähköä ei voi merkittävästi varastoida, tarvitaan hintajoustoa kaikilla markkinoiden aikaskaaloilla, myös nopeilla, kuten seuraavaa päivää tai seuraavaa tuntia koskevilla markkinoilla.

Sähkömarkkinoilla hintajoustoa on nyt pääasiassa tuotannon puolella, ja lisää hintajoustoa tullaan tarvitsemaan. Tuotantolaitoksia on muuttuvilta kustannuksiltaan erilaisia, ja ne tarjoavat sähkön tuotantoa eri hinnoilla. Kysynnän jousto saattaa korvata huipputuotantokapasiteettia ja häiriöreservejä. Ruotsissa ja Suomessa sähkömarkkinoilla nopeasti ohjattavat resurssit ovat keskittyneet muutamalle suurelle osapuolelle, joilla on paljon tuotantoa ja jotka osallistuvat monipuolisesti ostajina ja myyjinä sähkömarkkinoiden kaupankäyntiin. Näin ollen ne kykenevät jossakin määrin ohjailemaan sähkön hinnan muodostusta, kun markkinoilta puuttuu hintajoustoa. Sähkömarkkinoiden ja sähköjärjestelmän toimivuuden kannalta olisi siis hyvä, että nopeaa hintajoustoa olisi nykyistä enemmän ja nykyistä useammalla sähkömarkkinoiden osapuolella.

Näissä olosuhteissa on nähty tarpeelliseksi kehittää ja kokeilla uusia hinnoittelujärjestelmiä, jotka perustuisivat markkinahinnan nopeisiin vaihteluihin ja siihen, että hintasignaali siirretään sähkön loppukäyttäjälle. Tämän tyyppisen hinnoittelun tarve on ilmeinen muun muassa muista liiketoiminnoista eriytetyn sähkön myyjän kannalta. Järjestelmä antaa myös loppukäyttäjälle mahdollisuuden reagoida muuttuviin sähkön hintoihin ja siten vaikuttaa omaan sähkölaskuunsa. Samalla sähkömarkkinoille saadaan lisää kaivattua hintajoustoa. Turku Energia Oy on Suomessa ensimmäisenä ottanut käyttöönsä sellaisen sähkön spot-hintoihin perustuvan tuntipohjaisen hinnoittelun, jota se tarjoaa myös pienasiakkaille. Sittenkin myös muita pienasiakkaille tarkoitettuja spot-hintaan sidottuja tuotteita on tullut Suomen sähkömarkkinoille. Osa näistä ei kuitenkaan välitä nopeita hintavaihteluita asiakkaalle vaan on sidottu esimerkiksi kuukauden tai vuorokauden keskihintaan eikä siksi sovellu nopean hintajoustopuun lisäämiseen.

Markkinahintaan sidottuja tariffeja käytettäessä asiakas voi itse valita hänelle edullisimmat suojautumistavat, esimerkiksi pankkien tarjoaman sähkömarkkinoiden hintaan sidotun talletus- tai lainasopimuksen, kulutuksen ajoitukseen vaikuttamisen tai riskin hyväksymisen.

Hankkeessa ”Markkinahintasignaaleihin perustuvan sähkön käytön hallinnan ja ohjauksen kehittäminen” tutkittiin sitä, miten sähkön spot-markkinoiden hintoihin perustuvan tariffin avulla voidaan vaikuttaa pienkuluttajien sähkön käyttöön ja sen ajoitukseen. Tarkastelun piiriin kuuluvat 3 x 63 A:n ja sitä pienemmillä liitännöillä varustettujen asiakkaiden lisäksi myös hiukan niitä isommat kohteet, kuten esimerkiksi erilaiset rivija kerrostalot. Projektissa kartoitetaan samalla pienasiakkaiden hintajoustopuun toteuttamisen esteitä. Seuraavissa luvuissa esitellään projektin päätulokset.

Projektiin kuului osana myös aiheeseen liittyvä kansainvälinen yhteistyö IEA Task XI:n (Time of Use Pricing and Energy Use for Demand Management Delivery) puitteissa. Ko. työssä analysoitiin kokemuksia kuluttajapalautteen ja hinnoittelun vaikutuksesta kuluttajan käyttäytymiseen ja energiansäästöön sekä selvitettiin pienkuluttajan mahdollisuuksia osallistua aggregaattorin kautta sähkömarkkinoille myymällä ohjattua kuormaa (Demand Side Bidding). Liitteessä A on yhteenveto tuotetuista raporteista. Raportit kokonaisuudessaan ovat IEA-DSM:n verkkosivuilla <http://dsm.iea.org/>.

2. Projektin lähtökohdat

2.1 Sähkön käytön ohjaus sähkömarkkinoiden spot-hintojen perusteella

Sähkökuormien hintaohjauksella tarkoitetaan sitä, että sähkön käyttäjä itse ohjaa omia kuormiaan sähkön muuttuvan hinnan perusteella. Täten hintaohjaus poikkeaa niin sanotusta suorasta kuormien ohjauksesta, jossa sähköyhtiö suoraan ohjaa asiakkaansa kuormia riippumatta siitä, miten asiakkaan sähköntarve vaihtelee. Hintaohjaus soveltuu hyvin myös tapauksiin, joissa sähköyhtiön asiakkaalla on omaa sähkön tuotantoa.

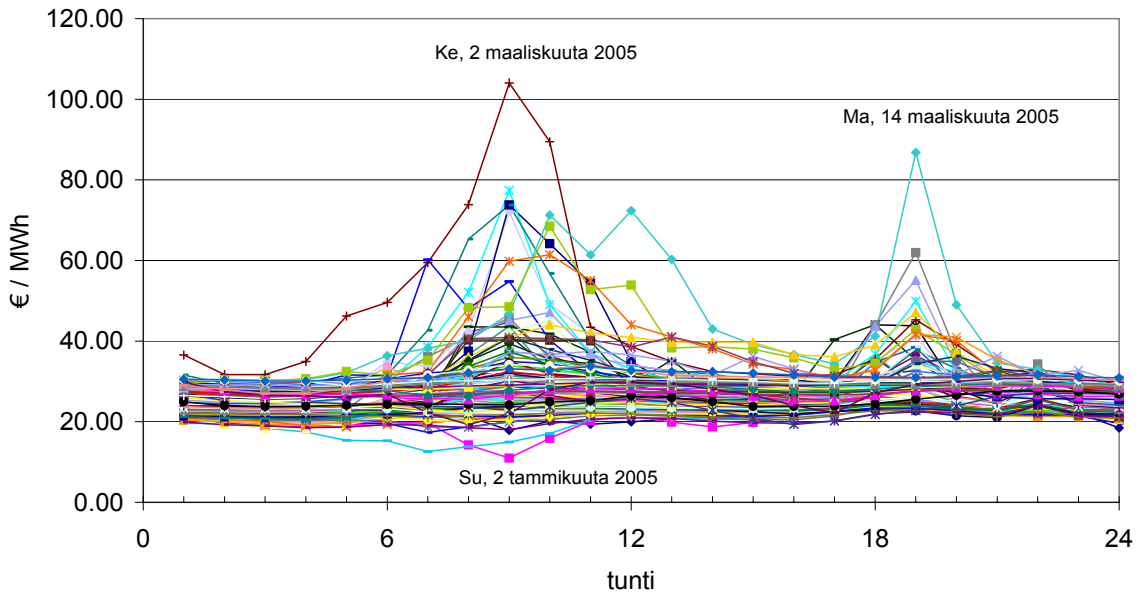
Tässä projektissa tarkasteltiin sellaista hintaohjausta, jossa jokaiselle tunnille on oma hintansa, joka on määräytynyt sähkön spot-markkinoilla tarkasteluhetkeä edeltävänä päivänä. Asiakkaalle hinta on suoraan spot-markkinahinta lisättynä pienellä myyjän marginaalilla. Lisäksi asiakas maksaa erillisen verkkotariffin mukaisen hinnan sähkön siirrosta. Hintaohjausta kannattaa toki soveltaa myös spot-markkinoita nopeammilla ja hitaammilla sähkömarkkinoilla. Hintaohjaukseksi voidaan joskus laskea myös niin sanottu aikaohjaus, joka perustuu kelloon eikä välitä kulutushetkeä koskevia sähkömarkkinoiden todellisia hintavaihteluita asiakkaalle. Päivittäin määräytyvien spot-markkinahintojen etuna on se, että ne ovat periaatteessa neutraalisti muodostuvia referenssihintoja ja siten soveltuvat hyvin sopimusten ja tariffien pohjaksi. Koska tunneittainen spot-hinta määräytyy edellisenä päivänä, jää sähkön käyttäjälle noin vuorokausi aikaa reagoida.

2.2 Hintaohjauksen tarve

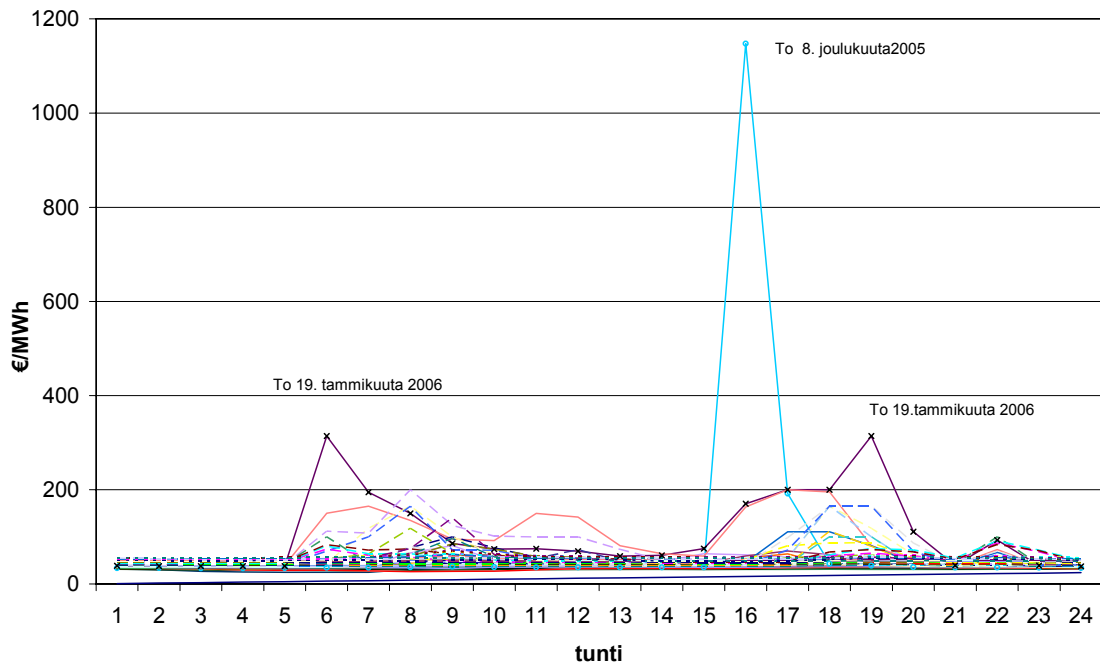
Suomessa sähkölämmitteisillä taloilla sähkön hinta on usein tariffissa sidottu kellonaikaan ja kalenteriin eli niillä on kaksi- tai kolmiaikatariffi. Arkipäivien päiväsaikaan hinta on korkeampi kuin muina aikoina. Käyttöveden ja osin tilojen sähkölämmitys on kyseisissä taloissa tyypillisesti toteutettu niin, että sähkön kulutus siirtyy pääosin yöajalle.

Sähkömarkkinoiden vapautumisen myötä päivän ja yön väliset päivittäin toistuvat hintojen vaihtelut ovat pienentyneet. Kuvassa 1 ovat alkuvuoden 2005 spot-hinnat ja kuvassa 2 talven 2005–2006 spot-hinnat. Markkinahintojen huiput ja suuret hintojen muutokset ovat satunnaisempia. Kelloon perustuva hintojen ohjaus ei useimmiten vastaa todellisia markkinahintojen aikavaihteluita eikä siten myöskään todellista ohjaustarvetta. Kiinteästi aikaan sidotut kaksi- ja kolmiaikatariffi ovat siis nykyisin varsin tehostomia välittämään sähkömarkkinoiden hintavaihteluita sähkön käyttäjälle. Esimerkkinä tästä on hintahuippuun ajoittuva kuva 3, jossa on spot-hintatariffiin sidotun asiakkaan sähköverollinen aikasiirtohintaa sekä sähkön kokonaishinta, joka koostuu aikasiirrosta, spot-

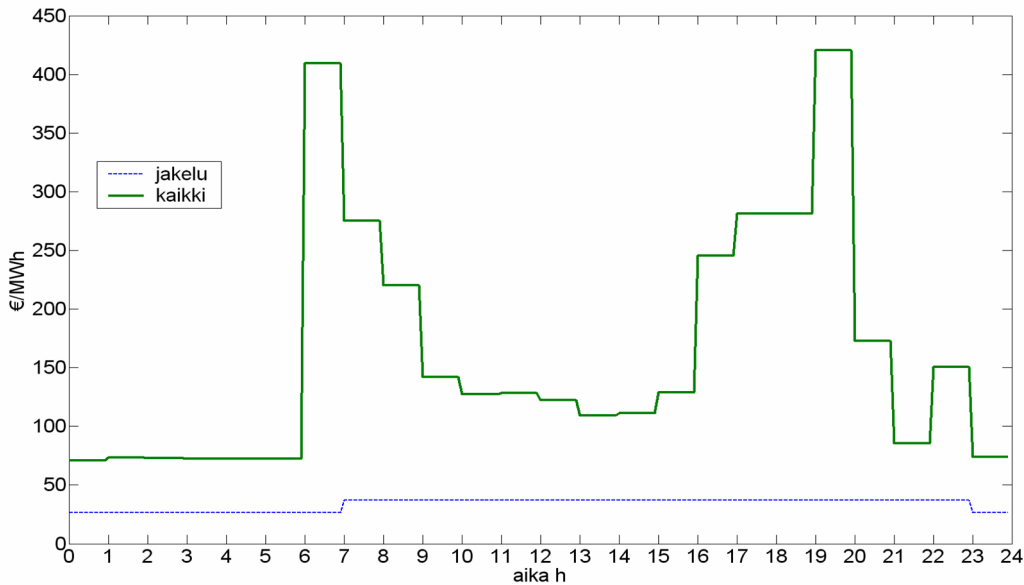
hinnasta ja veroista. Lisäksi todellisessa hinnassa on pieni myyjän marginaali, joka voi olla joko kiinteä tai muuttuva.



Kuva 1. Sähkön spot-hinta Suomessa 1.1.2005–19.4.2005.



Kuva 2. Sähkön spot-hinta Suomessa 1.12.2005–25.3.2006. Huomaa hinta-akselin skaala.



Kuva 3. Sähkön hinta spot-hinta asiakkaalle 19.1.2006 sisältäen spot-hinnan, jakelun aikahinnan ja veron; alempana on jakelun aikahinta.

Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla järjestelmän tehotasapainosta vastaavat järjestelmäoperaattorit sekä eräät muut sähkömarkkinoiden toimijat toivovat lisää nopeaa kysynnän hintajoustoa. Entistä suurempia voimalaitoksia ja siirtoyhteyksiä sekä lisää teholtaan vaihtelevaa tuotantoa tulee käyttöön. Nopeasti ohjattavien resurssien riittämätön määrä tai niiden keskittyminen vain muutamalle toimijalle voi johtaa sähkömarkkinoiden häiriöihin ja sähköjärjestelmän käyttövarmuuden huononemiseen. Näiden tilanteiden taustalla on yleensä äkillinen häiriö isossa voimalaitoksessa tai siirtoyhteydellä, tuonnin rajoitus, äärimmäisen säätilan vahvistama kulutushuippu tai näiden yhdistelmä. Jos markkinat ovat pahasti keskittyneet, voi syntyä jopa tilanteita, joissa ne markkinoita hallitsevat toimijat, jotka hyötyvät korkeista hinnoista, voivat saada taloudellista hyötyä pahentamalla tilannetta. Niille toimijoille, jotka ostavat paljon sähköpörssistä, hyvin korkeat hinnat muodostavat taloudellisen riskin, jolta suojautuminen voi olla kallista. Sähkömarkkinoiden häiriöt ja ohjattavien resurssien puute saattavat myös vaikeuttaa sähköjärjestelmän fyysisen tehotasapainon ylläpitoa.

Suurteollisuuden kuormanohjausmahdollisuudet ovat jo pääosin käytössä joko hintojen perusteella ohjattuina tai esimerkiksi järjestelmävastaavan häiriöreserveinä [Pih 05]. Uutta hintajoustopotentiaalia on siksi etsittävä pienemmistä kohteista. Monille sähkön käyttäjille hintaohjaus sopii paremmin kuin sähköyhtiön toimesta tapahtuva suora kuormien ohjaus. Suoraan ohjaukseen liittyy usein myös todentamisongelma. On hankala varmistua siitä, että asiakkaan muut kuormat eivät enemmän tai vähemmän kumoja ohjauksen vaikutusta tehoon. Lisäksi hintaohjauksen liitännä sähkömarkkinoihin on suoraa ohjausta selkeämpää ja suoraviivaisempaa.

Järjestelmätasolla tarkasteltuna kysynnän jousto on vaihtoehto hyvin lyhytaikaisesti ja satunnaisesti tarvittavalle nopeasti ohjattavalle huippuvoimalle ja pyörivälle varakapasiteetille. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna kysynnän jouston hyödyt voivat näköpiirissä olevassa tulevaisuudessa olla merkittävästi suuremmat kuin menneiden sähkön hintojen perusteella arvioituna. Korvaaminen on mahdollista vain siinä määrin kuin kysynnän jousto on käytettävissä silloin, kun korvattavaa ohjattavaa resurssia eniten tarvittaisiin.

2.3 Mittausten ja hintatiedon tarve

Hintajousto ei toteudu, jos markkinahinnan vaihtelut eivät välity kuluttajalle. Kuluttajan hintavaste on voitava todentaa joko mittauksin tai luotettavilla malleilla arvioiden. Myös vastemallien laatiminen edellyttää mittauksia. Vastemalleja tarvitaan todentamisen lisäksi hintavasteen optimoimiseen ja ennustamiseen. Mittauksilta tarvittavan aikaresoluution minimivaatimukset tulevat suoraan siitä, miten nopeille markkinoille halutaan kyseistä resurssia tarjota. Esimerkiksi seuraavaa päivää koskeville spot-markkinoille ohjattavuutta hyödynnettäessä tarvitaan periaatteessa vähintään tuntimittauksia. Tällöinkin kuorman ohjauksen toteuttava automaatio yleensä tarvitsee tapauksesta riippuen 3–15 minuutin aikaerottelulla olevia lähes ajantasaisia mittaustietoja. Jos mittauksen aikaerottelu on huono, on toimenpiteiden ja ohjausten vasteita ja laitteiden toimintajaksot vaikea erottaa toisistaan ja satunaisista kuorman vaihteluista. Mittausviive lisää epävarmuutta nykytilasta ja hidastaa reagointia sen muutokseen. Monet kulutuskohteet ovat hyvin nopeasti ohjattavissa ilman merkittäviä haittoja tai ohjauksista aiheutuvia muuttuvia kustannuksia. Ohjattavuuden toteutuksesta aiheutuvat kiinteät kustannukset ovat sen sijaan usein kynnyskysymys. Näin ollen ohjattavuus kannattaisi yleensä toteuttaa muiden palvelujen ohella ja niin, että ohjattavia kuormia voitaisiin hyödyntää myös spot-markkinoita nopeammilla sähkömarkkinoilla.

Periaatteessa sähkön käyttäjän on mahdollista reagoida seuraavan päivän spot-hintoihin myös manuaalisilla toimenpiteillä. Esimerkiksi hän voi lämmittää sähkön sijasta puilla varaavaa takkaa ja saunaa. Yleensä hintajoustoprojektin toteuttaminen edellyttää kuitenkin sitä, että vaste on automaattinen. Kulutusmittaukset olisi saatava automaatiojärjestelmään karkeasti ottaen välittömästi. Pelkästään vanhoista mittausaikasarjoista on käytännössä varsin vähän hyötyä.

Automaattisen hintajoustoprojektin toteuttamiseksi tarvitaan seuraavia tietoja siirrettyinä kuluttajan automaatiojärjestelmään:

- nopeat hintavaihtelut (esimerkiksi spot-hinta päivittäin muutaman tunnin sisällä sen muodostumisesta)

- 1–15 minuutin aikaresoluutiolla oleva välitön tieto sähkön kulutuksesta (suoraan kWh-mittarista automaatiojärjestelmään)
- rakennuksen energianhallinnan keskeisiä mitattuja lämpötiloja yms.

2.4 Suppea kirjallisuuskatsaus

Tässä tarkastellaan lyhyesti kirjallisuutta, joka käsittelee markkinahintasignaaleihin perustuvan hintaohjauksen toteutustapoja. Kuormien ohjausta muista näkökulmista käsitteleviä julkaisuja on niin paljon, että niitä ei ole tarkoituksenmukaista käsitellä tässä.

[Dar 89] esittää pääpiirteissään algoritmin yksivarastaisen sähkökuorman ohjauksen ajoittamiseksi. [Dar 91a] ja [Dar 91b] kuvaavat kokeita, joissa ohjattiin kolmea sähköllä lämmitettävän lämpövaraston sisältävää rakennusta. Lämmityskustannukset minimoitiin lineaarisen optimoinnin menetelmällä. Järjestelmän malli oli lineaarinen tila- ja ohjauks rajoituksilla varustettu malli. Aikaohjaukseen verrattuna saavutettiin lähes 50 %:n säästö muuttuvissa sähkökustannuksissa. [Dar 93] tarkasteli lämpövaraston mitoituksen vaikutusta hyötyihin. Havaittiin, että optimoitua hintaohjausta käytettäessä hyödyt eivät huonee yhtä nopeasti kuin aikaohjauksella, jos lämpövaraston mitoitus on joko liian suuri tai liian pieni. [Dar 94] esittää tavanomaista lineaarista ohjelmointia tehokkaamman optimointimenetelmän rakennuksen lämmitykseen ja ilmastointiin liittyvien kokonaiskäyttökustannusten minimoimiseksi. Järjestelmän dynaamisia lämpötaseita kuvaavan yksinkertaisen mallin matemaattisia ominaisuuksia tarkastelemalla oli todettu niiden esittävän asympotoottisesti stabiilia positiivista dynaamista järjestelmää, joka mahdollistaa kyseisen menetelmän käytön.

[Bra 90] käsittelee lämpövarastoja sisältävien rakennusten optimiohjausta. Tarkasteltavana ovat rakennukset, joissa joudutaan optimoimaan myös kytkentöjä lämmityksen ja jäädytyksen välillä, joten optimointitehtävä ei ole sileä ja saattaa sisältää useita paikallisia optimiratkaisuja. Tarkoitukseen kehitetystä optimointimenetelmästä mainitaan vain pääpiirteet. [Mor 94] raportoi kyseisellä järjestelmällä toteutetun kohteen tuloksia ja toteaa huomattavia säästöjä saadun verrattuna kaksiaikatariffiin.

[Cir 95], [Vol 96] ja [Flo 94] kertovat hintasignaaleihin perustuvasta hyvin suurten hotellien ohjausautomaatiosta. Hintasignaali koostuu tuntihinnoista ja se luultavasti lähetetään edellisenä päivänä. Tässä kokoluokassa dynaamiset tariffit osoittautuivat selvästi edullisiksi sekä sähköyhtiölle että sähkön käyttäjälle. Automaattisen ohjauksen kerrotaan olevan ylivoimainen käsin tehtyihin ohjauksiin verrattuna. Myös [Hof 97] raportoi samat johtopäätökset muutamien kaupallisten ja teollisuuden rakennusten hintasignaaleihin perustuvasta energianhallinnasta.

[Con 91] esittää pienkohteiden spot-hintapohjaisen ohjausratkaisun.

[Haw 00] raportoi Yhdistyneissä Kuningaskunnissa tuohon mennessä jo useita vuosia käytössä olleista toteutuksista. Toinen niistä on CELECT, joka aluksi toteutettiin Eche-lonin LonWorks-rakennusautomaatioverkkotekniikalla ja jossa pientalon jokaisella sähkölämmittimellä oli oma optimoiva ohjausyksikkö [Str 95]. Myöhemmissä CELECT-versioissa käytetään kotiautomaatiojärjestelmää EHS (European Home Systems) ja keskitettyä ohjausyksikköä. Myös käyttöveden lämmityksen optimointi sisältyy järjestelmään. Optimointi perustuu malliin, joka ennustaa suunniteltujen ohjausten seuraukset eli kustannuksen ja asumismukavuuden. Optimointi kattaa seuraavat 48 tuntia 10 minuutin aika-askeleella. Optimointimenetelmän kerrotaan pohjautuvan mutkikkaaseen heuristiseen hakuun. Sekä kustannukset että asumismukavuus ovat parantuneet järjestelmän ansiosta. Toinen hintasignaaleihin perustuva järjestelmä on GeMMS (Generic Module Management System), jota on sovellettu ilmastointijärjestelmien jäävarastoihin, veden pumppaukseen, veden lämmitykseen ja maitotilojen energianhallintaan. Sekä CELECT että GeMMS on todettu toimiviksi mutta toteutuskustannuksiltaan vielä hyötyihin nähden hieman liian kalliiksi.

[Kop 96] tarkasteli simuloinnein kolmea tapausta, jotka olivat 1) yksinkertaisen rakennuksen lämmitys ja ilmastointi, 2) terästehdas ja 3) ohjattavissa oleva jatkuva teollisuusprosessi, kuten elektrolyysi. Kahdessa ensin mainitussa tapauksessa ohjaus optimoitiin markkinahintasignaalin perusteella. Kohdassa 1) havaittiin, että ilmastoinnin ottaminen lämmityksen lisäksi ohjattavaksi toi lisäsäästöjä mutta käytetty optimointimenetelmä oli liian tehoton tarvittavan pitkien aikajaksojen optimoimiseen. Syynä menetelmän hitauteen oli se, että gradientti laskettiin kokeilemalla. Jos tuolloin käytetty optimointiohjelma olisi sallinut sen, että gradientti lasketaan liittotiloista ja näin olisi myös tehty, ei laskennan hitaus olisi muodostunut rajoittavaksi tekijäksi; katso [Has 76] ja [Kop 06].

Norjassa on kokeiltu järjestelmää, joka automaattisesti kytkee päältä tiettyjä sähkönkulutuslaitteita, kun spot-markkinoiden tuntihinta ylittää reippaasti keskimääräisen hinnan [Gra 06]. Järjestelmää tarjotaan nyt Norjassa koekäyttöön muutamille asiakkaille.

Tanskassa toteutettiin talvella 2003–2004 spot-markkinahintaan perustuvan automaattisen ohjauksen kenttäkoe 25 sähkölämmitteiselle pientalolle. [Kof 04] kertoo kokeen tuloksista. Talven aikana saatiin hyötyä kuormien ajoituksen kautta 80 € ja energian kulutuksen vähenemisen kautta 40 € taloa kohti. Jälkimmäiseen lukuun lienee syytä suhteutua varauksin, koska sitä ovat saattaneet jonkin verran kasvattaa sen arvioinnissa käytetyn lämpöasetta kuvaavan regressiomallin tyypilliset virheet. Kyseinen talvi oli tavallista leudompi. Toteutuskustannuksiksi 1000 talon toteutukselle arvioitiin 800 € taloa kohti.

2.5 Ohjauspotentiaali Suomessa

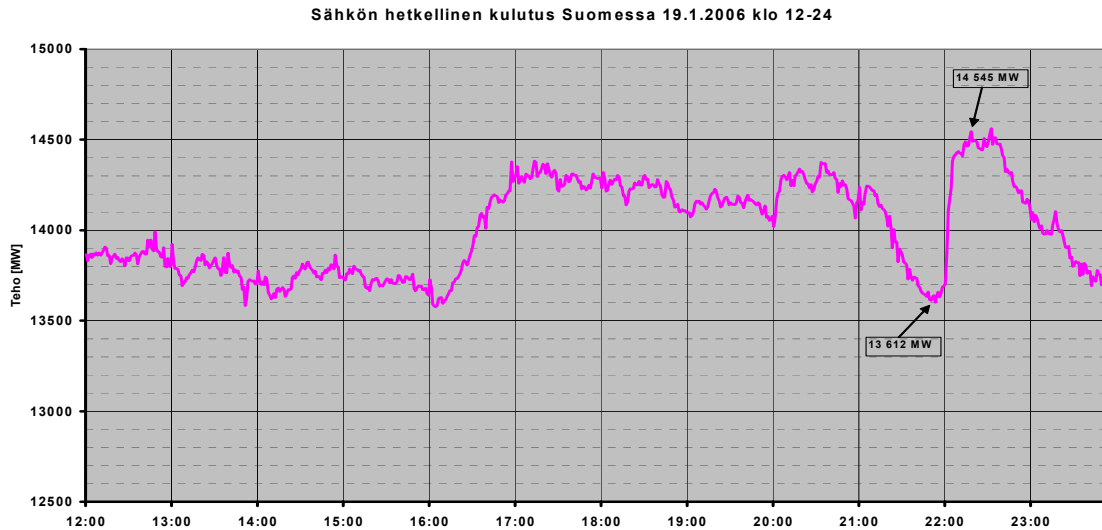
Suurteollisuuden kuormienohjauksen mahdollisuudet ovat jo pääosin käytössä tai otetaan käyttöön lähivuosina [Pih 05]. Suomessa vapaana olevasta kuorman ohjauspotentiaalista suurin osa lienee yksityistalouksien sähkölämmitystä. Pienen ja keskisuuren teollisuuden sekä palveluiden yhteinen ohjauspotentiaali lienee pienempi ja sen kartoittamista ja käyttöön saamista vaikeuttaa kohteiden erilaisuus.

Suomessa sähkölämmitteisiä asuintaloja on yli 600 000. Ohjauspotentiaalia arvioidaan olevan noin 1–2 kW kohdetta kohden eli yhteensä noin 600–1200 MW. Ohjattavissa oleva teho on talvella suurempaa ja kesällä selvästi pienempää. Ohjauspotentiaali on suurinta niissä taloissa, joissa sähkölämmitys on tehty varaavaksi ja joissa hyvä eristystaso sekä poistoilman lämmön talteenotto mahdollistavat lämmityksen ajoituksen melko pitkätkin siirrot ilman merkittäviä mukavuushaittoja. Lisäksi Suomessa on noin 400 000 loma-asuntoa, joista yhä suurempi osa lämpiää sähköllä.

Suomen hetkellisessä sähkönkulutuksessa aikaohjautuvien kuormien kytkeytyminen päälle näkyy suurena portaana, kuva 4. Porras on niin iso, että se vaikeuttaa kantaverkon käyttövarmuuden ylläpitoa. Sen perusteella voidaan arvioida, että pakkasilla aikaohjaus kytkee illalla päälle jopa yli 1000 MW kuormaa.

Sähkölämmitys on myös hyvin nopeasti ohjattavissa ilman, että siitä aiheutuu mitään haittaa tai kuluja sähkön käyttäjälle. Tässä suhteessa se poikkeaa edukseen monista teollisuuden ohjattavista kuormista. Toisaalta pienkohteiden ohjauspotentiaalin käyttöönotto edellyttää suhteessa suurempia järjestelmäinvestointeja verrattuna isompiin ohjauskohteisiin.

Tässä projektissa tarkasteltiin erilaisia asuintaloja, koska niissä on Suomessa suuri osa siitä tunnetusta kuormien nopeasta ohjauspotentiaalista, jota ei vielä ole jo otettu käyttöön tai suunniteltu käytettäväksi.



Kuva 4. Aikaohjattavat kuormat aiheuttivat talven 2006 pakkasilla yli 900 MW:n portaan Suomen hetkelliseen sähkönkulutukseen. Lähde Jarno Sederlund Fingrid.

2.6 Tavoite ja osapuolet

Tutkimus pohjautui Turku Energia Oy:n markkinahintapohjaiseen hinnoittelujärjestelmään, jonka vaikutuksia sekä sähkönkäyttäjien että sähköyhtiöihin ja valtakunnalliseen sähköjärjestelmään tutkittiin. Tavoitteena oli tutkia ja kehittää ratkaisuja, joilla sähkön käytön ohjausmahdollisuudet saadaan sähkömarkkinoiden käyttöön. Tutkimukseen kuuluu oleellisena se, että selvitetään toisaalta sähkönkäyttäjien reagointia markkinahintasihtaalihin ja toisaalta niitä teknisiä ratkaisuja, joilla hintasihtaalien vaikutukset ja ohjaukset voidaan automaattisesti toteuttaa sähkönkäyttäjien järjestelmissä. Samalla kehitetään kuormien ohjaukseen perustuvia keinoja, joilla sähkön vähittäismyyntiyhtiöt voivat suojautua sähkömarkkinoiden nopeilta hintapiikeiltä ja hyödyntää niitä yhdessä asiakkaidensa kanssa. Työhön on kuulunut osana aiheeseen liittyvä IEA DSM Agreementin puitteissa tehtävä yhteistyö.

Osatavoitteet olivat seuraavat:

- Mitataan ja arvioidaan hintaohjauksen vaikutukset sähkön käyttöön pilottikohteiden avulla Turku Energian spot-pohjaisilla markkinahintatuotteilla.
- Arvioidaan ja kehitetään kustannustehokkaita ratkaisuja, jotka tehostavat hintaohjauksen vaikutusta ja hyödyntämistä.
- Käynnistetään niiden ratkaisujen kehittäminen, joilla hintaohjaus voidaan tehokkaasti hyödyntää pientaloissa.

- Kehitetään Internet-pohjainen asiakasinformaatiojärjestelmä, jolla hintaohjauksen vaikutusta voidaan tehostaa pienkuluttajilla (sähkölämmityskuluttajat).
- Arvioidaan mahdollisuudet hintaohjauksen hyödyntämiseen pientaloautomaatiolla.
- Kehitetään ja pilotoidaan sähkön käytön hankinta-, hallinta- ja ohjausjärjestelmiä kiinteistön automaatiojärjestelmän osana Turku Energian spot-pohjaisilla markkinahintatuotteilla.
- Arvioidaan hintaohjauksen hyödyt pilottikohteiden pohjalta.
- Kehitetään menetelmät suoran markkinalähtöisen ohjauksen toteuttamiseksi ja vaikutuksen ja hyötyjen todentamiseksi.
- Arvioidaan erilaisia markkinahintapohjaisia hinnoitteluvaihtoehtoja sekä sähkön myyjän että asiakkaan näkökulmasta.
- Arvioidaan hintaohjauksen vaikutuksia valtakunnan tasolla, mikäli sitä sovellettaisiin laajamittaisesti.

Hankkeen toteuttavina osapuolina olivat Turku Energia, joka hankkeessa sähkön vähittäismyyjänä liitti koekohteet sähkömarkkinoihin, sekä Estera Oy, joka huolehti koekohteiden rakennusautomaatiosta ja tietoliikennetkaisuista. Tutkimusosapuolena oli VTT.

3. Tarkastelun kohteet ja menetelmät

3.1 Koekohteet ja mittaukset

3.1.1 Kohteiden valinta

Projektin alussa etsittiin ja kartoitettiin sopivia koekohteita. Sähkön kulutuksen lämpötilariippuvuuksia analysoitiin, ja tarvittavien mittausten ja automaation toteuttamismahdollisuuksia selvitettiin. Alustavasti tarkastellusta joukosta koekohteiksi valittiin seuraavat:

- varaavalla sähkölämmityksellä varustettu omakotitalo Helsingissä
- neljän erillistalon yhtiö Espoossa
- viidestä huoneistosta koostuva rivitaloyhtiö Nurmijärvellä
- kaksi vanhusten asunnoista koostuvaa kerrostalokiinteistöä Turussa Varissuolla.

Kokeet tehtiin talvina 2004–2005 ja 2005–2006.

3.1.2 Omakotitalo

Omakotitalon lattiapinta-ala on noin 200 m² ja tilavuus noin 500 m³. Talo on kaksikerroksinen. Sähkölämmitystä kohteessa on noin 12 700 W, josta suoraa kattolämmitystä 7 380 W ja aikaohjauksessa olevaa varaavaa lattialämmitystä 5 305 W nimellistehoina ilmoitettuna. Aikaohjauksessa olevan lämpimän käyttöveden varaajan tilavuus on 300 l ja teho 3 kW. Saunassa on sähkökiukaan lisäksi myös puilla lämpiävä kiuas ja alakerrassa on varaava takka. Poistoilman lämpö otetaan talteen. Talossa ei ole automaatiojärjestelmää. Siinä on muuten hyvät mahdollisuudet ajoittaa sähkön kulutusta sekä lisäksi korvata sähkölämmitystä puulämmityksellä. Estera Oy toteutti taloon mittaustietojen keruujärjestelmän, joka lukee tehon sähkön laskutusmittarilta ja lämpötiloja taloon sijoitetuilta langattomilta antureilta. Kohteen asukas piti kirjaa lämmitykseen ja sähkön käyttöön liittyvistä toimenpiteistä ja tapahtumista. Hän seurasi myös sähköpörssin spot-hintoja Internetistä. Hälytyksiä hintapiikeistä ei hänelle lähetetty.

Mittaustuloksista näkyy se, että kohteessa on hyvät mahdollisuudet ajoittaa sähkön kulutusta sekä lisäksi korvata sähkölämmitystä puulämmityksellä. Rajoittavana tekijänä on kuitenkin hintaohjausautomaatiikan puute.

3.1.3 Neljän erillistalon yhtiö

Taloissa on automaatiojärjestelmä, joka lukee mittaustietoja ja säätää lämpötiloja. Koorinoivan tason säätöpiirejä ei juuri ole, jollei niiksi lasketa aikaohjauksia ja myötäkyt-

kentöjä ulkolämpötilasta. Yksi asukkaista otti vastaan hälytyksiä hintapiikeistä. Yhtiö ostaa sähkön yhteisen sähköliittymän kautta, ja kussakin talossa on oma alamittaus. Liittymän sulakekoko on 3 x 100 A.

Yhtiön kolmessa talossa on kaksi kerrosta ja yhdessä talossa kolme. Kunkin kerroksen asuinpinta-ala on noin 84 m² joten kolmen talon pinta-ala on kunkin noin 168 m² ja yhden talon pinta-ala on noin 252 m². Rakennusten tilavuudet ovat vastaavasti noin 800 m³ ja 1 200 m³. Kaikissa taloissa yläkerrassa on lähinnä makuuhuoneita. Lämminviesivaraajan teho on 3 kW pienemmissä taloissa mutta 6 kW isommassa talossa. Kaikissa taloissa sähkösaunan teho on 6 kW ja lieden maksimiteho on 7,5 kW. Kaikissa taloissa on lämmön talteenotto ja varaava takka. Pienemmissä taloissa on sähkölämmitystä yhteensä noin 10,5 kW ja isommassa noin 13,5 kW. Sähkölämmitys on pääosin lattialämmitystä. Alakerran lattialämmityksen varaavuus on suurempi kuin yläkerran lattialämmityksen. Kattolämmitystä tai muuta suoraa sähkölämmitystä kussakin talossa on vain noin 1–1,6 kW. Lisäksi kiinteistösähkön puolella on 2 kW lattialämmitystä ja 0,5 kW saattolämmitystä.

3.1.4 Rivitalo

Kohteessa oli sähkölämmitys, johon kuului suora kattolämmitys sekä alakerrassa varaava lattialämmitys ja käyttöveden lämmitys. Kaikissa huoneistoissa oli kaksiaikatariffin mukainen aikaohjaus. Rivitalossa on kaikkiaan viisi huoneistoa. Niissä on asuinpinta-alaa yhteensä 678 m² ja tilavuutta 1 675 m³. Huoneistojen koko oli 120 m³ – 155 m³ ja kaikissa oli kaksi kerrosta.

Tarkemman tarkastelun kohteena oli talon tyypillinen huoneisto A, jonka pinta-ala on 155 m² ja tilavuus 383 m³. Sähkölämmitystä kohteessa on noin 8 845 W, josta suoraa kattolämmitystä 4 320 W ja aikaohjauksessa olevaa varaavaa lattialämmitystä 4 150 W. Suora lämmitys on yläkerrassa ja varaava lämmitys on alakerrassa. Aikaohjauksessa olevan lämpimän käyttöveden varaajan tilavuus on 300 l ja teho 3 000 W. Sähkösaunan suurin teho on 7 500 W ja sähkölieden 12 500 W. Kohteessa on lisäksi puilla lämpiävä varaava takka. Huoneistossa on taloautomaatiojärjestelmä, joka kerää lämpötilamittauksia ja ohjaa lämmitystä. Lisäksi Estera Oy toteutti mittausten keruun sähköteholle ja langattomien antureiden lämpötiloille. Langattomat lämpötilamittaukset olivat toiminnassa vain noin vuoden 2005 alusta saman vuoden alkusyksyyn.

3.1.5 Kerrostalot

Turun Varissuon Huollon useista kohteista valittiin hintaohjauksen kannalta lupaavimmat. Ensin Varissuon huolto valitsi erityyppisiä kohteita ennakkotietojen perusteella

lähemmin tarkasteltavaksi. Yhtenä valintakriteerinä oli se, että sähkön kulutuksen tuntimittaukset olivat saatavissa. Tuntimittauksien ja tarkennettujen lähtötietojen perusteella valittiin kaksi kiinteistöä koekohteiksi.

Koekohteiksi valitut kiinteistöt olivat keskenään melko samanlaisia, joten tässä kuvataan lyhyesti vain toisen keskeisimmät ominaisuudet. Kiinteistö koostuu kahdesta rakennuksesta, joissa on yhteensä 57 pientä huoneistoa. Kiinteistön huoneistoala on 3 305 m² ja tilavuus 13 500 m³. Yhtiössä on kaksi yhteissaunaa. Poistoilmapuhaltimia on kuusi. Sähkönkulutusmittaus sisältää sekä kiinteistösähkön että asuntojen sähkönkulutuksen.

Kaikissa Varissuon kohteissa lämmitysmuotona on kaukolämpö. Tuntimittauksissa kuitenkin ilmeni joissakin kohteissa selvää tehonriippuvuutta ulkolämpötilasta. Osoittautui, että kyseisissä taloissa on mukavuussyistä sähköä käyttävää lattialämmitystä sekä yhteisissä että huoneistokohtaisissa pesutiloissa. Lattialämmitys voidaan kytkeä pois päältä automaatiojärjestelmästä käsin. Koekohteeksi valitut talot olivat tällaisia.

Pesutilojen lattialämmityksien toimintaa tarkkailevien lämpötilamittausten toteuttaminen osoittautui hankalaksi. Lämpötilasäädöt ovat paikallisia termostaattiohjattuja piirejä, joiden lämpötilan mittaustietoa ei saatu kyseisistä piireistä ulos. Lämpötilan mittaustiedon avulla hintaohjaus voisi paremmin ottaa huomioon kyseisen säädetyin piirin vasteen ja siihen kohdistuvat häiriöt. Varsinkin yhteisiin pesutiloihin anturit pitäisi sijoittaa niin, että ne ovat suojassa asukkaiden toimilta mutta antavat silti riittävän hyvän kuvan lämpötaseen kulloisestakin tilasta. Sopivia mittauspaikkoja haettiin siirrettävien lämpötilanmittauspurkkien avulla. Hyvää sijoituspaikkaa ei kuitenkaan löydetty. Mitattuihin lämpötiloihin vaikuttivat liikaa joko ovien aukaisut esimerkiksi kuumaan saunaan, suihkuista tuleva vesi tai molemmat.

4. Seurantatulokset ja niiden tarkastelu

4.1 Mittaustulokset

4.1.1 Omakotitalo

Kuvassa 5 on omakotitalon lämpötilamittauksia esimerkkijaksolta. Siitä näkyy seuraavia asioita:

- Alakerran lattia lämpiää yöllä ja jäähtyy päivällä; yösähköä siis hyödynnetään lämmityksessä. Viikonvaihteen aikanakin käytetään samaa yö-päivärytmiä, vaikka viikonloppuna päiväaikakin kuuluu yön kanssa samaan jakeluverkko-tariffin halpaan hintavyöhykkeeseen.
- Varaava takka ja sauna varastoivat lämpöä yli vuorokauden ajan lämmityksestä. Saunan lämpötila-anturi oli lauteiden alla.
- Noin 12 tunnin mittaisesta sähkön syötön keskeytyksestä on selvitty ilman sisälämpötilojen laskua, kun on yhden kerran lämmitetty puilla takkaa ja saunaa. Myöskään sähkön kulutukseen ei ole tullut jälkihuippua. Olisi siis hyvin mahdollista korkean hintapiikin aikana sulkea kaikki talon sähkölämmitys ja lämmittää vain puilla.

Kuvan 5 ajalta ulkolämpötilamittaus esitetään kuvassa 6. Lämpötila oli siis koko ajan nollan vaiheilla.

Kovilla pakkasilla varaavan sähkölämmityksen teho ja lämpötilarajat rajoittavat mahdollisuuksia keskittää sähkölämmitys yöaikaan tapahtuvaksi. On pakko lämmittää merkittävästi myös päivällä ja jossakin määrin jopa varaavalla sähkölämmityksellä. Tällöin olisi oleellista ohjata lämmitystä niin, että kulutuksessa voitaisiin välttää suurimmat hintapiikit.

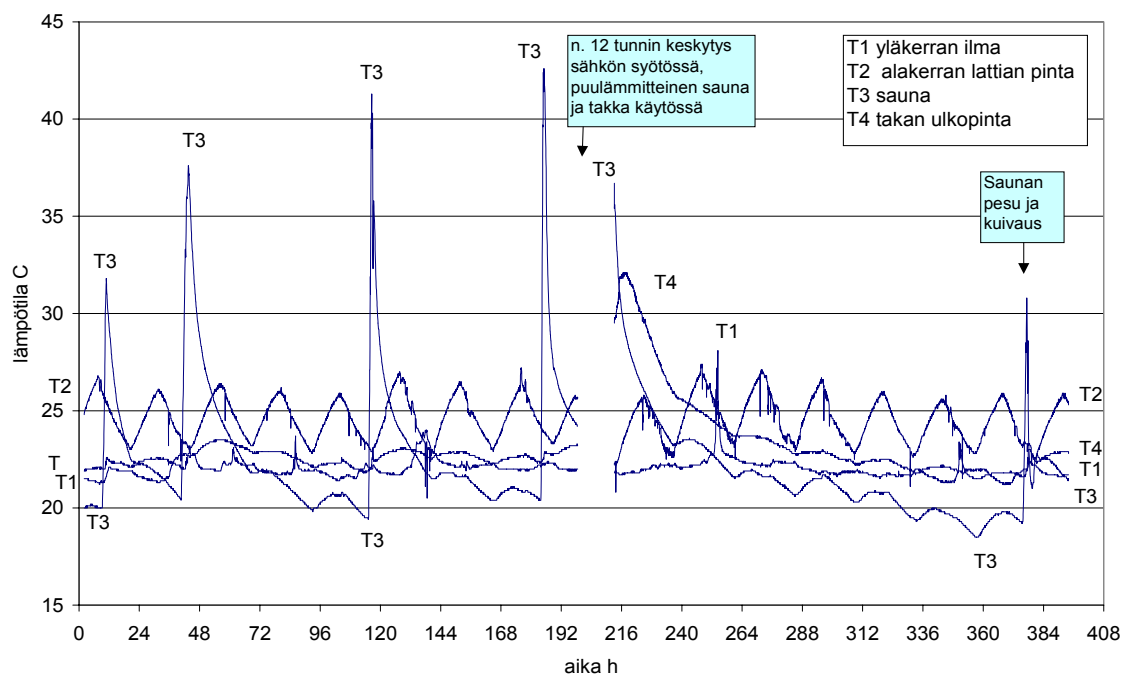
Kuvassa 7 on sähkön kulutus samalta ajalta, jota kuvat 5 ja 6 esittävät. Havainnollisemmin sähkön kulutus näkyy kuvassa 8 esitetystä kuormituskäyrästä. Kuormituskäyrän vaihtelu on varsin pientä. Kuormitus on hyvin ennustettavissa sähkölämmityksen ja käyttöveden lämmityksen osalta. Varaava sähkölämmitys näkyy loppuillasta alkavana kuormituskäyrän huippuna ja aamuyöstä näkyvä pienempi huippu johtuu käyttöveden lämmityksestä. Sähkösaunan käyttö on ajoitukseltaan satun-naisempaa, ja tässä sitä on tapahtunut joskus viikonlopun aikana.

Spot-hinnat olivat tammikuussa ja helmikuussa 2005 koko ajan varsin alhaalla. Pääasiassa siirtotariffien aikariippuvuus aiheutti silloin sähkön kuluttajan kokemat hintavaihtelut. Maaliskuussa 2005 koettiin selviä hintapiikkejä. Kuvasta 9 ilmenee, että

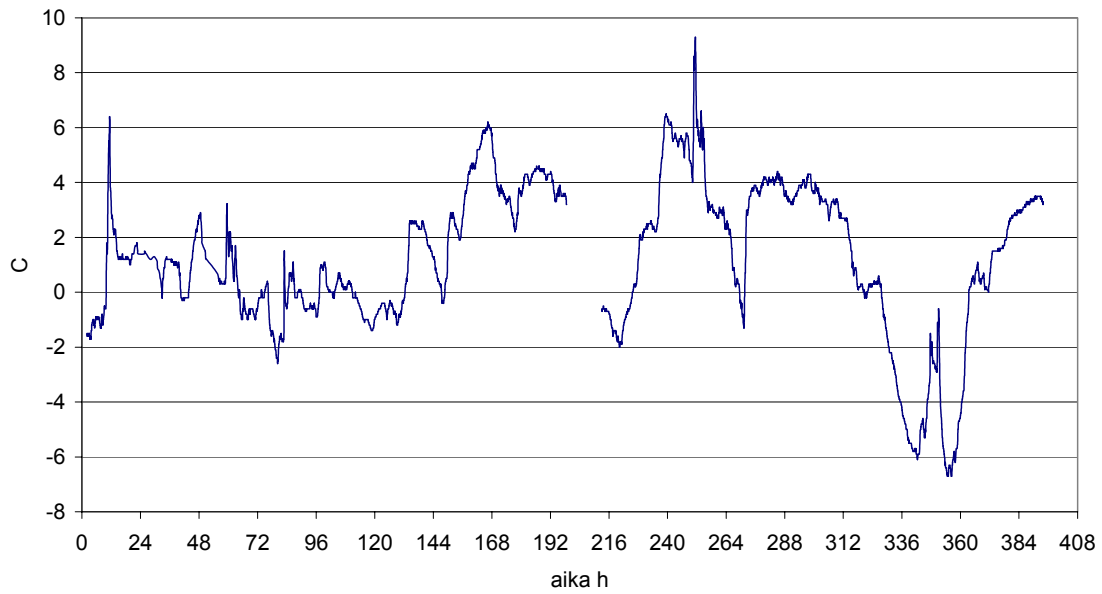
kulutus oli pientä korkeimpien hintapiikien aikana, mutta että varsin korkean hinnan aikana oli joskus ollut korkeita kustannuksia eli korkea kulutus. Pääasiassa tämä oli johtunut siitä, että korkeita hintoja oli esiintynyt myös aamulla ennen kello 7:ää eli samaan aikaan kuin lämminvesivaraajan kello laitto sen päälle. Tästä on esimerkki kuvassa 10. Selvästi vähemmän oli esiintynyt sitä, että spot-hinta olisi ollut korkea vielä kello 20:n jälkeen illalla, kun kello ohjasi varaavaa lämmitystä päälle.

Hyvin karkeasti arvioiden olisi veden ja varaava lattian ohjaaminen paremmin spot-hintojen mukaan kyseisinä muutaminan päivinä voinut säästää noin 0,4 % maaliskuun 2005 sähkölaskusta. Hyöty on pieni, koska tilan ja veden lämmitykset olivat maaliskuussa 2005 keskittyneet hyvin voimakkaasti yöaikaan. Jos hintapiikit olisivat sattuneet kylmempien ilmojen aikaan, hintaohjausautomaatiosta olisi ollut jonkin verran enemmän hyötyä verrattuna kohteen nykyisiin kello-ohjauksiin.

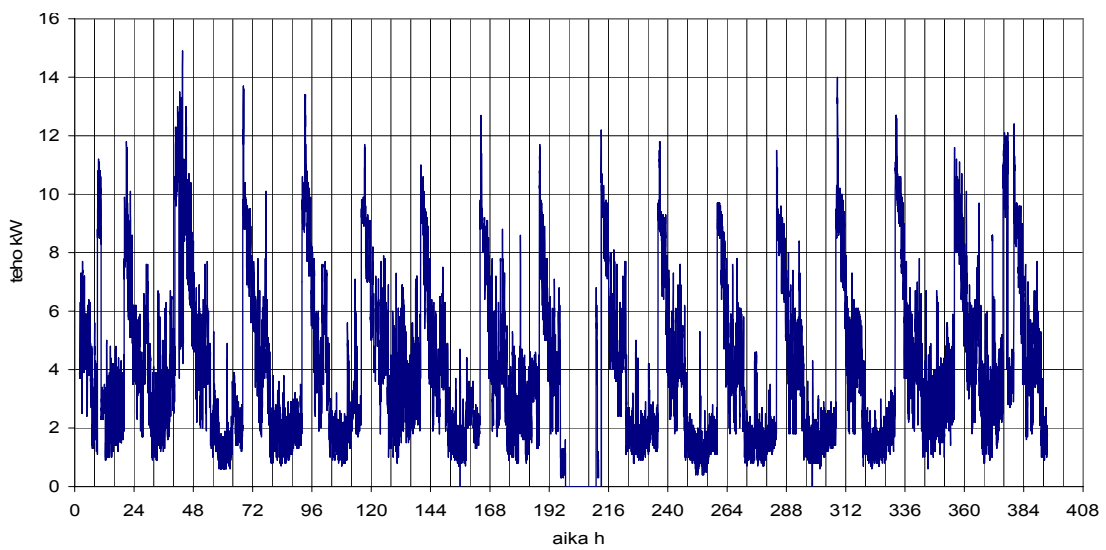
Kuvassa 11 vertaillaan sitä, mitä toteutunut kulutus olisi vuoden 2005 alkupuolella kohteelle maksanut kahdella erityyppisellä tariffilla, jotka ovat spot-aikatariffi ja kaksiaikatariffi. Kuvassa on kummastakin tariffista muutamia vaihtoehtoja.



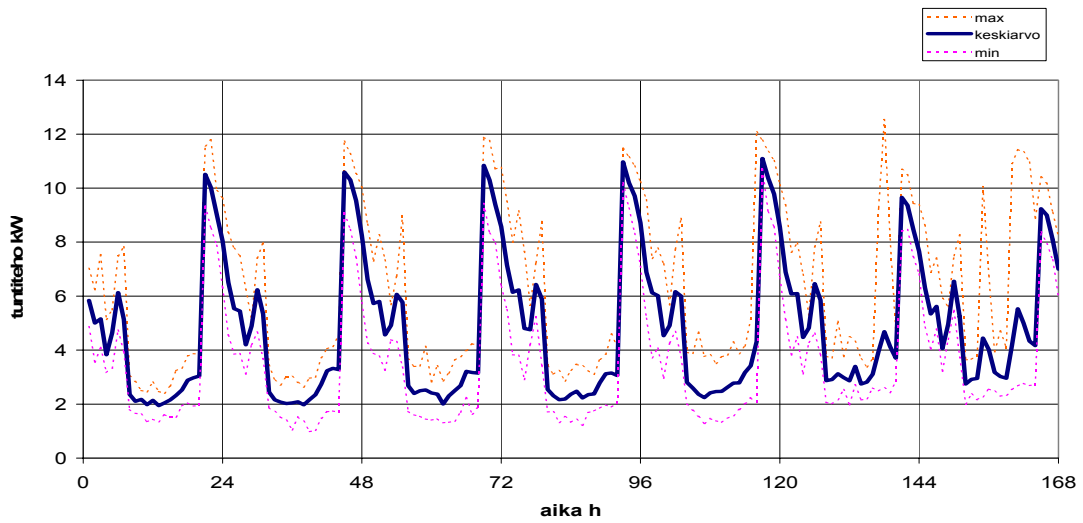
Kuva 5. Omakotitalon lämpötilamittauksia alkaen 1.1.2005 kello 00:00.



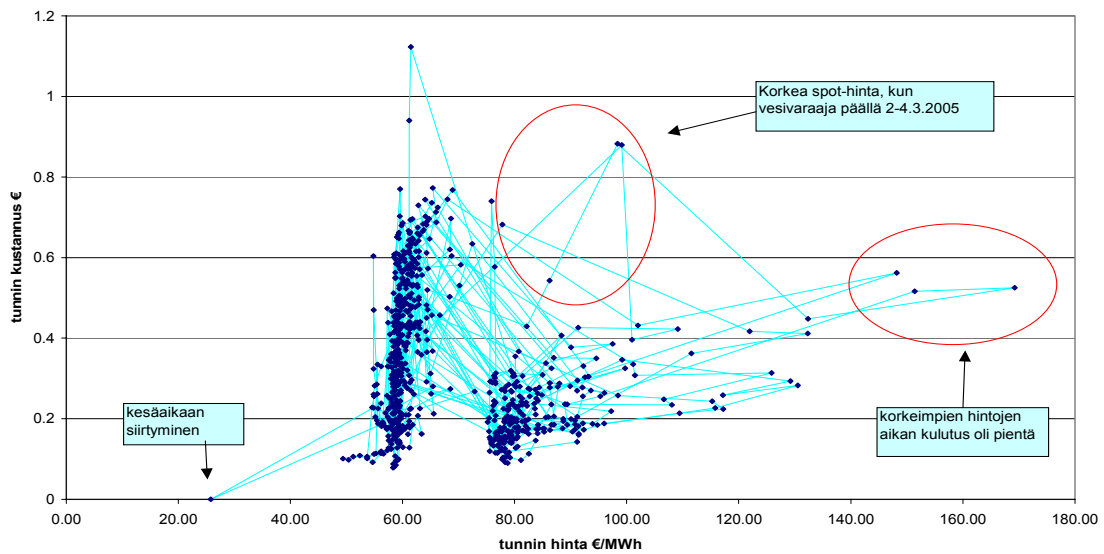
Kuva 6. Tarkastellun omakotitalon ulkolämpötila kuvan 5 mittausten aikana.



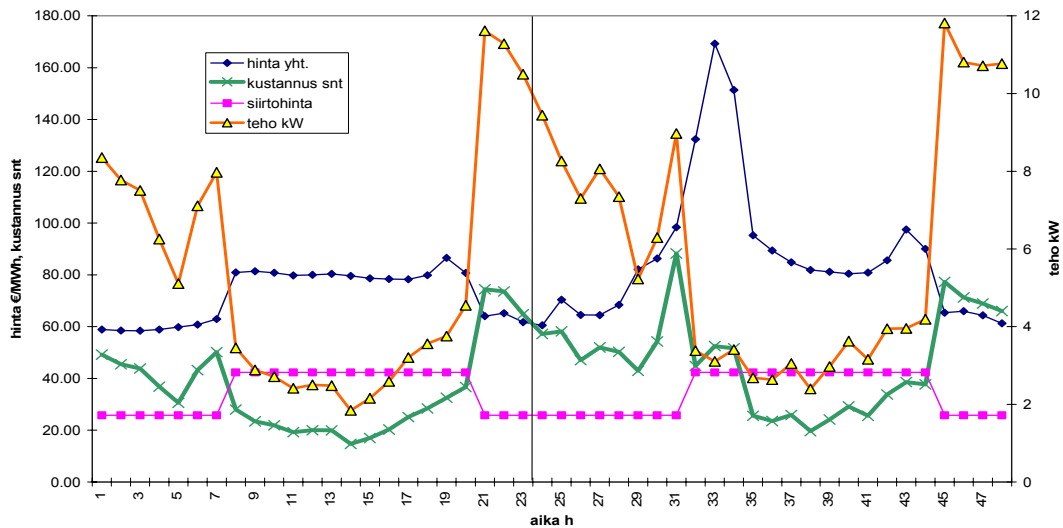
Kuva 7. Tarkastellun omakotitalon sähköteho kuvan 5 aikana.



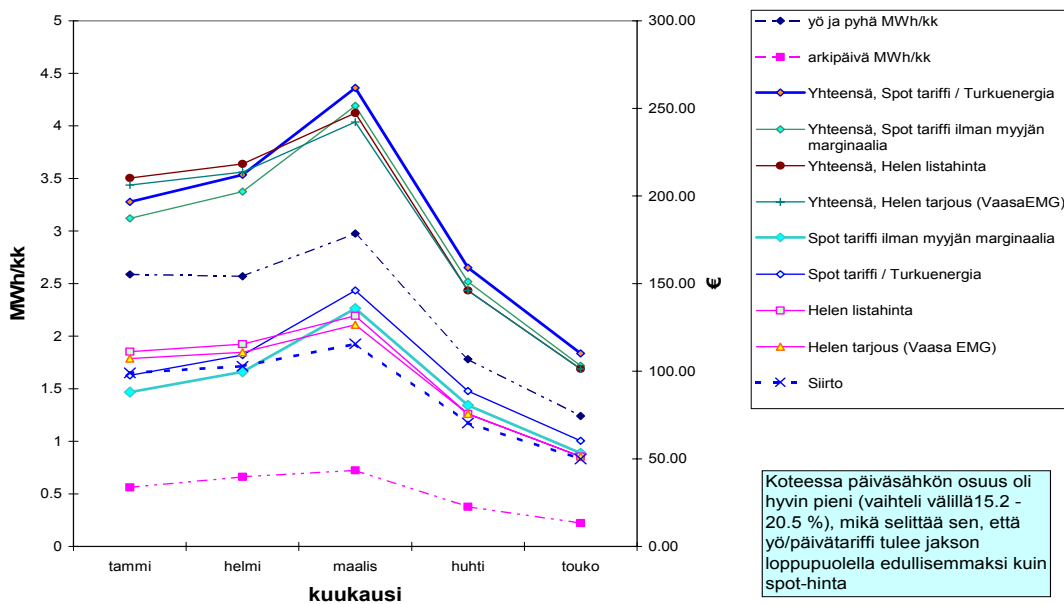
Kuva 8. Omakotitalon keskimääräinen viikon kuormituskäyrä viikoilla 2–9/2005, jolloin oli leuto talvi. Kuormituskäyrän vaihtelu on varsin pientä. Kuvan ensimmäinen päivä on maanantai.



Kuva 9. Omakotitalossa maaliskuun 2005 aikana hintapiikkien aikainen kulutus oli pientä. Vesivaraajan ohjaus on perustunut kelloon, eikä siinä ole otettu spot-hintaa huomioon.



Kuva 10. Omakotitalon sähkönkulutus ja hinta 1.–2.3.2005. Maaliskuun 2. päivänä spot-hinta oli korkealla jo ennen kello 7 aamulla, joten vesivaraajaa olisi kannattanut silloin lämmitellä aikaisemmin.



Kuva 11. Erilaisen hinnoittelun vaikutus kuukausikustannuksiin mitatuilla sähkön kuluksilla. Kaksiaikatariffi suosii tätä omakotitaloa, koska päiväkulutuksen osuus kohteessa on pieni (keskimäärin 18,6 %). Kuva koskee vuoden 2005 alkupuolta.

Kaksiaikatariffi liioittelee useimmiten reippaasti yö ja päivähintojen eroa verrattuna spot-hintoihin. Koska kohteen päiväkulutuksen osuus on poikkeuksellisen pieni, olisi kaksiaikatariffi kuvan 11 tarkastelujakson aikana tullut sille hiukan edullisemmaksi kuin spot-hintatariffi. Vastaavasti spot-tariffi suosisi kuluttajia, joiden päiväkulutuksen osuus on verraten suuri. Spot-hintatariffi on kuvassa laskettu todellisen kulutuksen eikä

tyyppikuormituskäyrän mukaan. Kuormia ei kuitenkaan ole kohteessa merkittävästi ohjattu hinnan mukaan vaan lähes yksinomaan kello-ohjauksin.

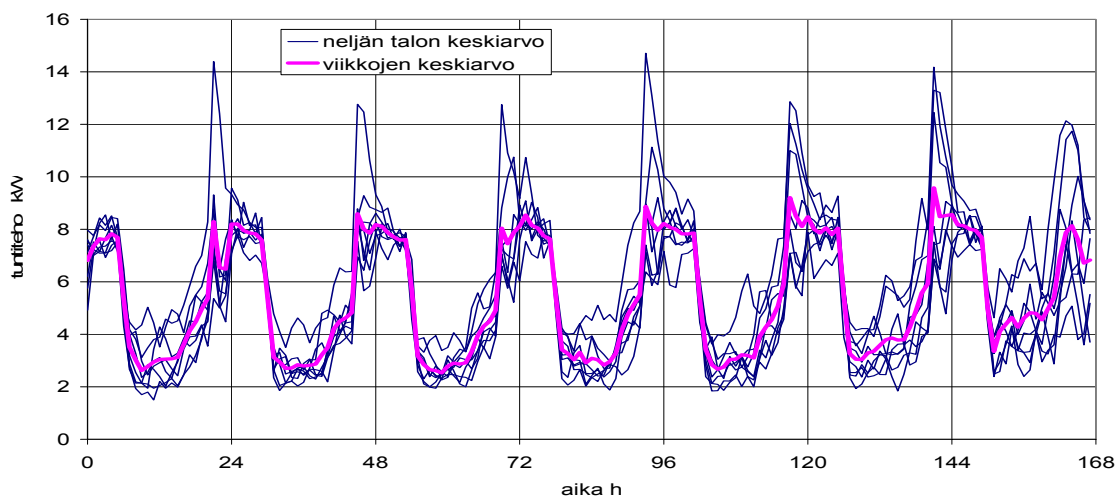
Vuoden 2004 aikana spot-hintatariffi olisi alhaisista spot-hinnoista johtuen ollut tässä kohteessa kaksiaikatariffia edullisempi, mutta näitä tuloksia ei voida esittää, koska tuntimittaukset toimivat vasta joulukuusta 2004 alkaen. Hintavertailua ei ole tehty talvelle 2005–2006. Tarjoushinnat olisivat olleet edullisimpia, mutta ne voivat olla niin paljon asiakkaasta ja ajankohdasta riippuvia, että niiden käyttäminen vertailussa ei ole mielekäästä.

Edellä olevat mittaukset omakotitalosta tehtiin vuoden 2005 alkupuolella. Mittaukset jatkuivat yhtäjaksoisesti kesään 2006 asti. Talvella 2005–2006 kohteen käyttäytyminen oli pääpiirteissään samanlaista kuin edellisenäkin talvena.

4.1.2 Neljän erillistalon kohde

Kohde koostuu neljästä erillistalosta, joilla on yhteinen sähköliittymä. Mittausdataa ja aineistoa kerättiin runsaasti mallien laatimista varten. Huonosti toimivat perussäädöt estivät ohjauksoikeudet kuitenkin lähes täysin. Seuraavassa tarkastellaan kohdetta hiukan tarkemmin muutamien esimerkkimittautulosten avulla.

Kaikissa neljässä talossa aikaohjaus toimii hyvin, kuten kuvan 12 kuormituskäyrästä ilmenee. Kuvan kuormituskäyrä on vuoden 2006 tammikuulta ja helmikuulta.



Kuva 12. Neljästä erillistalosta muodostuvan kohteen kuormituskäyrä viikoilla 1–8/2006 normeerattuna talojen lukumäärällä. Kuvan ensimmäinen päivä on maanantai.

Kohteen kaikista taloista on varsin monipuoliset mittaukset, ja ne toimivat varsin hyvin. Tulosten käsittelyä hankaloittaa tosin se, että mittaushetket ovat epäsäännöllisiä ja mittauspistekohtaisia. Toisinaan yksittäiset mittaussvälit ovat myös olleet tarkoitukseen nähden liian pitkiä.

Yhtiön kaikissa neljässä erillistalossa pahin ongelma on se, että monet lämmityksen säätöpiirit värähtelevät hitaasti ja laajasti. Tämä haittaa suurella määrällä mahdollisuuksia ajoittaa lämmitystehoa. Nämä värähtelyt vaikuttavat myös saman talon muiden lämpötilansäätöjen toimintaan talon sisäisen huoneiden välisen lämmönsiirron kautta. Säätöpiirien värähtelyt johtuvat pääasiassa siitä, että monella lämpötila-anturilla on hyvin huono terminen yhteys mitattavaan suureeseen. Anturit sijaitsevat ilmatäytteisissä suo-
japutkissa ja ovat ilmeisesti usein irti suo-
japutken seinämästä. Anturien hitauden takia säätöpiirien virityskin oli keskeneräistä. Huonoiten toimivaan suo-
japutkeen lisättiin öljyä, mutta vaste ei parantunut tarpeeksi.

Mittaustuloksista voidaan selvästi havaita se, että näissä taloissa on huomattavasti lämmön varaavuutta. Sähkön kulutusta olisi siis mahdollista helposti ajoittaa, kunhan lämpötilan säätöpiirit saadaan ensin toimimaan oikein.

Taloissa on kotona/poissa-kytkimeen liitetty mahdollisuus automaattiseen lämpötilan pudotukseen. Tästä on esimerkkejä kuvissa 13–18. Talon C makuuhuoneen 1 lattialämpötilan säätö toimii muuten hyvin, mutta säädön viritys on hiukan liian kireä. Tämä näkyy kuvissa 13 ja 14 turhan korkeina jälkihuippuina ja värähtelyinä. Värähtelevän säädön aiheuttamat tehovärähtelyt haittaavat sähkökuorman ajoitusta ja huonontavat tehon ennustettavuutta. Ongelma on helposti korjattavissa löysäämällä säätöpiirin viritystä.

Kuvasta 13 näkyy myös selvästi se, että yläkerran makuuhuoneen 1 lattialämmityksessä on merkittävästi varaavuutta. Asetusarvon lasku asteella on tässä tapauksessa pudottanut tehon nollassa peräti 14 tunnin ajaksi. Sen jälkeen teho on palannut muutamassa tunnissa lähes edeltävän tilanteen mukaiseksi. Viereisten huoneiden samanaikainen korkea lämpötila myötävaikutti siihen, että teho pysyi noin pitkään nollassa. Myös ulkolämpötila vaikuttaa asiaan. On syytä huomata, että alakerran lattialämmitys on näissä taloissa varsinainen varaava lämmitysmuoto.

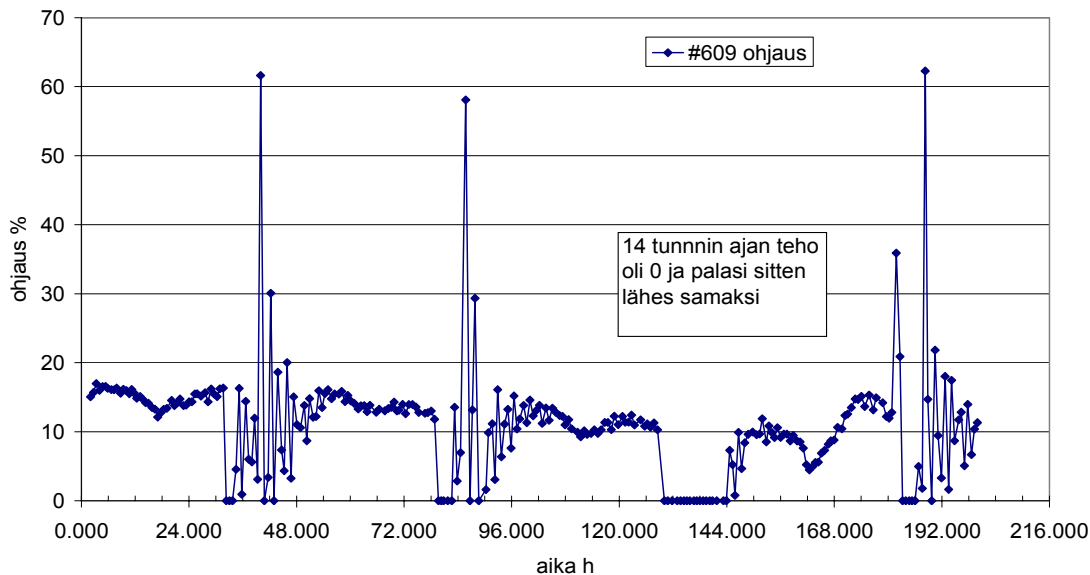
Yläkerran huoneiden lattialämmityksen varaavuus tekee sen, että talossa on itse asiassa varsin vähän suoraan vaikuttavaa lämmitystä. Suoran lämmityksen vähäisyys vähentää joissakin tilanteissa sähkölämmityksen ohjattavuutta, koska sisälämpötilaa ei voida lämmittää kuin vähän nostamatta samalla myös lämpöä varaavien massojen lämpötilaa.

Makuuhuoneiden 2 ja 3 lämpötilan säädöt eivät sen sijaan toimi edes tyydyttävästi, kuten kuvista 15, 16, 17 ja 18 ilmenee. Etenkin makuuhuoneen 2 lämpötilan suuri vaihtelu

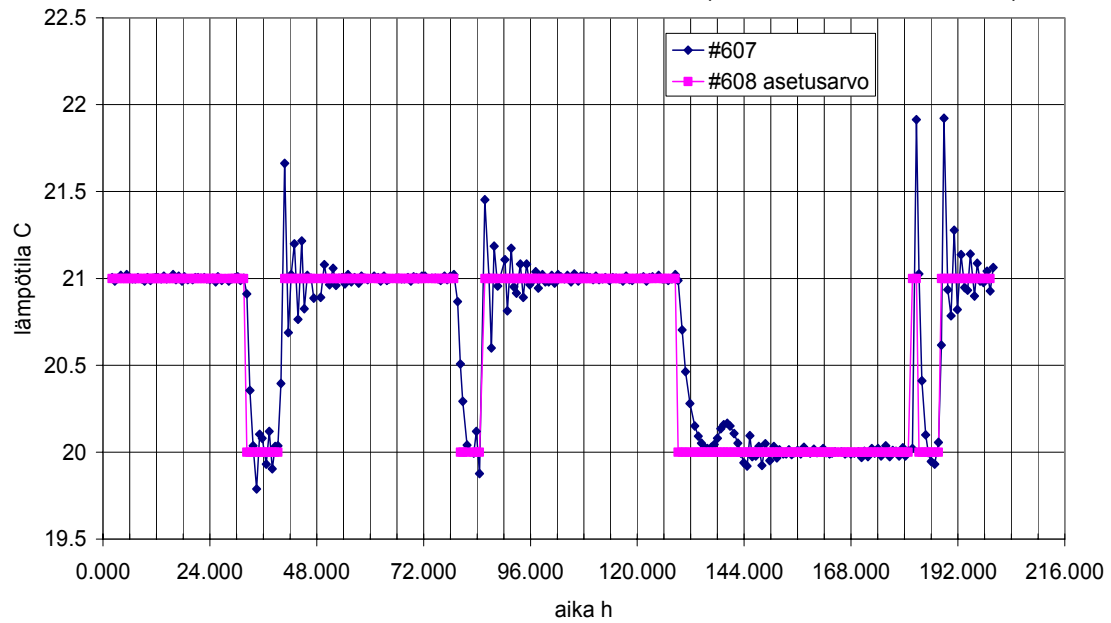
näkyvät myös vieressä olevan makuuhuoneen 1 lämpötilan säädön ohjaussuureissa. On huomattavaa, että todellinen mitattavan kohteen lattialämpötilan vaihtelu on paljon suurempaa kuin siitä termisesti eristettyjen anturien näkemät lämpötilan vaihtelut. Moiset lämpötilan vaihtelut huonontavat asumismukavuutta ja saattavat lisätä energiankulutusta. Lisäksi ne häiritsisivät spot-hintaan perustuvien ohjausten kokeiluja pahasti.

Alakerran varaavan lattian lämmityksen säätö ei ole yhtä herkkä anturin hitaudelle, koska varaavan lattian lämpökapasiteetti on paljon suurempi kuin makuuhuoneiden lattioiden lämpökapasiteetti. Sen ohjausten vastetta sisälämpötilaan ja muihin lämmityksiin on kuitenkin vaikea arvioida, kun muut lämpötilan säädöt eivät toimi kunnolla.

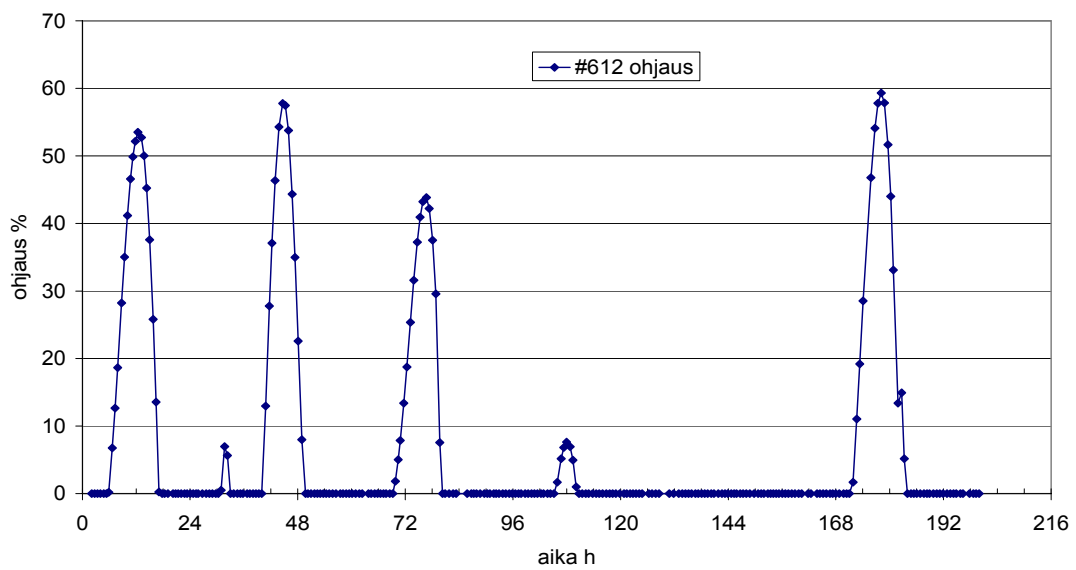
Kuvissa 15–18 on esitetty pahimmat tapaukset. Kohteen kaikissa muissakin erillistaloissa oli useita huonosti toimivia kokeiden kannalta keskeisiä lämpötilansäätöpiirejä. Perimmäiseksi syyksi säätöpiirien hitauteen ja värähtelyyn havaittiin rakenteisiin upotettujen anturien ja niiden suojausputkien huono asennus. Niiden korjaaminen ei ollut projektin puitteissa mahdollista. Mittausaineistoa kohteesta kerättiin projektin loppuun asti, mutta ohjauskokeilut eivät ole mielekkäitä, ennen kuin perussäädöt toimivat tyydyttävästi. Kerätyn mittausaineiston perusteella on mahdollista mallintaa talojen dynaamiset lämpötaset. Mallien avulla tarkasteluja voitaisiin jatkaa simuloinnein. Oli kuitenkin parempi tehdä simulointitarkastelut ensin mallin rakenteen suhteen selkeämmistä ja jo pidemmälle mallinnetuista kohteista.



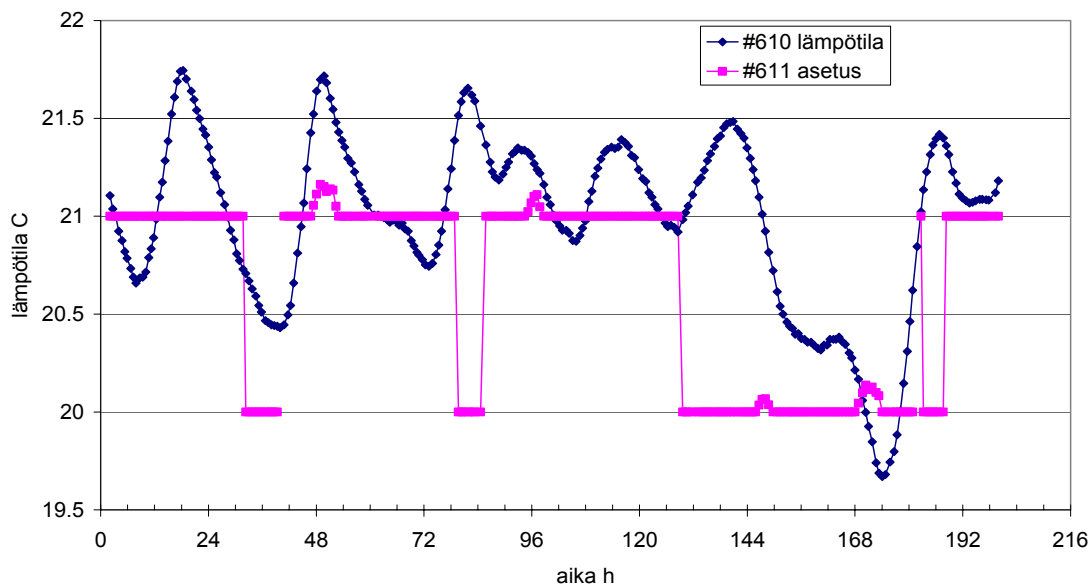
Kuva 13. Erillistalon C makuuhuoneen 1 lattialämmityksen säätö. Kuvassa ohjaussignaali alkaen 1.5.2005.



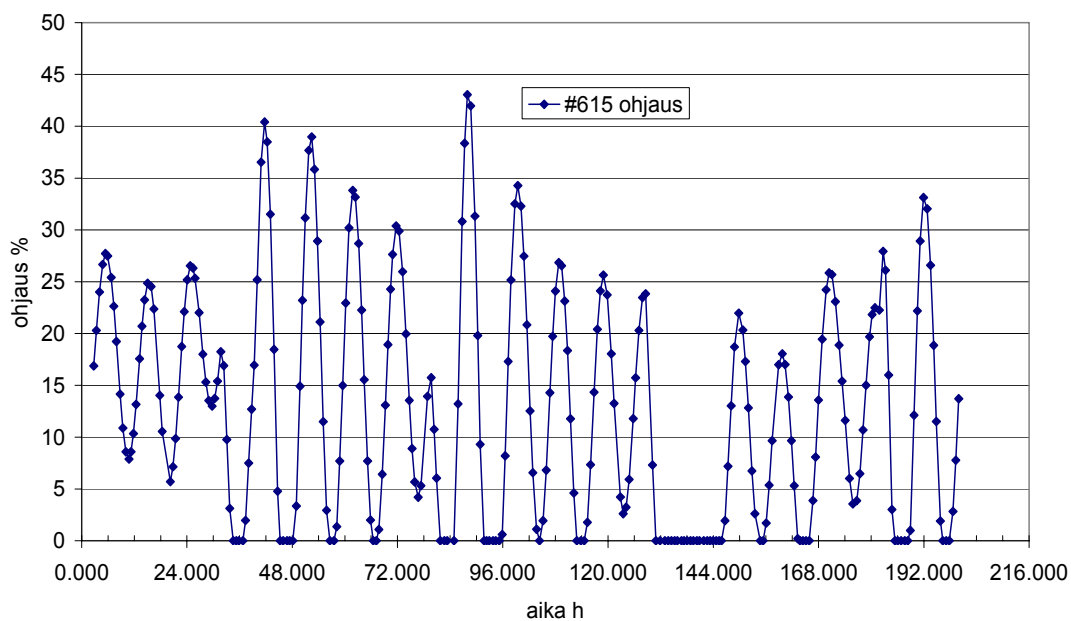
Kuva 14. Erillistalon C makuuhuoneen 1 lattialämmityksen säätö. Kuvassa lattialämpötila ja asetusarvo alkaen 1.5.2005.



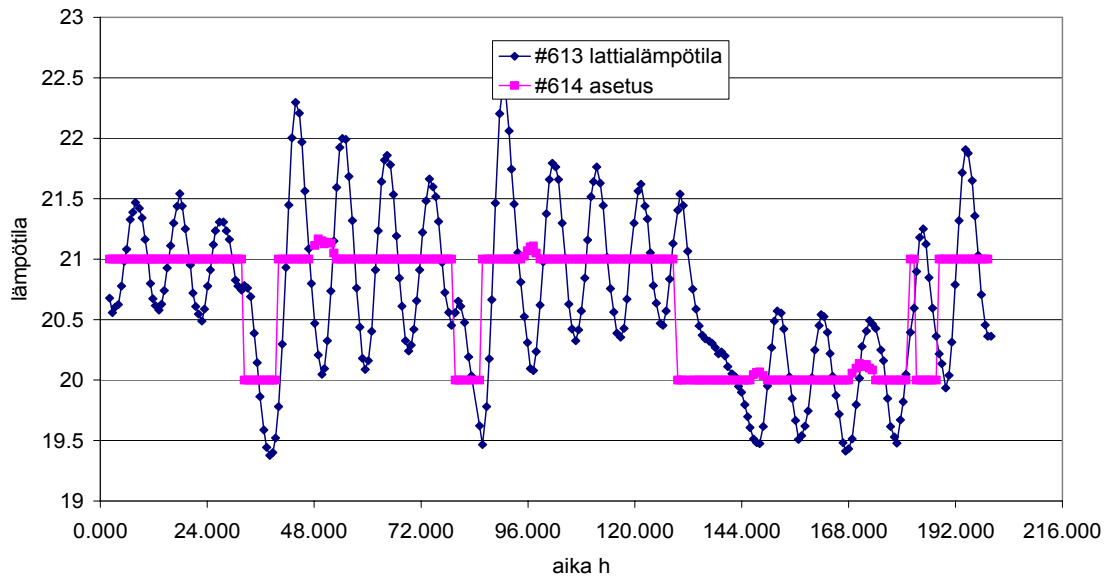
Kuva 15. Erillistalon C makuuhuoneen 2 lattialämmityksen säätö. Kuvassa ohjaus alkaen 1.5.2005.



Kuva 16. Erillistalon C makuuhuoneen 2 lattialämmityksen säätö. Kuvassa lattialämpötila ja asetusarvo alkaen 1.5.2005. Säädön hitaus ja värähtely johtuvat anturin asennuksen aiheuttamasta mittauksen hitaudesta.



Kuva 17. Erillistalon C makuuhuoneen 3 lattialämmityksen säätö. Kuvassa ohjaus.

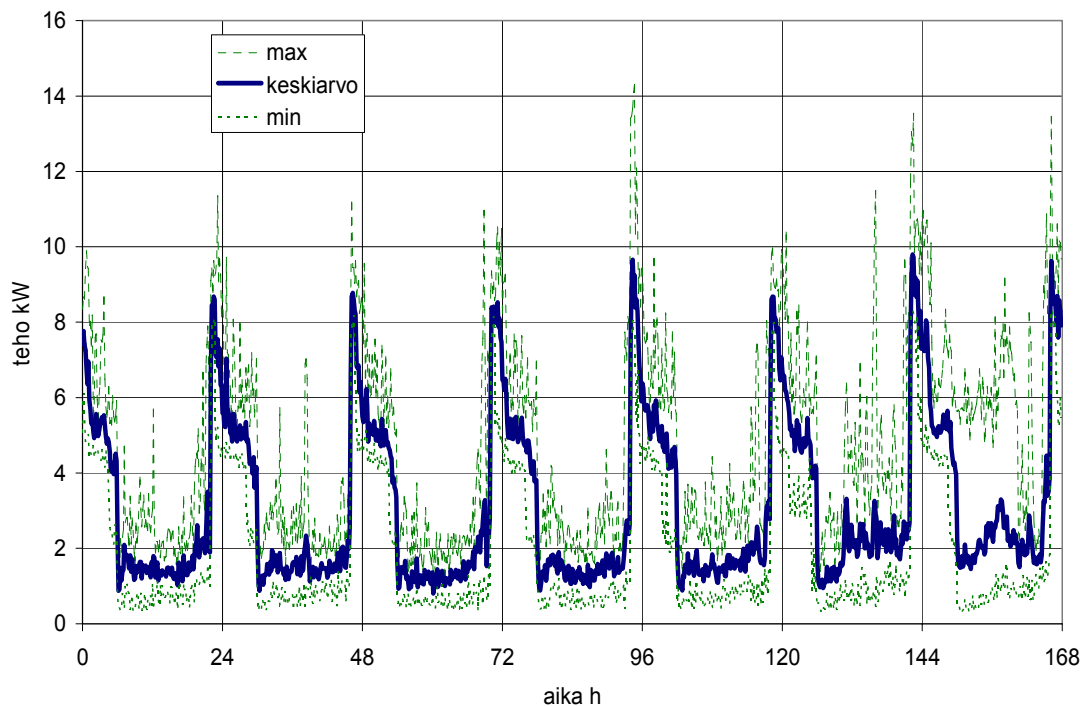


Kuva 18. Erillistalon C makuuhuoneen 3 lattialämmityksen säätö. Kuvassa lattialämpötila ja asetusarvo.

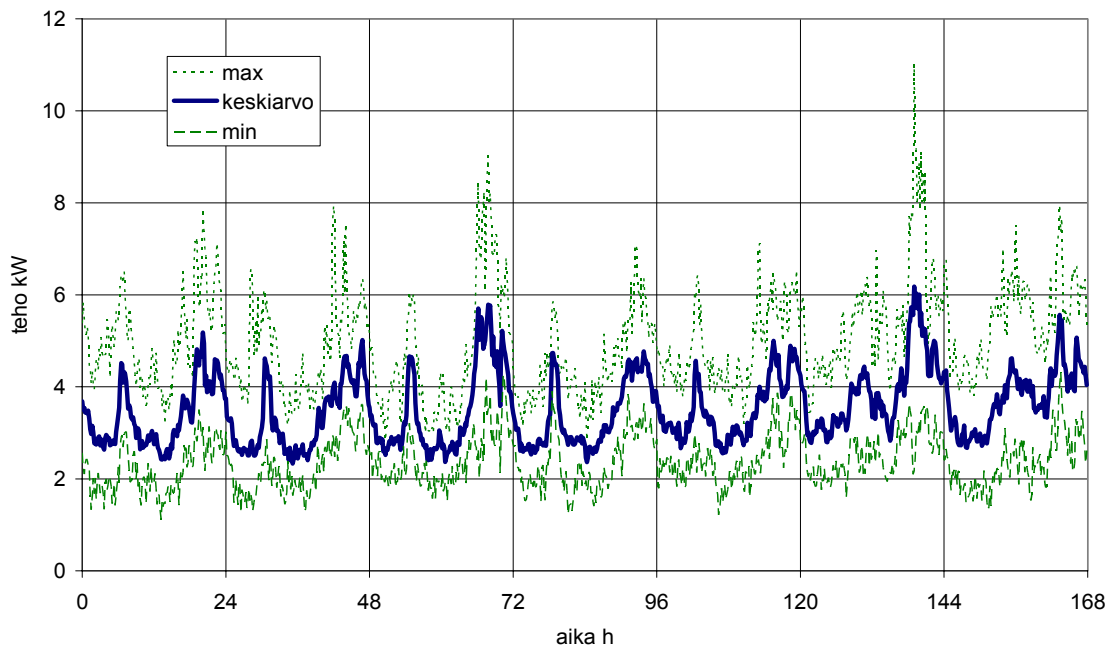
4.1.3 Rivitalo

Rivitalokohteessa sähkön kulutus mitattiin 10 minuutin aikaresoluutiolla sekä jokaisesta huoneistosta että lisäksi myös kiinteistösähkön osalta. Huoneiston A lämpötiloja mitattiin lähes joka huoneesta, lämminvesivaraajasta ja pakastimesta. Myös ulkolämpötila mitattiin.

Rivitalon kaikkiin huoneistoihin oli toteutettu aikaohjaus alakerran lattian ja käyttöveden lämmityksille. Osassa huoneistoissa aikaohjaus ei kuitenkaan ollut kokeiden aikana toiminnassa ja joissakin aikaohjaus oli kokeiden aikana vikaantunut tai muuten lakannut toimimasta. Vain yhdessä huoneistossa aikaohjaus toimi koko ajan molempina talvina. Aikaohjauksessa olleen rivitalohuoneiston keskimääräinen kuormituskäyrä viikoilta 1–8/2006 on kuvassa 19. Kuvassa 20 on ohjaamattomien huoneistojen keskimääräinen kuormituskäyrä samoilta viikoilta.



Kuva 19. Aikaohjatus rivitaloaluoneiston keskimääräinen kuormituskäyrä viikoilla 1–8/2006. Kuvan ensimmäinen päivä on maanantai.



Kuva 20. Ilman aikaohjausta olleiden neljän rivitaloaluoneiston keskimääräinen kuormituskäyrä viikoilla 1–8/2006. Kuvassa ovat myös huoneistojen keskiarvon suurimmat ja pienimmät arvot. Kuvan ensimmäinen päivä on maanantai.

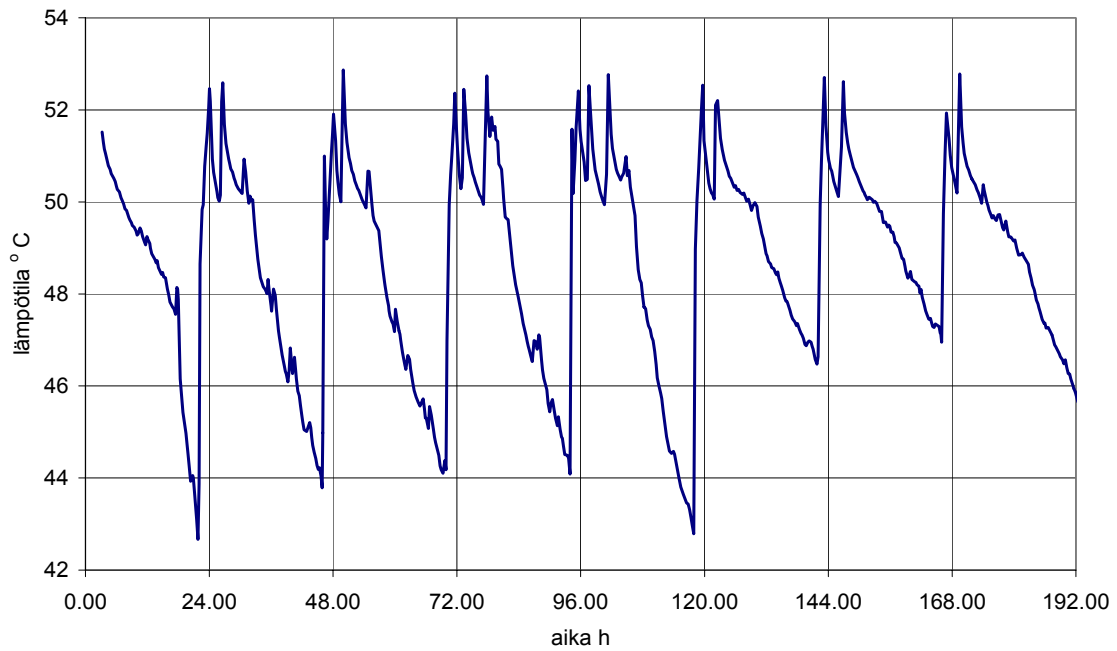
Syksyllä 2005 jäivät lähes kuukauden mittaustulokset saamatta sähkökulutustietojen osalta, koska rivitalosta pois muuttava asukas irtisanoi sen lankapuhelinliittymän, jonka kautta mittaustiedot luettiin mittarista. Paikallinen verkkoyhtiö ei ollut hyväksynyt matkapuhelinverkon kautta tapahtuvaa mittarin lukua vaan oli vaatinut lukemisen lankapuhelinliittymän kautta. Verkkoyhtiö reagoi asiaan ottamalla yhteyttä taloyhtiöön, joka sai tästä sen käsityksen, että verkkoyhtiö uhkaa irtisanoa sähköliittymän, jos nämä ulkopuolisen myyjän verkkoyhtiölle aiheuttamat hankaluudet eivät heti lopu. Seurauksena oli se, että kaikilta osapuolilta kului runsaasti työaikaa asian selvittelyyn. Toivottavasti kaikki verkkoyhtiöt hyväksyvät nykyisin matkapuhelinverkon kautta tapahtuvan mittarinluvun, sillä siinä ei tässä kuvattu ongelma ole mahdollinen. Vaatimusten sähkökulutusmittareille ja niiden lukemistekniikoille pitäisi myös olla vähintään maanlaajuisia eikä verkkoyhtiökohtaisia.

Huoneiston A mittaustuloksia kevättalvelta 2005 on kuvissa 21–24. Kuvasta 21 voidaan havaita, että vesivaraajan lämmitys käynnistyy joka ilta kello 22:n aikoihin. Huoneistoa koskevissa mittauksissa, kuvissa 22–24 ei ollut havaittavissa muuta kelloon tai tariffiin perustuvaa kuorman ohjausta. Edes alakerran lattialämmitystä ei ole käytetty varaamaan lämpöä yöllä tai halvan sähkön aikana. Alakerran lattialämmityksen käyntijaksot näkyvät selvästi myös sähkötehossa. Asiaa selvitettäessä kävi ilmi, että alakerran lattialämmityksen ohjausrele ei toiminut. Lattialämmityksen aikaohjausta korjattiin, jonka jälkeen lattian lämpötilaa alennettiin päiväsaikaan. Lattialämmityksen ajoituksessa oli silti vielä parantamisen varaa.

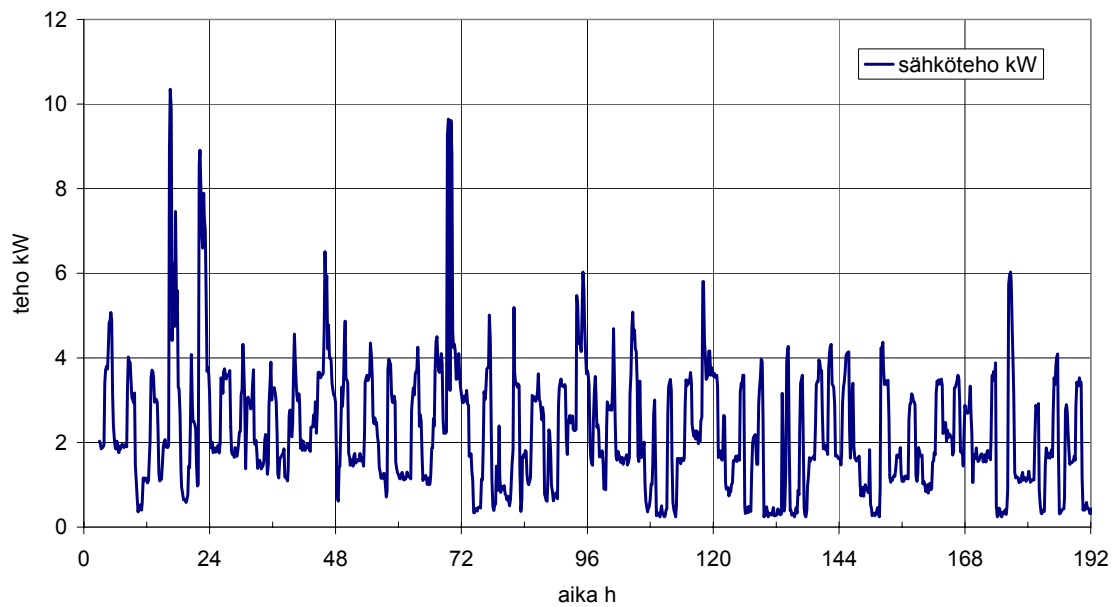
Talven 2005–2006 huoneiston tehomittauksien perusteella näyttää siltä, että aikaohjaus olisi taas lakannut toimimasta. Asiasta ilmoitettiin taloyhtiölle, mutta mahdollista vikaa ei luultavasti osattu tai ehditty korjata, koska ongelma jatkui talven yli. Vertaa huoneistojen A ja B tehoja kuvassa 25. Huoneiston B sähkökulutuksen mittauksista näkyi, että siinä yö-päivä-automatiikka oli toiminnassa ja että lämmitys tapahtui pääasiassa yösähköllä. Muiden huoneistojen tehomittauksia ehdittiin tarkastella vasta talven mentyä ohi, jolloin niissäkin havaittiin aikaohjauksen mahdollisesti toimivan jotenkin puutteellisesti. Aikaohjattujen kohteiden tehoja olisi siis hyvä seurata, jotta mahdollinen ohjauksen toiminnan puute tai virheellisyys havaitaan ajoissa.

Arki-iltojen sähkökulutuksessa oli havaittavissa jonkin verran lämpötilariippuvuutta myös aika-ohjatuissa kohteissa. Tämä viittaa siihen, että kylmillä ilmoilla lämmönvaraus ei riitä koko arkipäivähintajakson yli vaan illalla sähkölämmitystä tulee käyttöön.

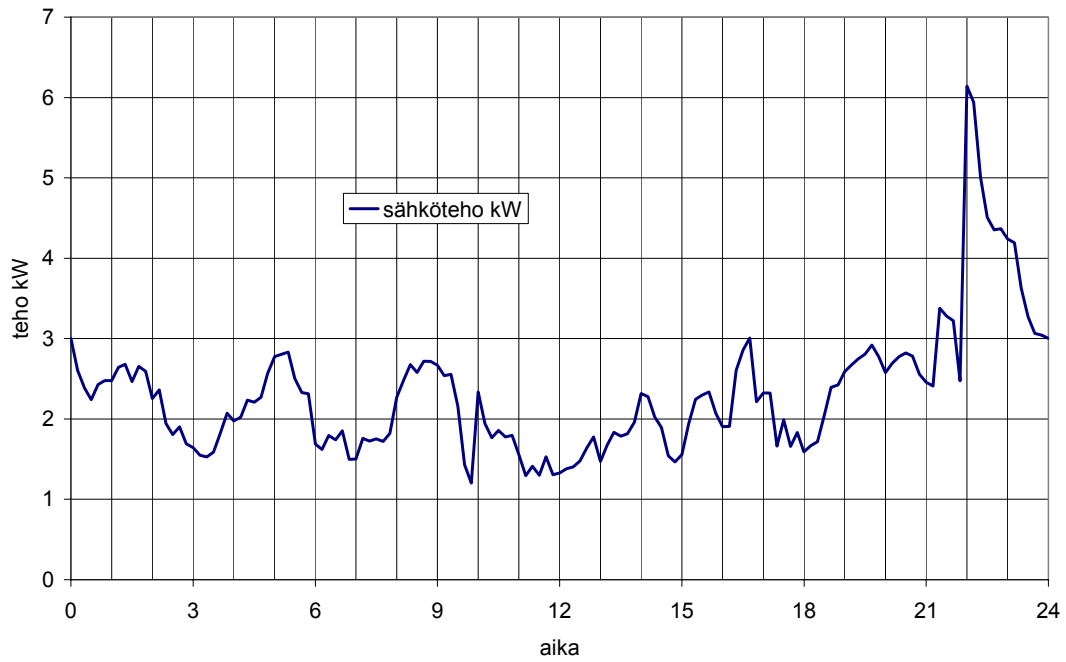
Rivitalokohteessa toteutuneen kulutuksen perusteella arvioitiin spot-hintatariffin ja tavallisen kaksiaikatariffin eroja kyseisten viiden huoneiston keskiarvokulutuksen perusteella. Kuten omakotitalokohteessa, myös rivitalokohteessa olisi maaliskuusta 2005 alkaen tavallinen kaksiaikatariffi muuttunut hieman spot-tariffia edullisemmäksi.



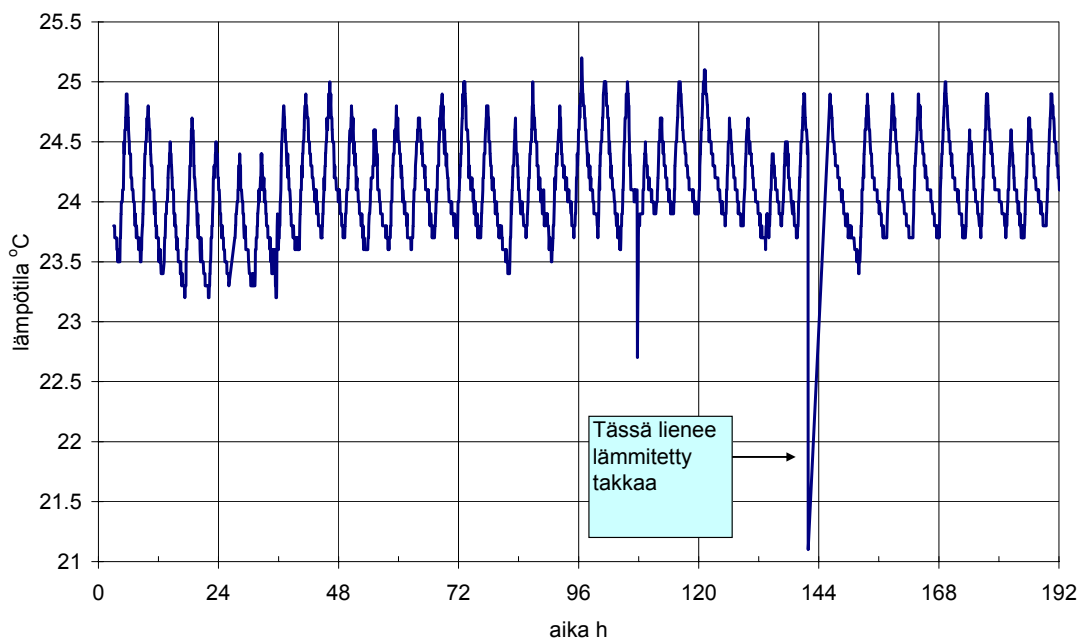
Kuva 21. Rivitaloaluoneiston A vesivaraajan lämpötilä. Vesivaraaja alkaa lämmitä kello 22 yötariffin tullessa päälle.



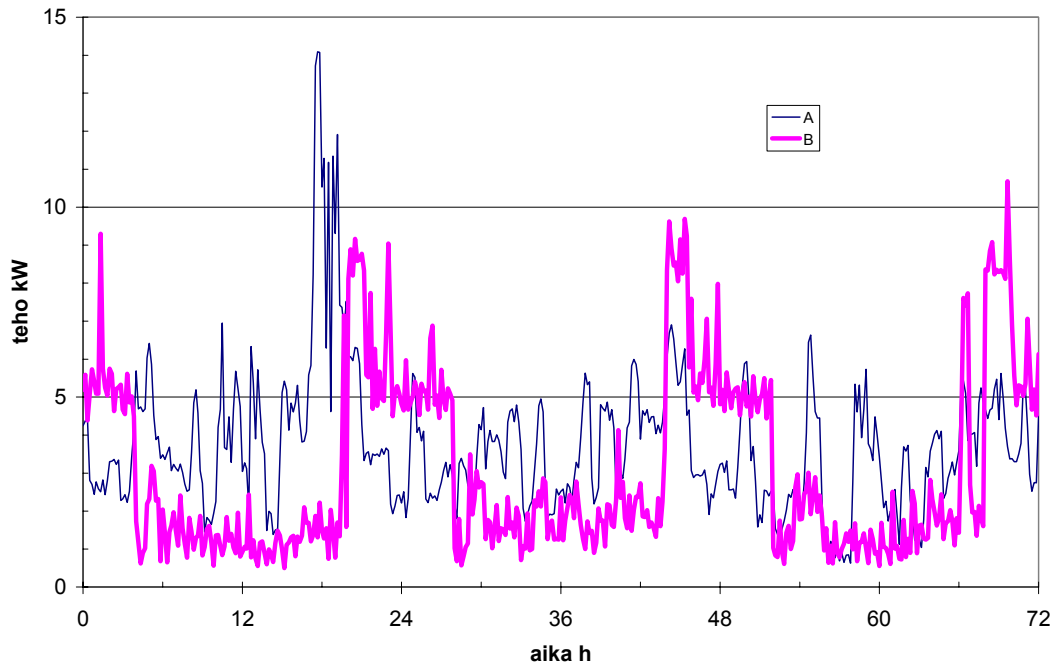
Kuva 22. Rivitaloaluoneiston A sähköteho 1.5.2005 alkaen.



Kuva 23. Rivitaloaluoneiston A viikon 18/2005 keskimääräinen vuorokauden sähköteho. Vesivaraajaa lukuun ottamatta kuorman heilahtelujen ajoitus oli satunnaista eikä lainkaan aikatariffiin tahdistettua.



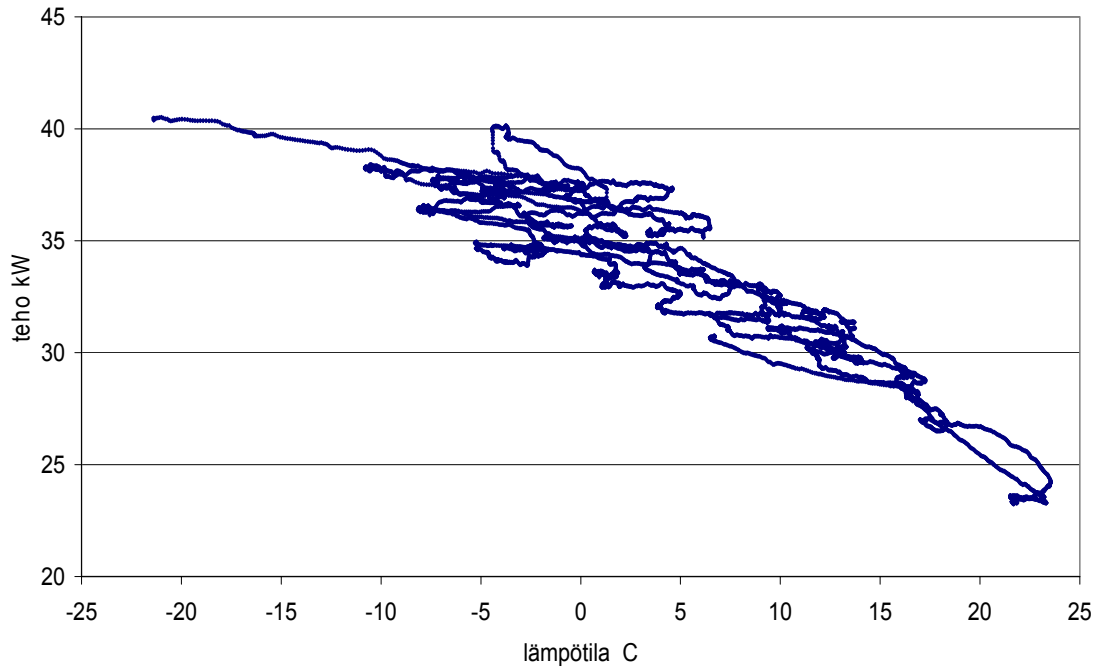
Kuva 24. Rivitaloaluoneiston alakerran takkahuoneen lattialämpötila. Lattialämmityksen aikaohjausrele oli rikki ja varaavuuutta ei hyödynnetty.



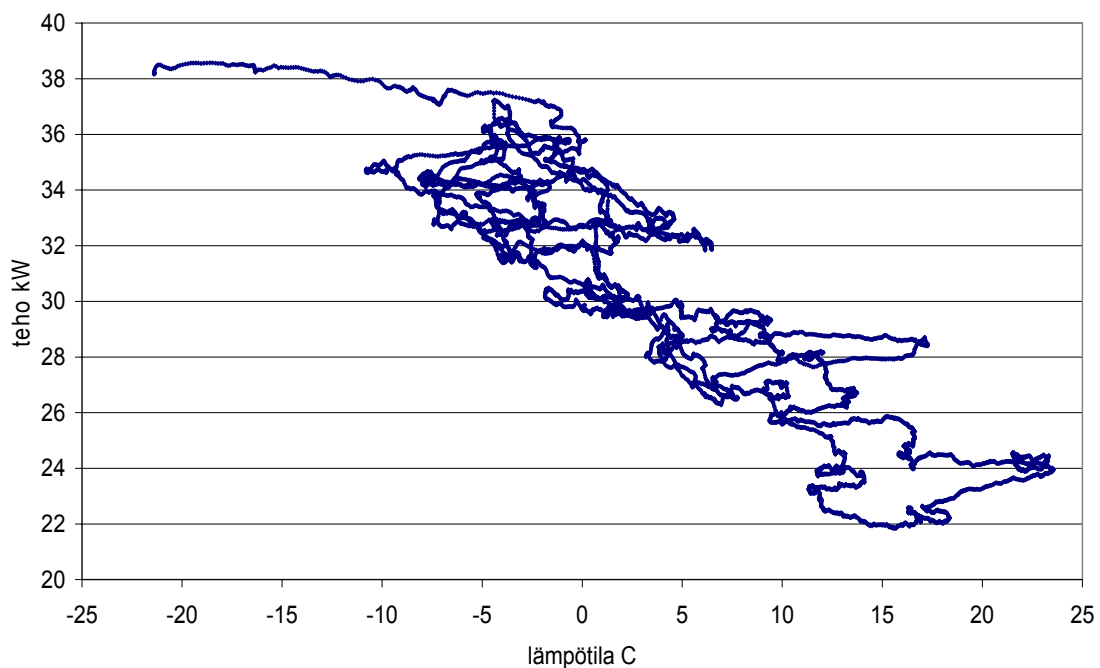
Kuva 25. Maaliskuun 2006 alussa vain huoneiston B sähkönkulutuksessa näkyy aikaohjausrytmi. Huoneiston A lattialämmityksen aikaohjaus näyttää taas lakanneen toimimasta.

4.1.4 Kerrostalot

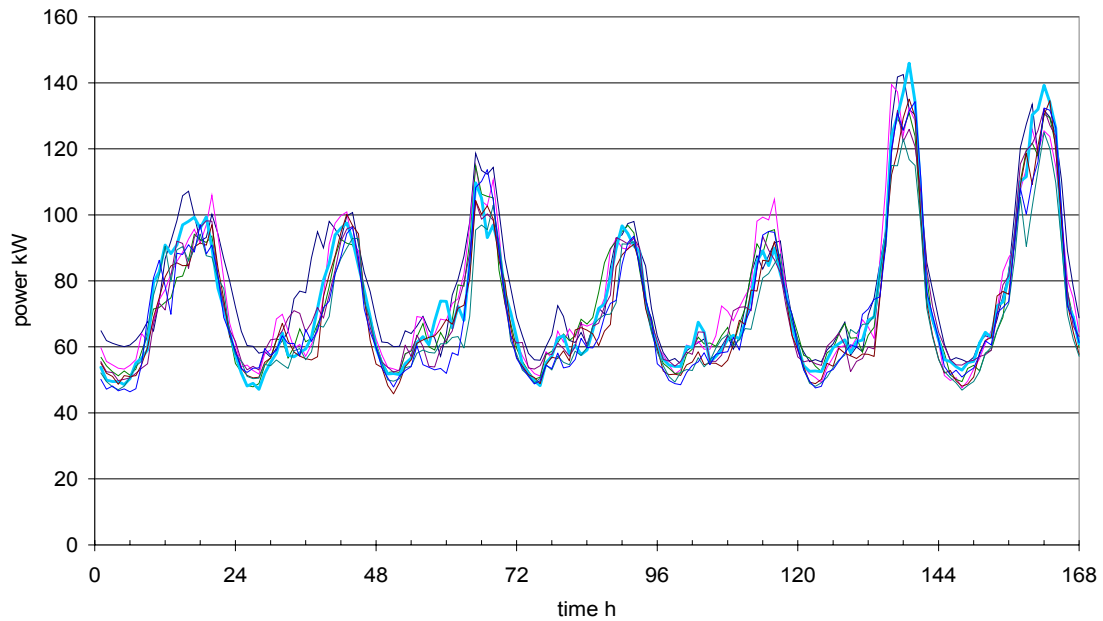
Kuvissa 26 ja 27 esitetään kohteiden liukuva viikon keskiteho ulkolämpötilan funktiona. Kahden kohteen summatehon viikkorytmi ja vuorokausirytmistöistuvat hyvin säännöllisesti, kuten kuvasta 28 ilmenee, joten kohteiden sähkönkäyttö näyttää olevan hyvin ennustettavissa. Tiettyinä viikonpäivinä kulutus on saunomisesta johtuen korkeampaa kuin muina päivinä.



Kuva 26. Tässä kaukolämpöalossa sähkön kulutus riippuu ulkolämpötilasta, koska pesuhuoneissa on sähköllä toimiva lattialämmitys.

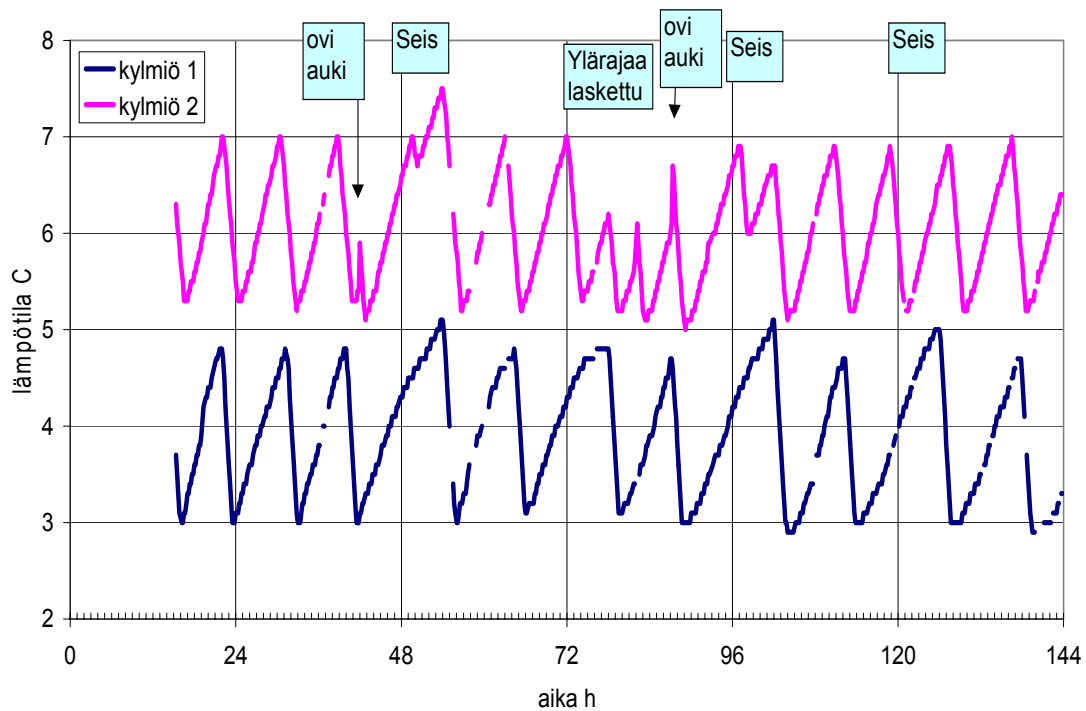


Kuva 27. Tässäkin kaukolämpökohteessa tehon lämpötilariippuvuus johtuu etupäässä pesutilojen lattialämmityksistä, mutta kohteessa näyttäisi olevan myös hiukan jäähdytyskuormaa.



Kuva 28. Edellä olevien kuvien kohteissa sähkön käyttö viikoilla 2–9 vuonna 2003.

Kerrostalokohteessa on kolme kylmäkellaria, joita voidaan ohjata rakennusautomaatiojärjestelmästä. Kellareille tehtiin ohjauskokeita, joissa joko estettiin kylmäkoneiden käyttö tiettyinä jaksoina tai muutettiin käynnistyslämpötilan asetusarvoa. Kuvassa 29 on kahden kylmiön lämpötilamittauksia ohjauskokeilun ajalta. Kolmannen kylmäkellarin lämpötilaa ei ole piirretty kuvaan 29, koska se käyttäytyy samankaltaisesti ja on keskimäärin muiden kellareiden lämpötilojen välissä. Käyntijaksot ovat kohtalaisen pitkiä, noin kahdeksan tuntia. Yhtenä syynä tähän on se, että kylmäkoneiden hyvin tiheään tapahtuvat käynnistykset vanhentaisivat kylmäkoneiden moottoreita. Käyntijaksosta jäähtyysvaihe kestää noin kaksi tuntia ja kylmäkone seisoo noin kuusi tuntia. Käyntiajankohtaa on mahdollista siirtää tilanteesta riippuen 2–3 tuntia myöhemmäksi ja osittain myös aikaisemmaksi nostamalla ja laskemalla tilapäisesti sitä lämpötilarajaa, josta kylmäkone käynnistyy. Kylmäkoneen hintaohjausalgoritmi on hahmoteltu ja simuloitu.



Kuva 29. Kylmäkellareiden käyntijaksoja voidaan ohjata automaatiojärjestelmästä

Tarkastelluissa kerrostalokohteissa on helposti toteutettavissa seuraavat mahdollisuudet ohjata sähkön käyttöä hintasignaalin perusteella:

- Pesutilojen lattialämmitys voidaan kytkeä pois päältä tunti tai kaksi ennen sähkön hinnan laskua.
- Kylmäkellareiden lämpötilan ylärajaa voidaan ennen hinnan nousua laskea ja nostaa se takaisin hinnan noustua. Näin vältetään kylmäkoneen käynnistyminen alle kolme tuntia hinnan nousun jälkeen. 2–3 tuntia hinnan laskua ennen lämpötilan ylärajaa voidaan nostaa ja siten välttää kylmäkoneen käyttäminen kyseisenä aikana. Periaatteessa tämä tarkoittaa sitä, että kutakin korkean hinnan jaksoa kohti voidaan siirtää keskimäärin noin yksi käyntijakso halvan hinnan ajalle. Siirtyvä energiamäärä olisi kaksi tuntia kertaa kylmäkoneen käyntiteho. Kohteen kylmäkoneiden tehot ovat suhteellisen pieniä ja niitä ei ole selvitetty.
- Ilmastointikoneiden tehoa voidaan pienentää hintahuippujen aikana sekä tarvittaessa myös lisätä ennen hinnan nousua. Ilmastointikoneiden ohjattavissa oleva teho on selvittämättä.
- Yhteissaunojen sähkökiukaiden lämpiämistä on hankala ajoittaa sähkön hinnan perusteella, koska saunavuorot on etukäteen sovittu. Mahdollisten hyvin korkeiden hintahuippujen aikana lyhytaikaiset (15 min) kiukaiden lämmityksen keskeytykset tai aikaistamiset saattavat toki tulla kysymykseen.

Näitä toimintoja oli suunniteltu toteutettavan syksyllä 2005 heti, kun hintasignaali saadaan Varissuon Huollon automaatiojärjestelmään. Hintasignaalin siirron piti olla helppo asia, mutta kyseiset järjestelmät tunteva osapuoli ei sitä ehtinyt tekemään.

4.2 Käyttäjien reagointi hintoihin

Pientalokohteissa yhdelle henkilölle taloyhtiössä kerrottiin, että on ainakin seuraavia mahdollisuuksia siirtää kulutusta halvemman hinnan ajalle:

- lämmittää varaavaa takkaa hintapiikkiä edeltävän päivän illalla
- välttää sähkösaunan lämmittämistä hintapiikin aikana
- varaavan lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen ohjaaminen hintapiikin ajalta sen edelle ja jälkeen, mikäli on manuaalisesti tehtävissä; tämä toiminto soveltuu paremmin automaattisesti toteutettavaksi.

Lisäksi pyydettiin pitämään kirjaa energiankulutukseen vaikuttavista toimenpiteistä. Ei tarkastettu, menikö tieto kyseisiltä henkilöiltä eteenpäin muille asukkaille.

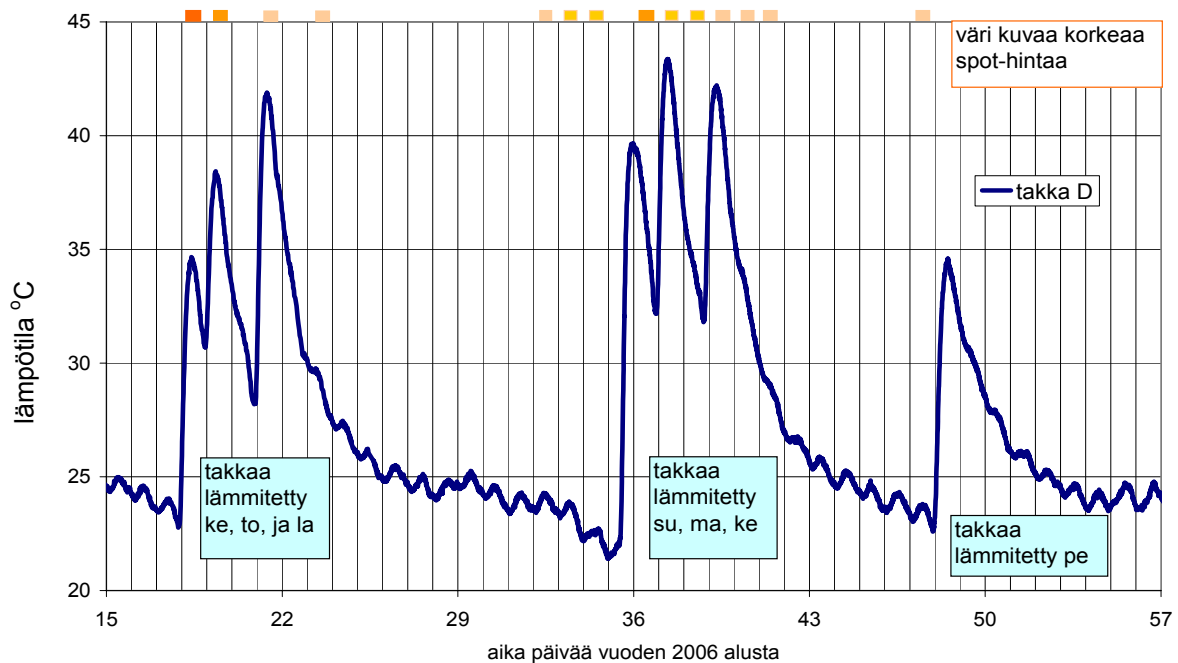
Asiakkailla oli mahdollisuus käyttää Turku Energian toteuttamaa Internet-pohjaista asiakasinformointijärjestelmää. Ei seurattu sitä, minkä verran asiakkaat kyseistä järjestelmää käyttivät. Asiakkailla oli mahdollista saada Turku Energialta hälytys korkeista hinnoista sähköpostiin tai matkapuhelimeen. Myös päivän hinnat asiakas sai halutessaan sähköpostitse. Näitä palveluja käyttäneet asiakkaat kertoivat, että tätä kautta tiedot eivät tulleet vielä edellisenä päivänä, jolloin ne määräytyivät, vaan vasta keskellä sitä päivää, jota hinnat koskivat, eli usein liian myöhään. Joissakin kohteissa asukas katsoi hinnat sähköpörsin www-sivuilta, kun julkisissa tiedotusvälineissä oli mainittu korkeista hinnoista. Tälläkään tavoin tietoa hintapiikistä ei usein saatu edellisenä päivänä.

Seurannan aikana korkeimmat hintapiikit sijoittuivat enimmäkseen sellaisiin viikonpäiviin, jolloin pientalokohteissa ei tavallisesti saunottu. Tyypilliseen saunomisaikaan illalla spot-markkinahinta oli melko korkea (eli enimmillään välillä 100–200 €/Mwh) perjantaina 20.1.2006, lauantaina 21.1.2006, perjantaina 3.2.2006, lauantaina 4.2.2006, keskiviikkona 8.2.2006, perjantaina 10.2.2006, lauantaina 11.2 ja perjantaina 17.2. Enintään kahden tunnin päässä hintahuipusta oli aina kohtalaisen halpa hinta. Kulutusmittausten perusteella arvioituna rivitalossa saunan lämmitys tapahtui noin iltoina yhteensä 14 kertaa. Näistä seitsemän kertaa sauna lämpeni kulutushuipun aikana ja seitsemän kertaa kulutushuipun vieressä. Jos nuo seitsemän kertaa olisi siirretty tapauksesta riippuen hintahuipun kohdalta tunnin tai kahden verran, olisi säästö ollut arviolta yhteensä noin 3 €. Kulutusmittausten mukaan neljässä rivitalohuoneistossa viidestä saunottiin lauantaina 21.1.2006, ja kolmessa niistä saunan lämmitys ajoittui hintahuipun ajalle ja yhdessä

juuri hintahuipun jälkeen. Perjantaina 20.1.2006 ja 10.2.2006 ei rivitalossa saunottu. Omakotitalossa sähkösaunaa lämmitettiin melko harvoin eikä kertaakaan korkean hintapiikin aikaan. Perjantaina 20.1.2006 saunan lämmitys ajoittui heti hintapiikin perään. Saunan lämmittäminen hintapiikin aikana olisi maksanut noin 1 €:n enemmän.

Pelkästään mittausten perusteella ei saa varmuutta hintapiikkeihin reagoinnista, koska ei tiedetä, olisiko huipun aikana ollut kulutusta. Hiukan varmistusta on saatu omakotitalon asukkaan toimenpidekirjanpidosta sekä kysymällä kahden muun kohteen yhdeltä asukkaalta asiasta projektin lopussa. Toinen näistä mainitsi vältäneensä sähkösaunan lämmitystä hintapiikkien aikana.

Takan käyttöä seurattiin neljän erillistalon yhtiössä mittaamalla takan pintalämpötiloja takkaan upotettujen antureiden avulla. Takat ovat tehokkaasti eritettyjä, joten lämmittämisen jälkeen ne luovuttavat lämpöä pienenevällä teholla useamman vuorokauden ajan (aikavakio noin kaksi vuorokautta). Tammi–helmikuussa 2006 esiintyneiden hintapiikkien aikana takkaa käytettiin vaihtelevasti. Talossa A takkaa lämmitettiin ko. aikana 15 kertaa ja hintapiikkien aikaan keskimäärin useammin. B-talossa takkaa lämmitettiin tammikuun hintapiikin aikana ja sen jälkeen kolme kertaa mutta hieman myöhässä hintapiikkiin nähden. C- ja D-taloissa takkaa lämmitettiin ko. aikana kummassakin seitsemän kertaa. Molemmissa lämmitys tapahtui tammikuun hintapiikin aikaan. D-talossa takka oli lämmin kuusi kertaa seitsemästä hintapiikkien aikaan, kuten kuvasta 30 ilmenee. Lämmitysten ajoitus perustui osin ulkolämpötiloihin ja osin tietoisuuteen korkeista hinnoista.



Kuva 30. D-talo: takan lämpötilat ja hintapiikkien ajoittuminen. Takan lämmitys ajoittuu tässä talossa hyvin korkeisiin spot-hintoihin nähden.

Yhteenvetona voidaan todeta kuluttajan mahdollisina manuaalisina toimenpiteinä:

- puulla lämmittäminen juuri korkeiden hintojen edellä
- sähkösaunan, -uunin ja -lieden käytön välttäminen kapean ja korkean hintapiikin aikana
- pesukoneiden käytön ajoittaminen hintapiikkien ulkopuolelle.

Joulukuun alun hintapiikistä kuormaa tunti tai kaksi huipusta siirtämällä olisi voinut säästää noin 1 €/n/kWh, mutta tuolloin oli hyvin vähän siirrettävissä olevaa kuormaa päällä koekohteissa.

5. Hintaohjausmallit ja simuloinnit

5.1 Dynaamiset lämpötasemallit

Alkuvuoden 2005 ja sitä aikaisempien mittaustietojen ja ennakkotietojen perusteella omakotitalolle ja rivitalon huoneistolle A sekä kerrostalon kylmäkellarille laadittiin dynaamiset mallit lämpötaseelle. Mallien tavoitteena on ennustaa sähkönkulutusta tarkasteluhetkestä muutamia tunteja tai yksi vuorokausi eteenpäin, kun eri sähkölämmitysmuotojen ottaman tehon ajoituksia muutellaan.

Omakotitalo ja rivitalohuoneisto ovat kumpikin kaksikerroksisia, ja molemmissa päädyttiin rakenteeltaan samanlaiseen malliin. Ohjaamattomina ajan suhteen muuttuvina tulotietoina ovat

- ulkolämpötila
- rakennuksen käyttö ja
- lämpimän käyttöveden kulutus.

Rakennuksen käyttöä kuvaavana tulomuuttujana on vain läsnä olevien henkilöiden lukumäärä. Muuhun kuin lämmitykseen käytetty sähkön kulutus, kuten saunan lämmitys, ruuanlaitto sekä ovien ja ikkunoiden aukaisut ynnä muu tuuletus, on käsitelty häiriöinä, joita mallissa ei erikseen kuvata. Häiriöinä käsitellään myös lämpimän veden kulutuksen poikkeamat tyypillisestä käyttöprofiilista.

Ohjattavina tulotietoina ovat eri lämmitysmuotojen tehot tai lämpötilan asetusarvot. Näitä on kolme eli

- suora lämmitys
- varaava lattialämmitys ja
- käyttöveden lämmitys.

Vaikka eri lämmitysmuodot voivat koostua huonekohtaisista säätöpiireistä, ei lämmitysmuotoja ja sisätiloja mallitettu huonekohtaisesti, koska lähtötiedot ja käytettävissä ollut työmäärä eivät olisi siihen riittäneet ja koska huonekohtainen ohjaus ei ole tässä keskeistä ja voidaan luultavasti kohtalaisen hyvin hoitaa alemmalla tasolla. Yläkerran ja alakerran mallintamista omiksi mallin tiloiksi kokeiltiin, mutta identifiointi tuotti silloin fysikaalisesti järjettömiä parametrien arvoja eikä mallin kyky ennustaa sähkönkulutusta parantunut. Niinpä katsottiin parhaaksi jättää kerrokset ottamatta huomioon mallissa. Rakennuksessa hajallaan oleva käyttäytyminen on siis mallissa koottu muutamaaan tilaan. Näin ollen esimerkiksi mallin sisälämpötila ei vastaa mitään yksittäistä mittauspistettä, ja niinpä mallin identifiointiin käytetty sisälämpötila muodostettiin keskiarvois-

tamalla rivitaloaluoneiston tapauksessa useasta mittauspisteestä, joita oli eripuolilla ta-
loa. Samalla voitiin verraten helposti täydentää tai korvata yksittäisten mittauspisteiden
puuttuvat tai selvästi virheelliset mittausarvot.

Malli on lineaarinen tulosuureiden rajoituksia lukuun ottamatta. Ilmastoinnin vaikutus
mallissa olisi kyllä epälineaarinen, mutta ilmastointia ei mallia käytettäessä yleensä pi-
detty muuttujana. Mallin tilamuuttujat ovat

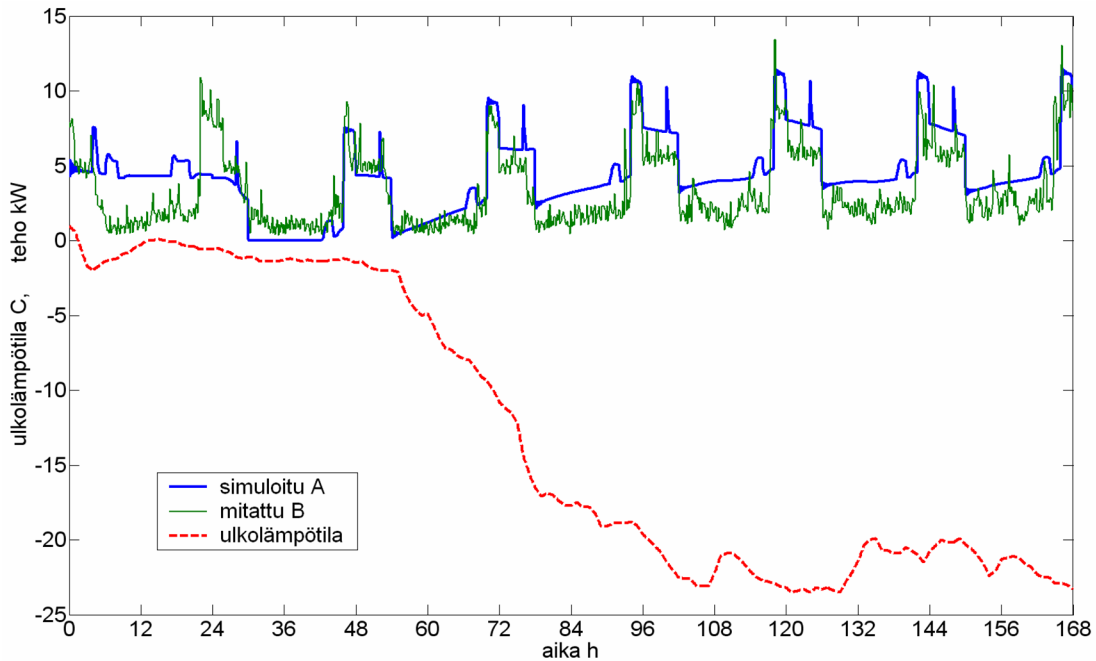
- sisälämpötila
- varaavan lattian lämpötila
- takan lämpötila
- ulkoseinien lämpötila
- sisäseinien lämpötila
- vesivaraajan lämpötila ja
- saunan lämpötila.

Mallit saatiin varsin hyvin sovitettua mittauksiksi, ja niiden sähkötehon ennustusky-
kykin havaittiin tarkoitukseen riittäväksi kevättalven 2005 mittauksiin nähden. Var-
muuden saamiseksi olisi syytä vielä verrata mallia talven 2005–2006 kaikkiin mittauk-
siin, mutta tämä vertailu olisi vaatinut enemmän resursseja kuin oli käytettävissä.

Seuraava mittauksista selvästi havaittavissa oleva ilmiö ei sisälly malliin. Lämmöllä
on vahva pyrkimys virrata sisäilmassa ylöspäin mutta ei alaspäin. Ilman kerrostumistai-
pumuksen takia lämpö siirtyy varaavasta lattiasta sisäilmaan ja sitä kautta talon raken-
teisiin. Silloin kun lattia on sisäilmaa kylmempi, ilma alkaa kerrostua paikalleen ja toi-
mii eristeenä. Niinpä varaava lattia lämmittää varaavan takan massaa, mutta takka ei
juuri lämmitä lattiaa. Lineaarinen malli ei voi sisältää näitä epälineaarisia ilmiöitä. Tässä
näyttäisi olevan myös syy siihen, että avoimen tilan kautta yhteydessä olevien ylä- ja
alakerran mallintaminen eri tilamuuttujiin ei parantanut mallia ja teki parametrien iden-
tifiointin hankalaksi.

Työkaluna mallinnuksessa oli pääasiassa Matlab System Identification Toolbox. Tar-
kasteltu mallinnusongelma oli sellainen, jossa olisi hyvä voida määritellä mallin para-
metreille sallittu vaihteluväli. Tätä mahdollisuutta ei kyseisessä mallinnustyökalussa
suoraan ollut, mutta mallinnus saatiin kyllä tehtyä sillä. Aikaisempien kokemusten pe-
rusteella näyttää siltä, että parametrien identifiointi olisi ollut tehokkaampaa ja var-
mempaa sovittamalla malli mittauksiin hyvää rajoitetun epälineaarisen optimoinnin oh-
jelmaa käyttämällä, kun parametrien arvot on ennakkotietojen perusteella rajoitettu.

Kuvassa 31 vertaillaan talvella 2005 rivitalon huoneistosta A identifioidulla mallilla
tehtyä simulointia talvella 2006 huoneistosta B tehtyihin mittauksiin.



Kuva 31. Huoneiston A simuloitu teho verrattuna hiukan pienemmän huoneiston B mitattuun tehoon viikolla 3/2006. Malli ja sen parametrit perustuvat edellisen talven mittauksiin.

Kuvan 31 loppupäässä olevat mitatut korkeat kulutuspiikit kahtena iltana johtuvat mahdollisesti saunan lämmityksestä, jota simuloinnissa ei ole. Alkupäässä oleva käyrien ero johtuu siitä, että todellinen ohjaus ohjaa päiväasetusarvoille myös sunnuntaisin, kun taas simulointi toimii tariffin mukaisella aikajaolla. Kuvasta voidaan myös havaita, että simulointimallissa lämmönvaraavuus on jossakin määrin todellista pienempi. Tämä ei ole yllättävää, koska parametrit identifioitiin edellisen talven mittausaineistosta, josta puuttuu ulkolämpötilan iso askelmainen muutos.

5.2 Automaattisen hintaohjauksen menetelmät

5.2.1 Optimointimenetelmäkehityksen tavoitteet

Kun sähkön hinta vaihtelee voimakkaasti tunnista toiseen, voidaan rakennuksen sähkölämmityksiä ajoittamalla säästää sähkölaskussa. Tämä saadaan aikaan asumismukavuuden kärsimättä, jos rakennuksessa on joko hyvin paljon lämmönvaraavuutta tai on sekä suoraa että varaavaa sähkölämmitystä, joita voidaan keskenään ajoittaa. Ulkolämpötila, rakennuksen käyttö ja ilmastointi vaikuttavat myös lopputulokseen. Tarkastelemalla ongelmaa optimointitehtävänä ja ratkaisemalla tämä tehtävä pyritään saamaan selville, millainen on paras ratkaisu millekin rakennukselle ja paljonko se tuo säästöjä verrattuna nykyiseen ohjaustapaan.

Automaattisen hintaohjauksen hyötyjä voidaan arvioida vain siinä määrin, kuin käytetty menetelmä on määritelty. Optimointimenetelmällä saatuja ratkaisuja tarvitaan vertailukohdaksi menetelmien kehitykseen. Jos optimointimenetelmä on toteutettavissa ohjattavan kohteen automaatiojärjestelmään, voidaan sillä korvata muut huonommat menetelmät.

Automaattisen hintaohjauksen menetelmien kehittämiseen projektissa oli siis useita syitä:

- Tarvittiin menetelmä sen arvioimiseksi, paljonko nykyisiä ohjaustapoja paremmin sähkölämmitystä on mahdollista ohjata hintavaihteluita hyödyntäen.
- Tarvittiin menetelmä hintaohjauksen hyötyjen arvioimiseksi.
- Hyötyjen toteutuminen käytännössä edellyttää, että on automaattisen hintaohjauksen menetelmä, joka voidaan toteuttaa rakennusautomaatiojärjestelmiin ja jonka antamat ratkaisut ovat nykyisiä ajotapoja parempia.

Menetelmät kehitettiin itse, koska siihen oli hyvät valmiudet. Samalla opittiin paremmin ymmärtämään kyseessä olevan ohjaustehtävän erityispiirteitä. Valmiiden kaupallisesti saatavien menetelmien ominaisuuksien tarkempi tutkiminen, sovittaminen tarkoitukseen ja vertailu vaativat huomattavasti työpanosta ja lisenssimaksuja, joten niitä ei tässä yhteydessä tehty. On myös epävarmaa, millaisin lisenssikustannuksin näin kehitetyt menetelmät olisivat laajamittaisesti hyödynnettävissä.

Projektissa kehitettiin sekä optimointiin että heuristiikkaan perustuva hintaohjausmenetelmä.

5.2.2 Sähkökuormien hintaohjauksen optimointimenetelmä

Pienkohteiden sähkön käytön ohjausta varten toteutettiin itse optimointimenetelmä MATLABilla. Menetelmä soveltuu epälineaaristen dynaamisten optimointitehtävien ratkaisemiseen ja on erityisen tehokas neliöllisille tai lähes neliöllisille dynaamisille ongelmille. Menetelmä hakee paikallisen optimin. Ehdottomat tilarajoitukset voivat myös hidastaa tai jopa kokonaan estää menetelmän konvergoinnin. Molempia ongelmia voi lieventää käyttämällä muutamia eri alkupisteitä, koska menetelmän vaatima laskenta-aika on kohtuullinen. Ehdottomien tilarajoitusten käyttöä mallissa on myös vältetty ja niiden sijasta käytetty neliöllisiä kustannustermejä. Käynnistys ja pysäytyskustannukset sekä saman kohteen lämmityksen ja jäädytyksen optimaalinen vuorottelu ovat ongelmia, joiden ratkaisussa menetelmän voi odottaa toimivan huonosti. Näitä ei ole tässä yhteydessä tutkittu, koska koekohteissa näitä piirteitä ei esiinny.

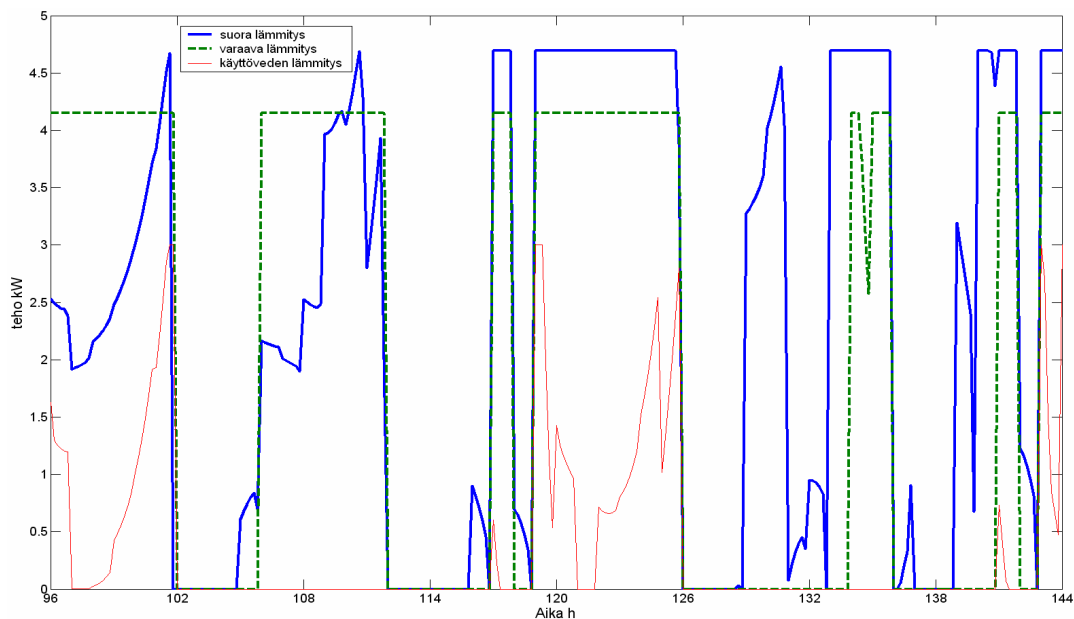
Toteutettu optimointimenetelmä perustuu viitteessä [Has 76] kuvattuun konjugoidun gradientin menetelmään, jolle gradientti lasketaan Pontryagin periaatteella liittotiloista. Koekohteiden malleihin sovellettuna menetelmä on toiminut varsin hyvin. Muutamissa tapauksissa konvergointi on selvästi jäänyt kesken, mutta saatu ratkaisu on aina silloinkin ollut melko hyvä. Konvergoinnin kesken jääminen on havaittavissa siitä, että gradientti poikkeaa selvästi nolasta hetkillä, jolloin ohjaus tai tilarajoitus ei ole aktiivinen. Lähes aina on käytetty kahta eri lähtöpistettä ja konvergointiongelman esiintyminen samassa ongelmassa molemmista lähtöpisteistä lähettäessä on tapahtunut vain kerran. Silloinkin löytyi helposti lähtöpiste, josta konvergointi meni riittävän tarkasti loppuun asti.

Simuloinneissa optimointimenetelmässä havaittiin sellainen ongelma, että hyvin korkeiden hintapiikkien aikana optimoidut sisälämpötilat pyrkivät vaihtelevaan liikaa, kun samoilla painokertoimilla pienten hintavaihteluiden aikana sisälämpötilojen vaihteluväli oli tarpeettomankin pieni. Syynä tähän on sisälämpötilan poikkeaman neliöön verrannollinen kustannustermi kriteerissä. Enimmältään osin ongelma korjattiin muuttamalla kustannuskriteerin muotoa. Tosin asian suhteen jäi vielä parannettavaa.

Kaupallisesti on saatavissa laajassa käytössä hyviksi todettuja sekalukuoptimoinnin ohjelmia, jotka soveltuvat myös tarkoitukseen ja pystyvät itse toteutettua menetelmää paremmin käsittelemään esimerkiksi käynnistys- ja pysäytyskustannuksia. Näiden ongelmana ovat ainakin toistaiseksi olleet pienkohteita ajatellen aivan liian kalliit lisenssimaksut. Mallien ylläpito voi myös olla verraten työlästä, jos ohjelmistoon ei ole lisätty siihen riittävästi tukea. Molempien ongelmien voi odottaa lievenevän tai poistuvan.

Itse toteutetun optimointimenetelmän avulla on voitu todeta, että optimointimenetelmä, sen kustannukset ja laskentatehon tarve eivät enää ole ratkaiseva este pienkohteiden hintaohjausten optimoinnin toteuttamiselle.

Kuvaa 32 kuvaan 3 vertaamalla nähdään, kuinka optimointimenetelmä ajoittaa lämmityksen käytön niin, että lämmittäminen korkeimpien hintahuippujen aikana voidaan välttää. Aikaohjauksella rakennus ehti päivän aikana jäähtyä niin paljon, että illan hintahuipun ajaksi oli tullut paljon lämmitystä päälle, vaikka aamulla menetelmä oli kytkenyt varaavat lämmitykset päiväasetusarvolle tunnin myöhemmin kuin mitä spot-hinta olisi edellyttänyt. Kuva 32 esittää rivitalohuoneistoa koskevia simulointituloksia, mutta samat ilmiöt ovat selvästi nähtävissä myös omakotitaloa simuloitaessa.



Kuva 32. Optimointimenetelmän antamat lämmitystehot 19. ja 20.1.2006. Vertaa kuvassa 3 esitettyihin 19.1.2006 hintoihin. Huomaa varaavan lämmityksen käyttö keskellä päivää, jolla vältetään illan hintahuipun aikainen lämmitys.

5.2.3 Heuristinen sähkökuormien hintaohjausmenetelmä

Heuristisella menetelmällä tarkoitetaan tässä menetelmää, joka perustuu yksinkertaistaan päätelmiin optimointimenetelmän antamien ratkaisujen ominaisuuksista. Yksinkertainen heuristinen menetelmä laadittiin, koska optimointimenetelmän vaatimaa laskenta-tehoa ei ole aina käytettävissä. Rakennusautomaation laitteistojen suunnittelussa ei vielä ole aina otettu huomioon optimointimenetelmän tarvetta. Jos heuristiikalla päästäisiin kaikissa tilanteissa hyvin lähelle optimointimenetelmän antamia tuloksia, ei optimointimenetelmää kannattaisi muutenkaan toteuttaa. Toteuttamalla heuristinen menetelmä ja vertailemalla sen tuloksia optimointimenetelmään saatiin selvyyttä näihin asioihin.

Myös heuristiikka laadittiin itse edellä mainitun optimointimenetelmän tuloksia apuna käyttäen. Heuristinen menetelmä pyrittiin laatimaan niin, että sen antamalla ratkaisulla olisi samoja piirteitä kuin optimointimenetelmällä saaduilla ratkaisuilla. Heuristisen menetelmän antamia tuloksia verrattiin optimointimenetelmällä saatuihin, ja eron perusteella korjattiin ja viritettiin heuristista menetelmää.

Laadittu heuristinen menetelmä käsittelee kutakin lämmitysmuotoa erillisenä ottamatta niiden välisiä vuorovaikutuksia huomioon. Kunkin lämmitysmuodon lämpövarasto oletetaan ensimmäisen kertaluvun dynaamiseksi prosessiksi. Hintasignaali ajetaan ajassa takaperin kullekin lämmitysmuodolle erikseen kyseistä lämpövarastoa aikavakioitaan

vastaavan alipäästösuodattimen läpi. Suurten hintavaihteluiden yhteydessä on välttämätöntä, että heuristiikka ottaa huomioon myös lämpövarastojen lämpötilarajat, jotka rajoittavat varastoitavissa olevan lämpöenergian määrää. Ohjaus muodostetaan kahden komponentin summana, joista edellä kuvattu on toinen. Toinen komponentti riippuu lineaarisesti tarkasteluhetken hinnasta.

Heuristiikkaa kokeiltaessa ja kehitettäessä tehtiin seuraavat havainnot:

- Kustannukset saadaan yleensä varsin lähelle optimaalista mutta energiankulutus on muita menetelmiä hieman isompaa.
- Heuristinen menetelmä ei ole yhtä yleiskäyttöinen kuin optimointimenetelmä, jonka suorituskyky on poikkeavissa tilanteissa parempi ja tapauskohtaisen virityksen tai korjailun tarve on selvästi heuristista menetelmää pienempi
- Myös heuristinen menetelmä osaa välttää illan hintahuipun aikaisen lämmityksen käyttämällä varaavaa lämmitystä päivällä ennen kyseistä hintahuippua.

5.3 Automaattisen hintaohjauksen simuloitujen hyödyt

Hyötymahdollisuuksia tutkittiin vertailemalla automaattisia hintaohjausmenetelmiä simuloinein, jotka perustuivat kahden koekohteen lämpötaseen dynaamisiin malleihin. Tarkemmin tämä osuus on dokumentoitu viitteessä [Kop 06]. Mallit oli ensin laadittu ja identifioitu mittausten ja lähtötietojen perusteella. Rivitalo-ohjauksen osalta simuloimalla tehtiin 16 peräkkäiselle viikolle, viikoille 49/2005–12/2006, sekä viikolle 9/2005. Oma-ohjauksen osalta jätettiin edellä mainituista jaksoista simuloimatta useimmat niistä viikoista, joihin ei esiintynyt poikkeuksellisia hintoja tai lämpötiloja. Simuloinneissa hintasignaali sisälsi spot-hinnan, jakelun aikahinnan sekä sähköveron mutta ei myyjän marginaalia. Rivitalo-ohjauksen osalta 16 viikon jaksolle saatiin seuraavat tulokset:

16 viikon summa 49/2005–12/2006

	Energia kWh	Muuttuvat kustannukset €	
optimoitu-1	9146.09	742.30	(viikolla 3/2006 sisälämpötilaongelma)
optimoitu-2	9262.24	759.30	(usein turhan suppea sisälämpötilan vaihtelu)
heuristiikka	9332.55	763.70	
2-aikaohjaus	9294.49	807.15	
ei ohjausta	9215.10	849.00	

Optimoitu-1 ja optimoitu-2 ovat sama itse toteutettu optimointimenetelmä lukuun ottamatta eroa kriteerissä. Sisälämpötilaan kohdistuvan sakkotermin rakenne on hieman erilainen. Kuvassa 32 on käytetty menetelmää optimoitu-2.

Tariffin yöajaksi on edellä olevassa tarkastelussa otettu myöhäisempi vaihtoehto, eli yöaika on kello 23–07. Jos yöajaksi otetaan kello 22–06, niin hintaohjausmenetelmien ero aikaohjaukseen oli hiukan pienempi. Merkittävästi eroa tuli vain viikolla 3, jolloin sitä tuli 3 €, kuten seuraavasta ilmenee:

Viikko 3/2006

	yöaika kello 23–07		yöaika kello 22–06	
	Energia kWh	Muuttuvat kustannukset €	Energia kWh	Muuttuvat kustannukset €
optimoitu-2	749.271	63.47	749.355	63.54
heuristiikka	768.373	65.45	768.356	65.47
2-aikaohjaus	748.676	79.34	748.672	76.30.

Kohteen pinta-ala on 155 m² ja tilavuus 383 m³. Sähkölämmitystä kohteessa on noin 8 845 W, josta suoraa kattolämmitystä 4 320 W ja aika-ohjauksessa olevaa varaavaa lattialämmitystä 4 150 W. Aika-ohjauksessa olevan lämpimän käyttöveden varaajan tilavuus on 300 l ja teho 3000 W. Sähkösaunan suurin teho on 7 500 W ja sähkölieden 12 500 W. Kohteessa on lisäksi varaava takka, mutta tässä menetelmien vertailussa sitä ei ole käytetty, koska sen käyttö edellyttää ihmisen toimenpiteitä.

Omakotitalossa, jonka tilavuus oli noin 500 m³, optimoinnin hyödyt aikaohjaukseen verrattuna olivat suuremmat kuin rivitalossa. Hyödyt olivat kuitenkin pienemmät kuin kohteiden tilavuuden tai sähkönkulutuksen perusteella skaalaaminen olisi antanut. Omakotikohteessa on suhteessa enemmän lämmönvaraavuutta, mistä oli muita menetelmiä enemmän hyötyä 2-aikaohjaukselle.

Kelloon perustuvan 2-aikaohjauksen huonous spot-hintatariffia käytettäessä näyttää johtuvan seuraavista syistä:

- Hintahuiput eivät ole aina rajoittuneet arkipäiväjaksolle vaikka ovatkin yleensä siinä.
- Pakkasilla varaavuus ei riitä, joten lämmitystä tulee päälle illan hintahuipun aikana.
- Useimmiten spot-hinnassa ei ole merkittävää eroa yön ja päivän välillä, jolloin 2-aikaohjaus ohjaa silloin liikaa ja haaskaa hiukan energiaa.

Vertailut menetelmät ja yksityiskohtaisemmat tulokset kerrotaan tutkimusraportissa VTT-R-05475-06 eli viitteessä [Kop 06].

6. Hintaohjauksen mahdollisuudet ja esteet

6.1 Hintaohjauksen vaikutus sähkön käyttöön

Hintaohjauksella havaittiin seuraavanlaisia vaikutuksia sähkön käyttöön:

Sähkösaunojen lämmitys korkeimpien hintapiikkien aikana väheni. Puulämmitteisen varaavan takan ja saunan kertalämmitys kykenivät korvaamaan 12 tunnin keskeytyksen omakotitalon sähkölämmityksessä; varaavan takan käyttö lisää siis huomattavasti mahdollisuuksia ohjata sähkölämmitystä pois päältä hintapiikkien ajaksi.

Kun rivitaloaluoneiston simuloinneissa käytettiin viikon 3/2006 hintoja ja lämpötiloja, katso kuvia 3 ja 31, saatiin seuraavia tuloksia. Automaattinen hintaohjaus siirsi noin 4 kW tehoa pois aamuyön korkeasta hintahuipusta verrattuna aika-ohjaukseen. Aamupäivän hintapiikin aikana molempien menetelmien ohjaamat kuormat olivat poissa päältä, joten silloin ei ollut eroa. Automaattinen hintaohjaus siirsi pakkasten aikaan illan hintahuipun ajalta noin 2–3 kW tehoa edeltävälle keskipäivälle. Mittauksiin vertaamalla voidaan kuitenkin päätellä, että 1–2 kW olisi oikeampi arvio, koska simulointimallin hitaat aikavakiot ovat liian pienet, kuten kuvasta 31 ilmenee. Illan hintahuipulta pois siirtyvä teho riippuu voimakkaasti rakennuksen varaavuudesta ja ulkolämpötilasta.

Mittarikyselyn [Kär 06] perusteella Suomessa oli 394 000 moniaikamittaria ja niistä noin neljäsosa oli poistoikäisiä otoksessa, joka käsitti 74 % Suomen pienjännitteisistä kuluttajaliittymistä. AMR-toiminta pienkuluttajilla lisääntyy suhteellisen nopeasti, ja v. 2010 n. 50 % pienkuluttajista on kaukoluennan piirissä: suuressa osassa näistä tulee olemaan tuntiarvojen luentamahdollisuus. Tämä pätee pitkälti myös sähkölämmityskuluttajille, joiden kokonaislukumäärä on yli 600 000.

Oletetaan, että hintaohjauksessa olisi 200 000 kohdetta ja pakkasilla yöaikaan hintahuipusta sivuun siirrettävissä olevaa tehoa olisi noin 4 kW ja iltahuipun aikaan 1–2 kW. Tällöin valtakunnalliseksi ohjausvaikutukseksi saataisiin noin 800 MW yöllä ja noin 200–400 MW iltahuipun aikaan. Iltahuipusta siirtyisi tehoa myös takan käytön ja saunomisen siirtymisen kautta, mutta tätä on vaikea arvioida, koska se riippuu ajankohdasta, asukkaiden käyttäytymisestä sekä saunan lämmityksen ohjauksen kytkennöistä, jotka ohjaavat talon muuta lämmitystä pois päältä. Edellä olevissa arvioissa oletetaan, että aika-ohjaukset toimivat kaikissa kohteissa niin, kuin niiden on tarkoitus toimia. Koe-kohteiden kokemusten perusteella on kuitenkin odotettavissa, että muuallakin on paljon vikaantuneita aikaohjauksia.

6.2 Esteet ja mahdollisuudet valtakunnallisella tasolla

Projektissa vahvistui käsitys siitä, että Suomessa on sellaisia varaavalla sähkölämmityksellä varustettuja taloja, jotka soveltuvat hyvin sähkön markkinahintojen perusteella ohjattavaksi. Nämä talot ovat kohtalaisen hyvin energiaa varastoivia ja niissä on varaava takka vaihtoehtoisena lämmitysmuotona. Tällaisten talojen sulakekoko on tyypillisesti 3 x 35 A tai 3 x 25 A ja vain harvoin yli 3 x 63 A. Isommissa kohteissa mahdolliset hyödyt ovat suuremmat kuin pienemmissä, mutta toteutuskustannukset pysyvät lähes samoina.

Projektissa havaittiin hintaohjauksen toteuttamiselle olevan Suomessa ainakin seuraavia esteitä:

- 27.12.2004 voimaan tullut sähkömarkkina-asetus [KTM 04] ohjaa kaikki kuormien ohjauksella saatavat tasehyödyt 3 x 63 A tai pienempien kohteiden osalta kyseisen jakelualueen toimitusvelvolliselle sähkön myyjälle.
 - Asetus määrää, että kaikkia niitä jakeluverkon asiakkaita, joiden liitântä on 3 x 63 A tai pienempi, pitää taselaskennassa käsitellä kuormituskäyrien perusteella ja todellista mitattua tuntikulutusta ei saa taselaskennassa käyttää, vaikka se olisikin mitattu. Tämä vaatimus ei kuitenkaan koske toimitusvelvollisen sähkön myyjän asiakkaita. Käytännössä asetus antaa toimitusvelvolliselle sähkön myyjälle täydellisen monopolin kuormien ohjauksen hyötyihin, koska kaikki kuormien ohjauksen hyödyt tulevat taselaskennassa pelkääntään sille riippumatta siitä, kuka kuormia ohjaisi. Muut myyjät eivät saa taseisiinsa mitään hyötyä mahdollisesta kuormien ohjauksesta.
- Suurempien kuin 3 x 63 A:n asiakkaiden osalta tätä estettä ei ole, koska niillä taselaskenta perustuu todelliseen mitattuun kulutukseen. Useimpien sähkölämmitteisten varaavalla lämmityksellä varustettujen pientalojen sulakekoko on tätä pienempi.
 - Uusi sähkömarkkina-asetus määrää, että tuntimitattujen yli 3 x 63 A:n asiakkaiden osalta taselaskennan tulee aina perustua todelliseen mitattuun tuntikulutukseen. Näiden asiakkaiden osalta asetus parantaa mahdollisuuksia hyötyä spot-hintaan perustuvista kuormien ohjauksista selkeyttämällä tilannetta.
- Jakeluverkkoyhtiöiden sähkön kulutusmittausten toteuttamisesta perimät kiinteät ja muuttuvat kustannukset sekä toteutustapavaatimukset olivat hyvin vaihtelevia ja kustannukset usein suuria. Hintaohjausta varten tarvitaan tuntimittaus sekä lisäksi reaaliaikainen tehotieto mittarista suoraan asiakkaalle.

- Koekohteissa jopa oma erillinen kulutusmittari olisi voinut tulla paljon halvemmaksi kuin tarvittavien tietojen saaminen verkkoyhtiöltä laskutusmittarista. Mittaukset ja niiden tiedonsiirto oli toteutettava kunkin verkkoyhtiön haluamalla tekniikalla, joka oli eri yhtiöillä täysin erilainen. Yhden verkkoyhtiön vaatimuksesta jouduttiin käyttämään teknisesti vanhentuneita ja asiakkaan kannalta hankalia ja kalliita ratkaisuja.
- Mittauksen toteutus ei myöskään usein vastannut ensimmäisillä kerroilla sitä, mitä asiakas ja sähkön myyjä hintaohjauksen toteuttamiseen tarvitsevat. Asentajien käynnit ja uusintakäynnit tulevat kalliiksi. Laskutusmittausten monopolista johtuen asiakas ei voi valita mittausten toteuttajaa silloinkaan, kun mittausspalvelun toteutuksessa ja kustannuksissa on ongelmia tai kun verkkoyhtiön mittausspalvelu pyrkii vaikeuttamaan ulkopuolisen myyjän tuloa jakelualueelle.
- Oikein toimivien ja hintaohjauksen tarpeet täyttävien kulutusmittausten saaminen sähköverkkoyhtiöltä voi siis viedä sähkön myyjältä tai sähkön käyttäjältä huomattavasti aikaa ja rahaa sekä vaatia moniin erilaisiin muiden osapuolten toteutustekniikoihin perehtymistä. Pelkästään tämä riittää viemään kannattavuuden mahdolliselta laajamittaiselta pienkohteiden hintaohjaukselta tai muulta kulutusmittauksiin perustuvalta liiketoiminnalta. Sähkömarkkinalainsäädäntö tai sitä valvovat viranomaiset eivät ole määritelleet sitä, mitä lain ja asetuksen sanonta mittauskustannusten kohtuullisuudesta käytännössä tarkoittaa.
- Sähkön jakeluverkkoyhtiöiden käytössä olevien mittaustietojen keräävien ja käsittelevien toimintojen ja tietojärjestelmien laatu lienee ollut vielä monesti varsin huono. Esimerkiksi [Gra 04] suosittelee norjalaisista laajoista kenttäkokeista saatujen huonon kokemusten perusteella parannuksia mittaroinnin ja kuormien ohjauksen teknologioihin. Epäluotettavuus ja riittämätön resoluutio ovat tehneet pienten kohteiden tuntimittaustietojen käsittelyn liian kalliiksi ja asiakaskohtaiset tasetiedot liian epätarkoiksi. Tämä lienee osasyynä myös kahteen ensiksi mainittuun esteeseen.
 - Monet mittarinlukujärjestelmävalmistajat ovat tosin parantaneet järjestelmiensä luotettavuutta huomattavasti, joten kyseinen ongelma on poistumassa sitä mukaa, kun järjestelmät korvautuvat paremmilla.
 - Tuntimittauksen laskutuksen ja taselaskennan resoluutio oli monissa projektin aikana käytössä olevissa järjestelmissä vain 1 kWh. Silloin on teholtaan vaihtelevan pienkohteen laskutuksen ja todellisen kulutuksen ajoituksen vastaavuus jo varsin huono ja laskutuksen epätarkkuus siksi suuri yksittäisen

kuluttajan näkökulmasta katsottuna. Sähkölämmityskohteiden ohjauspotentiaalin on arvioitu olevan noin 1–2 kW kohdetta kohti. Huomio kannattaa kuitenkin suunnata ainakin aluksi niihin kohteisiin, joissa ohjattavuutta on talvella noin 5–10 kW:n verran. Nämä edellyttäisivät laskutuksen ja taselaskennan resoluution olevan enintään noin 100 Wh.

- Myös puuttuvien tuntikulutuslukemien arviointi voi olla jossakin määrin ongelmallista hintaohjauksen kannalta. Jos hintapiikin aikaiset kulutustiedot puuttuvat, niin paikallinen verkkoyhtiö arvioi kulutuksen esimerkiksi tyyppikuormituskäyrän perusteella. Silloin hyöty hintaohjauksista meneekin alueen toimitusvelvolliselle sähkömyyjälle, jolla usein on sama omistaja kuin paikallisella verkkoyhtiöllä. Hintaohjausta harjoittavat myyjät puolestaan kärsisivät, koska taselaskennan taseet poikkeavat heidän ennustamistaan taseista. Myös hintaohjausasiakkaat menettäisivät ohjaustoimenpiteiden hyödyt. Mahdolliset mittaustoiminnan epäluotettavuudet ja läpinäkyvyyden puutteet voivat siis vähentää myyjien ja asiakkaiden kiinnostusta hintaohjaustuotteisiin.
- Sähkömarkkinoiden eriyttäminen pilkkoo kuormien ohjauksen hyödyt monille eri toimijoille. (järjestelmävastaava, eri sähkön myyjät, eri jakeluverkkoyhtiöt, sähkön käyttäjät,...). Neuvottelut kuormien ohjauksen hyötyjen ja kustannusten jaosta tulisivat usein liian kalliiksi. Tähän tulisi saada uusia malleja ja standardiratkaisuja
- Järjestelmien asennuskustannukset ja ylläpitokustannukset muodostavat kynnyksen hintaohjausten ja muiden etäpalvelujen toteutukselle. Kustannuksia olisi mahdollista varsin kustannustehokkaasti pienentää integroimalla enemmän toimintoja samoihin laitteisiin. Laitteisiin ja ohjelmistoihin on myös alkanut tulla asennusta nopeuttavia ja varmentavia piirteitä. Kustannuksia vähentäisi huomattavasti myös se, että kulutusmittarin ja paikallisen automaatiojärjestelmän välisen tiedonsiirron liitännät voitaisiin toteuttaa ilman verkkoyhtiön asentajan käyntiä kohteessa.
- Jakeluverkkoyhtiöt eivät projektissa hyväksyneet kulutusmittaustietojen lukua rakennusautomaation laajakaistayhteyksien kautta. Vaatimus kulutusmittareiden lukua varten hankittavista omista rinnakkaisista tietoliikenneyhteyksistä tuli turhan kalliiksi. Tulisi paljon halvemmaksi hoitaa samalla tietoliikenneyhteydellä useita eri mittauksia ja etäpalveluja. Tämä toki edellyttää sitä, että kyseinen mittaustietojen siirtoyhteys päästä päähän varmasti täyttää laskutusmittauksiin tarvittavat vaatimukset, jotka ovat melko vaatimattomat.
- Taloautomaatiojärjestelmien lämpötilan perussäädöissä on usein pahojakin puutteellisuuksia. Nopeaa hintaohjausta ei voi toteuttaa, jos säätöpiirit ovat liian hitaita ja värähteleviä huonon anturien asennuksen ja puutteellisen säätöpiirien virityksen takia.

- Koekohteissa havaitut aikaohjausten toimimattomuudet antavat viitteitä siitä, että muunkin pientaloautomaation tekniset ratkaisut saattavat olla yhtä epäluotettavia. Tällöin pientaloautomaation ylläpidosta voi muodostua sähkön myyjälle ja asiakkaalle ylimääräistä työtä.
- Useimmissa kohteissa asukkaat eivät ehdi kuin harvoin reagoimaan hintoihin kulutukseen vaikuttavilla toimenpiteillä. Vasteen tulisi siis olla pääasiassa automaattinen.
- Pohjoismaiden sähkömarkkinoilla sähkön hinnat ovat olleet verraten matalia ja vakaita. Hintapiikit ovat olleet harvinaisia. Toistaiseksi toteutuneiden hintojen perusteella arvioitaessa hintaohjauksen hyödyt jäävät melko pieniksi. Talvella 2005–2006 esiintyi jo muutamia varsin korkeita hintapiikkejä. Korkeinten hintapiikkien todennäköisyys on lisääntymässä, kun sähkön tuotantokapasiteetti kasvaa hitaammin kuin kysyntä ja kun sähkön tuotantorakenteen muutokset lisäävät ohjattavien resurssien tarvetta.
- Markkinahintaan sidotun tariffin käyttö perustuu siihen, että markkinoilla on olemassa puolueeton ja tasapuolinen referenssihintaa, joka kertoo yleisen sen hetken hintatason myös kauppapaikan ulkopuoliselle kaupalle. NordPoolin spotmarkkinoiden aluehinta on pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla toiminut tällaisena hintareferenssinä. Suomessa on viime aikoina ajoittain vähittäismyyty sähköä myös selvästi alle johdannaistuotteiden hintojen. Mahdollisesti lisääntyessään tämä ilmiö voi johtaa siihen, että spot-markkinahintaan sidottu tariffi muuttuu hinnaltaan arvaamattomaksi ja suhteessa muita kalliimmaksi, jolloin asiakkaat karttavat sitä.

Yleiseen sähköverkkoon liitetyn sähkön pientuotannon hallinnalla on samanlaisia mitoituksia, taselaskentaa ja laskutusta koskevia tarpeita kuin hintaohjauksella sekä lisäksi omia tarpeitaan. Edellä mainitut hintaohjauksen esteet ovat siis samalla esteitä sähkön pientuotannon yleistymiselle Suomessa.

Hintaohjauksen mahdollisuuksina voidaan nähdä mm. seuraavat seikat:

- Tekniikka sinänsä ei ole este hintaohjauksen toteuttamiselle; ongelma on lähinnä kustannuksissa hyötyihin verrattuna. Kustannustaso on kuitenkin myös laskemassa.
 - Projektissa Estera Oy kehitti halvan langattoman lämpötilanmittaus-järjestelmän liittämisen rakennuksen automaatiojärjestelmään. Sen ansiosta lämpötilan mittauksien toteutus on varsin edullista esimerkiksi sähkön kulutusmittauksien kustannuksiin verrattuna. Langattomien mittausjärjestelmien hintojen odotetaan laskevan ja niiden suorituskyvyn paranevan, kun massavalmistetut miniatyyrikokoiset langattomat anturit tulevat laajaan käyttöön. Mallintamiseen, säätöön ja todentamiseen tarvittavien lämpötilojen mittauskustannukset eivät ole enää este hintaohjaukselle.

- Hintaohjaukseen sopivien tuotteiden kehittäminen ei liene ongelma, sikäli kuin lain-säädäntö ei aseta esteitä.
 - Suomessa on jo muutamia sähkön myyjiä, jotka julkisesti tarjoavat pienku-luttajille spot-hintaan perustuvia tariffeja. Hintaohjaukseen soveltuvat näistä tosin vain ne, jotka välittävät tunneittaiset hintavaihtelut asiakkaalle. Sopi-vien tariffien saatavuus ja kilpailutettavuus eivät silti liene esteenä spot-hintaohjauksen laajamittaiselle käyttöönotolle, sillä sähkön myyjät voivat tarvittaessa helposti tuoda tarjolle tunneittain spot-hinnan mukaan vaihtelevia tariffituotteita.
- Hintaohjauksen lisäksi on muitakin syitä, miksi energian kulutusmittauksia tulisi nykyisestä tehostaa ja talojen energianhallintaa automatisoida. Energian säästö onnistuu paremmin, jos sen käyttäjällä on välitön tieto omasta kulutuksestaan. Tällöin ongelmien ja toimenpiteiden vaikutukset nähdään paljon nopeammin ja selvemmin, kuin esimerkiksi kuukauden tai vuoden vanhoja lukemia tarkastelemalla. Myös EU:n energian säästöön tähtäävässä direktiivissä asetetaan joitakin vaatimuksia energiankulutusmittauksille ja niiden käytettävyydelle. Koekohteissa tuli ilmi myös se, että joskus vasta tuntimittauksien tarkastelu paljasti ristissä olevat laskutusmit-tauskohteet. Kuluttajalla ei ollut sitä ennen ollut mitään käytännön mahdollisuutta havaita, että laskutus olikin perustunut esimerkiksi naapurin sähkönkulutukseen. Myös rakennusten energianhallinta-automaatio ja hyvin toimivat säätöpiirit auttavat säästämään energiaa ja samalla kuitenkin parantamaan asumismukavuutta.
- Järjestelmäkustannuksia voidaan jakaa myös muiden sähkön pienkuluttajille suunnat-tujen etäpalveluiden kanssa. Muun muassa edellä mainittujen energian käyttöä tehos-tavien palveluiden ohella yleistyvät turva-, valvonta- ja ohjauspalvelut ovat tällaisia.

Toistaiseksi on siis monia syitä, jotka yksinäänkin estävät hintaohjaukseen liittyvän liiketoiminnan kehittymisen. Syyt liittyvät toteutustekniikoihin ja -kustannuksiin, säh-kömarkkinoiden pelisääntöihin sekä liiketoimintamalleihin. Tarve saada sähkölämmi-teiset pientalot kysynnän jouston piiriin lisääntyy ja teknisen toteutuksen kustannukset laskevat. Pelisääntöjä ja alan suosituksia on syytä kiireesti kehittää niin, että ne eivät jää suurimmaksi esteeksi, kun muut esteet vähitellen poistuvat.

6.3 Projektin toteuttamiseen liittyvät esteet ja ongelmat

Projektin osapuolten kiinnostus pienkohteiden hintaohjaukseen laimeni projektin aikana seuraavista syistä:

- Sähkömarkkina-asetuksen yllättävä muutos 27.12.2004 vei jakeluverkkoyhtiöön nähden ulkopuoliselta sähkön myyjältä ja tämän asiakkailta kaikki mahdollisuudet hyötyä minkäänlaisesta kuormien ohjauksesta pienkohteissa eli kohteissa, joiden sulakekoko on enintään 3 x 63 A.
- Hintaohjauksen tarvitsemien sähkön kulutusmittaustietojen saaminen sekä taloautomaatioon että laskutukseen osoittautui odotettua paljon kalliimmaksi ja hankalammaksi sekä myyjälle että asiakkaalle. Yksi syy tähän oli jakeluverkkoyhtiöiden asettamien vaatimusten epäyhtenäisyys. Tämä lisäsi kaikkien osapuolten kustannuksia. Toinen syy näyttivät olleen mittausunopoli ja joissain tapauksissa sen kytkennät paikalliseen myyjään, joista johtuen verkkoyhtiöillä saattoi puuttua pakko ja aito halu palvella ulkopuolista myyjää ja tämän asiakkaita tarkoituksenmukaisesti ja kustannustehokkaasti. Toisaalta maissa, joissa mittaustoiminta on kilpailun alaista ja mittarien rajapinnat vakioituja, ovat mittaukset kyllä asiakkaalle paljon halvempia kuin Suomessa, mutta mittaroinnin kehittäminen ja parantaminen voi olla eri tavoin vaikeaa riippuen pelisääntöjen yksityiskohdista. Esimerkiksi Espanjassa uusien ominaisuuksien lisääminen on verraten hankalaa ja kallista, koska mittarikannan joukossa on esimerkiksi asiakkaiden omistamia mittareita. Englannissa mittaustoimintojen eriyttäminen kilpailluksi liiketoiminnaksi on puolestaan johtanut halpoihin ja joustamattomiin massamittarointiratkaisuihin, joita on vaikea kehittää vastaamaan uusia tarpeita. Etäluettavan mittaroinnin tilaa on kartoitettu viitteessä [Kär 06].
- Talojen lämpötilan säädöt ja ohjaukset olivat monessa kohteessa niin huonosti toteutettuja, että niitä korjaamatta ja virittämättä ei voi toteuttaa tarkkoja ja nopeita hintaohjauksia. Värähtelevät lämpötilan säätöpiirit ristikkäisvaikutuksineen haittaavat myös vasteiden analysointia.
- Useimmista pientaloista puuttuu vielä sellainen energianhallintaan liittyvä automaatio, jota hintaohjausautomaatiikat tarvitsevat.
- Pientaloissa pelkällä spot-hintaohjauksella ei ainakaan vielä olisi saavutettu niin isoja hyötyjä, että ne kattaisivat siitä myyjälle tai asiakkaalle aiheutuneet lisäkustannukset. Pelkästään kulutusmittaukseen liittyvät kuukausi- tai vuosimaksut ovat monilla verkkoyhtiöillä vielä nytkin suuremmat kuin automaattisella hintaohjauksella saavutettavissa olleet hyödyt olivat. Toisaalta kustannukset voivat olla jaettavissa muiden energiansäästöön liittyvien etäpalveluiden kanssa.

Näin ollen osapuolet eivät ainakaan vielä ole suunnitelleet projektille jatkohanketta.

7. Päätelmät ja suositukset

Pienkohteiden hintaohjauksen toteuttamiseen tarvittavat sähkömarkkinaliitännät, mallit ja optimointimenetelmät sekä lämpötilamittaukset osataan toteuttaa eivätkä ne rajoita toteutettavuutta varsinkaan sitten, kun pienkohteiden hintaohjauksen tärkeimmät eitekniset esteet on saatu poistetuksi. Muutkin tekniikkaan liittyvät esteet ovat poistettavissa, jos saadaan aikaan riittävän suuri ylikansallinen markkina-alue, jossa pelisäännöt ovat yhtenäiset ja avointa kilpailua suosivat.

Yhdeksi keskeiseksi haasteeksi jää se, miten moniin erilaisiin osapuoliin jaetuilla sähkömarkkinoilla voidaan toteuttaa yleisesti hyödyllisiä ja kokonaisuutena kannattavia infrastruktuuriluontoisia investointeja siten, että ne olisivat kaikille osapuolille kannattavia toteuttaa ja hyödyntää. Monet keskeiset toimijat ja toiminnot ovat kilpailun ulkopuolella olevia monopoleja, joiden intressit ja strategiat vaihtelevat sen mukaan, kuka ne omistaa. Kilpailua voi vääristää ja ratkaisujen kehitystä hidastaa se, että monopolitoimijat pyrkivät löytämään monopolituotteilleen lisäarvoja kilpailtujen palvelujen tuottamisesta. Toisaalta päällekkäiset investoinnit nostavat kustannustasoa ja siten vaikeuttavat palveluiden kehitystä. Pelisääntöjen ja niiden valvonnan merkitys on keskeinen ja haastava pienkohteiden ohjattavuuden saamisessa tavalla tai toisella markkinoille.

Suomen nykyisen tilanteen epäkohtia pienkohteiden hintaohjauksen kannalta tuli projektin kenttäkokeiden yhteydessä selkeästi esiin. Tämän projektin näkökulma on osin suppea, ja sen takia alla olevia ehdotuksia on aiheellista ennen mahdollista toteuttamista tarkastella laajemmistakin lähtökohdista.

Seuraavat toimenpiteet parantaisivat hintaohjauksen mahdollisuuksia Suomessa:

1. Sähkömarkkina-asetusta olisi hyvä muuttaa niin, että asiakas ja myyjä voisivat halutessaan valita, tehdäänkö 3 x 63 A:n ja pienempien tuntimitattujen kohteiden asiakkaiden taseselvitys kuormituskäyrän vai todellisen tuntikulutuksen mukaa. Ruotsissa tämä on mahdollista, joten muutos harmonisoisi käytäntöjä maiden välillä.
2. Sähkön kulutusmittarointiin liittyviä vaatimuksia tulisi yhtenäistää ja sisällyttää niihin myös kysyntäjouston ja hintaohjauksen edellyttämät toiminnot.
 - Olisi hyvä olla yhdet koko maan kattavat vaatimukset sille, millainen asiakkaan omistaman kulutusmittarin tulee olla. Verkkoyhtiökohtaiset vaatimukset tulevat myyjille ja asiakkaille vielä kalliimmiksi kuin verkkoyhtiöille.
 - Kaikille verkkoyhtiön asentamille kaukoluettaville mittareille olisi oltava minimivaatimukset, jotka ottavat huomioon hintaohjauksen tarpeet. Nyt vakava ongelma on se, että jotkut verkkoyhtiöt vieläkin asentavat sellaisia kaukoluettavia

- mittareita, joissa ei ole hintaohjaukseen tai jopa muuhunkaan kuormienohjaukseen tarvittavia liitännöitä. Samat vaatimukset ovat tarpeen myös monille energiansäästöpalveluille.
- Pitäisi kehittää teknisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat mittarin paikallisten tiedonsiirtoliitännöiden käyttöönoton ilman verkkoyhtiön sähköasentajan käyntiä kohteessa. Näin päästäisiin pienempiin kustannuksiin.
3. Mittauspalvelujen ja niihin liittyvien asennuspalvelujen hinnoittelua tulisi yhtenäistää ja jossakin määrin kohtuullistaa. Nyt hintaohjauksen hyödyt olisivat useimmissa tarkastelluissa pienkohteissa olleet pienemmät kuin pelkät siitä asiakkaalle aiheutuvat kulutusmittauksiin liittyvät lisäkustannukset, jotka koostuvat tuntimittaukseen siirtymisestä ja tosiaikaisesta tehotiedosta. Hinnoittelun merkitys tulee jatkossa kasvamaan myös automaattisten mittarinlukujärjestelmien yleistymisen vuoksi.
 4. Keskitetysti ohjattua kaksiaikaohjausta tulisi kehittää nykyistä joustavammaksi. Mahdollisten yöajan hintapiikkien aikana tulisi voida ohjata lämmitys pois päältä. Päiväsaikaa tulisi tarvittaessa voida ohjata varaavaa kuormaa päälle, jotta ohjauksilla ei siirretä kovilla pakkasilla lämmityskuormaa mahdollisen illan korkeimman hintahuipun ajaksi. Turhia aikaohjauksia olisi hyvä voida jättää tekemättä, jotta ohjauksilla ei haaskata suotta energiaa silloin, kun hintahuippuja ei ole.
 5. Pientalojen energianhallinta-automaatiota tulisi voimakkaasti kehittää erityisesti hintasignaalin huomioivan optimoinnin, säätöjen ja ohjausten virityksen ja luotettavuuden sekä lämpötila-antureiden asennustekniikan suhteen.
 6. Toimintatapoja ja liiketoimintamalleja tulisi kehittää, jotta pienten ja keskisuurten asiakkaiden ohjattavat sähkökuormat saataisiin tehokkaasti markkinoille
 - Tulisi tutkia mahdollisuuksia ja keinoja liittää suoraa sähkölämmityskuorman ohjausta kilpailtuihin sähkömarkkinoihin. Ensimmäisenä vaiheena tulisi jo olemassa olevat käyttämättöminä olevat kuormanohjausjärjestelmät saada takaisin käyttöön.
 - Tulisi kehittää uusia innovatiivisia liiketoimintamalleja, jotka ratkaisevat kuormienohjauksen kustannusten ja hyötyjen jakautumisen kannattavasti eriytettyjen sähkömarkkinoiden eri toimijoille. Nykyisin kokonaisuutena kannattavia investointeja jää käynnistämättä, koska tätä ongelmaa ei ole ratkaistu.
 - Aggregoitujen ohjattavien kuormien myymiseen takaisin sähkömarkkinoille (spot, elbas, säätösähkö) tulisi kehittää uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja.

8. Yhteenveto

Projektissa löydettiin runsaasti vakavia pienkohteiden hintaohjauksen esteitä. Menetelmä- ja laitekustannuksiin liittyvät esteet näyttävät olevan ratkaistavissa, kunhan markkina-alue on massatuotannolle ja tarvittavalle tuotekehitykselle riittävän laaja. Jopa tarvittavat optimointimenetelmät laitteistotarpeineen ovat jo toteutettavissa kustannuksin, jotka ovat pienkohteillekin siedettäviä.

Eräät esteet liittyvät joko suoraan tai välillisesti sähkömarkkinoiden lainsäädäntöön ja sen tulkintoihin. Erityisesti Suomessa pienkohteiden kuormituskäyriin perustuva tase-laskenta ja asiakkaalle verraten korkeat kulutusmittauksen kustannukset yhdistettynä verkkoyhtiöiden kirjajaan tekniikkaan ja palvelutasoon estävät hintaohjauksen yleistymistä. Hintaohjauksen huomioon ottavien yleisten mittarointivaatimusten puutteen lisäksi ongelmana on se, että jakeluverkkoyhtiöiden ei ole tarvinnut ottaa muiden osapuolten etuja ja mittarointitarpeita aidosti huomioon, koska niillä on mittarointimonopoli. Myös pienkohteiden rakennusautomaation yleisten puutteiden korjaaminen lisää usein liikaa hintaohjauksen toteuttamiskustannuksia. Kyseiset rakennusautomaation parannukset ja korjaukset voivat kyllä säästää merkittävästi energiaa ja parantaa asumismukavuutta, mutta ne ovat aivan liian työläitä hintaohjauksen ohessa ilmaiseksi toteutettavaksi.

Pienkohteiden hintaohjauksen hyödyt eivät vielä olleet riittävän isoja, jotta pelkästään sitä toimintoa varten kannattaisi tehdä erillisiä järjestelmiä. Yhteisiä investointeja ja yhteentoimivuutta tarvitaan kuitenkin myös esimerkiksi muihin energian säästöön, hallintaan ja kulutusmittauksiin liittyviin palveluihin. Lienee siis monin tavoin tehokkaampaa toteuttaa palvelukokonaisuuksia, joissa hintaohjaus on yksi palvelu muiden joukossa, kuin pelkästään yksittäistä etäpalvelua varten olevia järjestelmiä.

Mittauksista seurattiin sähkön käyttäjien reagoitua hintasignaaleihin. Korkeimpien hintapiikkien aikana ei yleensä ollut päällä suurikulutuksisia laitteita, kuten sähkösaunoja. Varmuutta ei kuitenkaan saatu siitä, missä määrin hintoihin oli todella reagoitu. Useimmat ihmiset eivät ehdi seurata hintoja ja olla paikalla toimenpiteitä tekemässä. Kyseisten koejärjestelyjen valmistelussa oli myös puutteita. Esimerkiksi hintasignaalit eivät tulleet kohteisiin riittävän nopeasti.

Muutamien koeobjektien karkea dynaaminen lämpötase mallinnettiin ja automaattisia hintaohjausmenetelmiä kehitettiin simuloinnein. Sekä optimointiin perustuva menetelmä että yksinkertaisiin heuristiikkoihin perustuva menetelmä kehitettiin toimiviksi. Tarpeita ja mahdollisuuksia menetelmien jatkokehitykselle kuitenkin jäi.

Simuloinneissa automaattinen hintaohjaus toi rivitaloaluoneistolle 16 talviviikon aikana (viikoilla 49/2005–12/2006) noin kaksiaikaohjaukseen verrattuna noin 50 € (n. 6–7 %

sähkölaskusta) hyödyn ja ohjaamattomaan tapaukseen verrattuna noin 90 € (n. 11 %) hyödyn. Ohjattavina olivat varaava lattialämmitys, suora sähkölämmitys ja käyttöveden lämmitys. Suomessa on yli 400 000 moniaikamittarilla varustettua sähkön pienkuluttajaa, ja lukumäärä on kasvussa automaattisten mittarinlukujärjestelmien yleistyessä. Kaikissa niissä lienee varaavaa lämmitystä, joten mahdollisia hinta-ohjauskohteita on paljon. Laajassa mitassa sovellettu hintaohjaus laskee ja tasaa sähkön spot-markkinoiden hintaa, joka puolestaan pienentää kohdetta kohti saavutettavaa hyötyä.

Lähdeluettelo

- [Bra 90] Braun, J. E. Reducing Energy Costs and Peak Electrical Demand Through Optimal Control of Building Thermal Storage. ASHRAE Transactions 1990, 96(2), s. 876–888.
- [Cir 95] Cirillo, N. C., Vold, P., Gabel, S., Flood, J. D. & Carmichael, L. Automated control of commercial and industrial facilities using real time pricing – a winning combination for electric utilities and their customers”. DA/DSM’95 Europe Conference Proceedings, November 21–23, 1995, Rome, Italy. Pennwell, Vol. I. S. 349–360.
- [Con 91] Constantopoulos, P., Schweppe, F. & Larson, R. ESTIA: A real-time consumer control scheme for space conditioning usage under spot electricity pricing. Computer Operations Research, 1991. Vol. 19, No. 8, s. 751–765.
- [Dar 89] Darynian, B., Bohn, R. E. & Tabors, R. D. Optimal demand-side response to electricity spot prices for storage type customers. IEEE Transactions on Power Systems 1989. Vol. 4, No. 3, August, s. 897–903.
- [Dar 91] Darynian, B., Bohn, R. E. & Tabors, R. D. Control of electric thermal storage under real time pricing. APSCOM 1991, International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, 5–8 November 1991, Vol. 1. S. 397–403.
- [Dar 91b] Darynian, B., Bohn, R. E. & Tabors, R. D. An Experiment in real time pricing for control of electric thermal storage systems. IEEE Transactions on Power Systems 1991. Vol. 6, No. 4, November, s. 1356–1365.
- [Dar 93] Darynian, B. & Bohn, R. E. Sizing of electric thermal storage under real time pricing. IEEE Transactions on Power Systems 1993. Vol. 8, No. 1, February, s. 35–43.
- [Dar 94] Darynian, B. & Norfolk, L. K. Minimum-cost control of HVAC systems under real time prices. Proceedings of the Third IEEE Conference on Control Applications, 24. Febr. 1994. Vol. 3. S. 1855–1860.
- [Flo 94] Flood, J., Carmichael, L., Sheldon, M. A. & Culp, C. Real time automated building control and real time pricing: an effective combination. Proceedings of the 4th International Symposium on Distribution Automation and Demand Side Management. Orlando, Florida, 17–20 January 1994. S. 604–611.

[Gra 04] Grande, O. S., Kärkkäinen, S., Kofod, C., Giraud, D. & Nordvik, H. EFFLOCOM Energy Efficiency and load curve impacts of commercial development in competitive markets. Summary report. 14 s. Saatavissa: <http://www.ffflocom.com>.

[Gra 06] Grande, O. S. R&D focus on Market Based Demand Response. DSM Spotlight, IEA-DSM programme, July 2006. S. 2 ja 5.

[Has 76] Hassdorf, L. Gradient Optimization and Nonlinear Control. John Wiley & Sons, 1976. 264 s.

[Haw 00] Hawley, R. Advanced control of energy consumption. Practical experience with predictive control, IEE Seminar on. (Ref. No 2000/23) 2000. S. 4/1–4/10.

[Hof 97] Hoffman, S., Renner, R., Drenker, S., Carmicheal, L. & Flood, J. Taking advantage of real-time pricing. IEEE Power Engineering Review, September 1997, Vol. 17, No. 9, s. 9–12.

[Kof 04] Kofod, C. Danish pilot project: demand response offered by households with direct electrical heating. In: Results from the EFFLOCOM project, edited by Kärkkäinen, S. EU-SAVE 132/01 EFFLOCOM report no: 7. 2004-6-30. S. 13–26.

[Kop 96] Koponen, P. The interaction of the utility and its customers in load control. PSCC. Proceedings of the Twelfth Power Systems Computation Conference. Dresden, 20–23 August 1996. Vol. II. Power System Computation Conference. Zurich 1996. S. 749–756.

[Kop 06] Koponen, P. Pientalojen varaavan sähkölämmityksen hintaohjauksen simuloitua hyödyt. Tutkimusraportti nro VTT-R-05475-06. VTT, 2006. 24s.

[KTM 04] Sähkömarkkina-asetus 518/1995 muutoksin 451/1997, 438/1998, 182/2004 ja 1174/2004. Löytyy verkkosivulta www.energiamarkkinavirasto.fi

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

[Mor 94] Morris, F. B., Braun, J. E. & Treado, S. J. Experimental and Simulated Performance of Optimal Control of Building Thermal Storage. ASHRAE Transactions 1994, 100(1), s. 402–414.

[Pih 05] Pihala, H., Farin, J. & Kärkkäinen, S. Sähkön kysyntäjouaston potentiaalikartoitus teollisuudessa. VTT Prosessit, Tutkimusraportti: PRO3/P3017/05. 2005. 29 s. + liitt. 5 s. http://www.ktm.fi/files/15631/Sahkon_kysyntajouaston_potentiaalikartoitus_teollisuudessa.pdf.

[Str 95] Strong, D. CELECT system trial results and ETHOS. A presentation at the European Forum 95 From Home Automation to Information Highways, Paris, 4–5 December 1995. 20 s.

[Vol 96] Vold, P., Carmichael, L. & Flood, J. D. Automated Control and Communications Technologies for Commercial and Industrial Customers in the US. DA/DSM'96 Europe Conference Proceedings, October 8–10, 1996, Vienna, Austria. Pennwell, Utrecht, the Netherlands, Vol. III. S. 385–398.

Liite A: IEA-DSM-yhteistyö

Hankkeeseen ”Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkön käytön hallinnan ja ohjauksen kehittäminen” kuului osana kansainvälinen yhteistyö osana IEA DSM Agreementin Task XI:ta, jonka aihe oli Time of Use Pricing and Energy Use for Demand Management Delivery. Task XI:n tulokset raportointiin kolmessa raportissa, jotka ovat:

- Task XI Subtask 2: Smaller Customer Energy Saving by End Use Monitoring and Feedback, May 2005. 74 s.
- Task XI Subtask 2: Time of Use Pricing for Demand Management Delivery, April 2005. 63 s.
- Task XI Subtask 3: Demand Side Bidding for Smaller Customers. September 2005. 61 s.

Nämä raportit löytyvät verkkosivuilta <http://dsm.iea.org/>.

Ohessa ovat näiden raporttien yhteenvedot.



IEA, DSM REPORT EXECUTIVE SUMMARY

Task XI Subtask 1 Smaller Customer Energy Saving by End Use Monitoring and Feedback

Background

Energy plays a central role in each of the everyday lives of residential and small business customers but our use of energy impacts our environment and contributes to global warming. Total energy consumption in the EU is approximately 20% higher than can be justified on purely economic grounds. Energy saving regulations and measures have been put in place in developed countries to assist the more effective use of energy in houses and small businesses. Savings are achieved from increasing the propensity of customer to purchase energy efficient end uses and also changing their behaviour so as to reduce thermostat settings and use hot water and lighting more wisely. One of the ways in which customer motivation to save energy can be developed is by identifying and presenting to customers, a breakdown of their individual end uses of energy, its cost and environmental impact (End Use Monitoring and Feedback, EUMF). In order to be effective, presentation of end use information needs to be made in ways which are not too intrusive for customers yet have a powerful impact at the right time.

Objectives

The objective of the study is to quantify work carried out in participating countries to provide energy end use feedback for smaller customers, how successful it has been, what further measures can be implemented and whether disaggregation and feedback have a viable role to play in current and future thinking for energy saving. It is also to quantify the degree of disaggregation and feedback needed to motivate end use behaviour changes and whether the feedback needs to be automatically implemented with customers having override possibilities.

Approach

The study has analysed work carried out and results of trials involving customer groups in order to quantify their responses to end use energy saving motivators. It has also assessed the impacts on different customer responses and energy saving of different levels of end use demand disaggregation and the way the information is presented.

Disaggregating energy end use into its constituent parts is difficult to carry out at low cost. Many techniques and methods have been analysed to assess their suitability as energy saving motivators.

Methods for applying EUMF as a cost effective and continuous methodology for motivating end use energy savings have been quantified using different levels of end use data disaggregation and presentation.

Results

Feeding back disaggregated energy end use information to smaller customers using a range of methodologies has been shown to motivate energy savings of the order of 10%. A survey in one country showed that 70% of smaller customers were prepared to make changes to save energy if they were advised how to do it and it involved little inconvenience. Monetary savings resulting from the application of EUMF to direct electric heating customers have been estimated to be worth 100 Euro per year per customer. Direct measurement of specific customer, end uses of energy on a continuous basis is probably too expensive for wide scale application to smaller customers. Estimates of the costs of face to face and Internet interviews with customers to collect data and feedback end use information and advice show this to be an attractive option. EUMF motivator messages have also been shown to encourage customers to replace energy inefficient end uses with efficient ones.

Implications

End use disaggregated energy data statistics which are available now for national populations in many countries should be added in simple form to smaller customer energy bills. This will help prepare customers for more detailed measures in future and start the education process of making customers more aware of end use energy costs and environmental impacts.

International Energy Agency Demand-Side
Management Programme
**Task XI: Time of Use Pricing and Energy Use for
Demand Management Delivery**

Operating Agent:
Richard Formby
EA Technology, Chester, United
Kingdom
Tel: 44(0)151 347 2308
richard.formby@eatechnology.com



IEA, DSM REPORT EXECUTIVE SUMMARY

Task XI Subtask 2

Time of Use Pricing for Demand Management Delivery

Background

End uses of energy and smaller customer behaviour change in response to stimuli are of particular importance in achieving energy savings and increasing supply system security. If end use demand profile shape for smaller customers can be changed in response to financial and other stimuli, it can be used to reduce peak generation capacity and spinning reserve and enable demand participation in balancing and reserve markets. With the growth of embedded generation, there are also strong financial motivators for local areas to become "self balancing" in terms of local demand and local generation. Time of Use (TOU) electricity pricing is one mechanism for encouraging energy demand profile shape change. This is already a normal pricing, billing and settlement mechanism for larger customers. It is not generally used for smaller customers where energy use "settlement" costs among suppliers is achieved using "profiles". Single rate and sometimes two rate tariff metering is generally used for smaller customer billing.

The demand elasticity of smaller customer end uses of energy is largely unknown, particularly the financial incentives needed to mobilise specific end use demand changes. It is probable that specific end use profiles can be modified with the right financial incentives. However, the scale of the required incentives, the specific end uses which can be influenced and the size of the resulting demand changes will be different for different households. This report quantifies the potential, value and cost of modifying smaller customer end use demands.

Objectives

Subtask 2 has the objective of quantifying TOU pricing and remote switching as methodologies for motivating and delivering obtrusive as well as unobtrusive changes in specific energy end uses and embedded generation. It also has the objective of evaluating the costs and benefits of implementing tariff, dynamic and real time, TOU pricing systems.

Approach

The approach taken relates together the three main types of TOU pricing; Tariff, Dynamic and Real Time, with particular concentration on whether customers are allowed to manually override remote demand switching commands. If no override option is allowed, then single rate tariff metering may be used for billing. Individual end use demand types are considered for their potential to be remotely switched and their possible use inhibited for infrequent, short periods. Notice times required by customers in order to accept remotely switched demand changes as well as reward mechanisms are considered. Quantification of the benefits of Dynamic TOU pricing, in terms of reducing peak demands, and estimation of the costs of implementing individual end use switching is carried out. Results of field trials of TOU pricing carried out in participating countries are presented.

Results

The study has estimated the financial viability of implementing different TOU pricing regimes by equating reliable and flexible demand shift, including operation of embedded generation, with scheduled generation, transmission and distribution network construction costs. In order to do this, the study estimated the costs of implementing Dynamic TOU pricing regimes per kw of demand shift as well as the costs of new supply side construction. Based on comparison of these estimates an annual payment to customers of €234 could be available as an incentive for them to participate in demand shifting regimes. This figure is based on shifting demand for a mix of both electrically and none electrically heated households.

If the option to override automatic demand shift signals is not provided for customers, then single rate metering is possible. However, customers are likely to require greater financial incentives to participate in some demand shifting, particularly appliance controls, if an override option is not provided.

Other than direct space and water heating demand shift carried out by reducing thermostats, the study has identified air conditioning, lighting and some domestic appliances as potential end uses, which could be moved off-peak. Customer small scale micro generation also has an important role to play in generating outside normal heat led times, and made responsive to TOU pricing.

The study identified thermostat reductions of direct space and water heating and air conditioning for a few hours per year are able to make significant contributions to reducing system peak demands. It also identified that small scale micro generation could easily be controlled on the basis of TOU pricing to reduce unscheduled peak demands. Results of Field Trials of dynamic pricing identified that automatic intervention is preferred by customers for shifting demand rather than requiring manual actions.

It may also be possible to inhibit demand for short times for each customer but apply it to a large population in sequence to achieve large overall demand reductions for long periods.

Implications

The study identified Tariff, Dynamic and Real Time TOU pricing as delivering valuable demand reductions depending on the end use demands being controlled. The important factors in this regard are that the demand shift is reliable and predictable. The more available the demand shift is, the more valuable it is as an alternative to scheduled generation. Consequently Real Time pricing with automatic demand reduction is the most valuable because it can be used to deal with supply shortages. However, it is likely to be the most expensive to implement. Combinations of Tariff, Dynamic and Real Time pricing can be considered where different demands in the same household are managed by each mechanism. This is particularly the case where no customer override is allowed and single rate metering can be used. Customer acceptance of infrequent and short duration end use inhibits requires evaluation.

International Energy Agency Demand-Side
Management Programme
Task XI: Time of Use Pricing and Energy Use for
Demand Management Delivery

Operating Agent:
Richard Formby
EA Technology, Chester, United Kingdom
Tel: 44(0)151 347 2308
richard.formby@eatechnology.com



IEA, DSM REPORT EXECUTIVE SUMMARY

Task XI Subtask 3

Demand Side Bidding for Smaller Customers

Background

Demand side bidding (DSB) is a mechanism enabling the demand side of electricity markets to participate in energy trading. Many countries are concerned that liberalised markets may not deliver adequate generation and network capacity. Greater participation of the demand side is a very important mechanism for addressing these issues and improving overall balancing of markets.

The domestic sector consumes between 20% and 40% of electricity in developed countries and is attractive for consideration of DSB. This report analyses and quantifies the potential and value of smaller customer DSB. Smaller customers willing to change demand can trade this activity with the help of demand Aggregators and be rewarded through reduced price for electricity or a direct payment. The process of DSB can provide benefits to System Operators, Suppliers and Customers. Changes in demand can result from customers actually reducing energy use, modifying times at which demand is taken or operating embedded generation. Verifying that individual customer demand has actually "turned down" in response to requests by System Operators or Suppliers uses time of use metering for larger customers. Smaller customers require other arrangements. Dynamic changes to smaller customer demand profiles impact "profile" settlement systems, and may require more complex arrangements.

Objectives

Demand Side Bidding is a process for formulating and delivering demand changes at customer premises in order to benefit System Operators, Suppliers and customers. It allows demand changes to be predicted, made to happen on a reliable basis and be built into schedules as alternatives to generation in meeting system demand. This study report addresses the feasibility and viability of DSB for smaller customers.

Approach	Mechanisms for enabling the demand side to participate in energy markets have been developed for larger customers in many countries. Customers participating in DSB are rewarded for making demand "available" and for implementing "turndown" when required. These actions require validation in order to be rewarded. The study has analysed requirements and mechanisms for validation of blocks of smaller customer demands and possible impacts of dynamic demand profiles on settlement systems. Analysis has been carried out into potential end use demands which could be aggregated and made available by customers. Consideration has also been given to payments made for demand "turndown" by smaller customers and possible costs of implementing automatic systems.
Results	In order to be effective, predictable and reliable, automatic demand changes are required by System Operators and Suppliers. The results of this study show that in principle, DSB for smaller customers could be implemented using available communication technology. However, more cost effective solutions are needed to enable bidding small demands to be viable in wide scale markets. Smaller customer demands between 0.5kW and 3kW per customer have been shown to be potentially "available" for aggregation. Targeting high demand, smaller customers using electric space heating and cooling, water heating and embedded generation is the most attractive starting point for DSB cost effectiveness. Refrigeration and lighting are also shown to be attractive targets for DSB implementation.
Implications	<p>This study has shown that in principle, DSB for aggregated smaller customer demands is technically feasible and would contribute significantly to system management. However, a number of areas of further study have been identified. Progress in these areas will assist in moving DSB for smaller customers closer to reality. These areas are :-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quantify the extent to which smaller customers are prepared to bid specific end use demands and the motivators needed. • Develop cost effective mechanisms and processes for aggregating smaller customer demand, validating demand "available" and validating demand "turn down". • Quantify the impact of smaller customer, dynamic profiles on "profile" settlements systems.

International Energy Agency Demand-Side
Management Programme
Task XI: Time of Use Pricing and Energy Use for
Demand Management Delivery

Operating Agent:
Richard Formby
EA Technology, Chester, United Kingdom
Tel: 44(0)151 347 2308
richard.formby@eatechnology.com

Tekijä(t) Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Farin, Juho & Pihala, Hannu			
Nimeke Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus Loppuraportti			
Tiivistelmä Hintajousto on välttämätöntä, jotta sähkömarkkinat toimivat ja kykenevät omalta osaltaan ratkaisemaan sähköjärjestelmä tehtasapainon. Kysynnän jousto voi olla edullinen vaihtoehto nopeasti ohjattavalle sähkön tuotannolle, jonka käyttöaika on yleensä lyhyt ja investoinnit huomattavat. Säädetävää vesivoimaa on rajallisesti ja kaasuturbiinien hyötysuhde säätökäytössä on huono. Teollisuuden suurten kuormien ohjauspotentialista pääosa on jo käytössä, sillä osa siitä on hintajouston piirissä ja järjestelmävastaava on sopinut osan käytöstä häiriötilanteita varten. Mahdollisuuksia nopean kysynnän jouston lisäämiseen on etupäässä pienemmissä kohteissa, erityisesti sähkölämmityskohteissa. Tutkittiin koekohteiden avulla niitä mahdollisuuksia ja esteitä joita kohdataan, kun pienasiakkaiden ohjattavat kuormat pyritään saamaan reagoimaan sähkön spot-markkinahintojen nopeisiin vaihteluihin. Sähkömarkkinoiden avaaminen kilpailulle ja siihen liittyvä toimintojen eriyttäminen sekä vertikaalisen integraation purku ovat ainakin toistaiseksi vaikeuttaneet pienasiakkaiden ohjattavien resurssien, kuten ohjattavien kuormien, kytke- mistä sähkömarkkinoihin. Tässä raportissa kerrotaan projektin lähtökohdat, havaitut hintajouston esteet ja mahdollisuudet sekä projektissa saavutetut tulokset. Niihin kuuluu myös menetelmiä automaattisen hintajouston toteamiseksi ja hyötyjen arvioimiseksi simuloinnein. Sähkön pienasiakkaiden hintajouston esteiden poistamiseen tähtääviä parannuksia ehdotetaan. Varaava sähkölämmitys sisältää huomattavasti nopeaa ohjauskapasiteettia, jota nykyisin hyödynnetään lähinnä vain kiinteäaikaisilla kaksi- tai kolmiaikatariffeilla. Sähkömarkkinoilla tarvittaisiin nyt kuitenkin nopeasti tilanteen mukaan ohjattavia resursseja. Tärkeimmiksi pienkohteiden hintaohjauksen esteiksi on havaittu lainsäädäntö, sähkönjakeluverkkoyhtiön toteuttamien kulutusmittausten ja niiden rakennusautomaatioliitännän kustannukset asiakkaalle sekä pienkohteiden rakennusautomaation ja lämpötilansäätöjen puutteet.			
Avainsanat power demand, demand response, power consumption, electric heating, small houses, electricity markets, pricing policy, real-time pricing, market prices, barriers, modelling, simulation			
ISBN 951-38-6884-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Projektinnumero 163
Julkaisuaika Marraskuu 2006	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 66 s. + liitt. 8 s.	Hinta -
Projektin nimi Markkinahintasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkön käytön ohjaus		Toimeksiantaja(t) Tekes – teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus, Fingrid Oyj, Sähköenergialiitto Sener, Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry, Turku Energia ja VTT	
Yhteystiedot VTT Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT Puh. vaihde 020 722 111 Faksi 020 722 7026		Myynti VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Farin, Juho & Pihala, Hannu			
Title Control of small customer electricity demand with spot-market price signals Final report			
Abstract The need for demand response is increasing in the electricity market in Finland. Demand response can be a cost efficient and energy saving alternative to controllable power generation. Controllable hydropower resources may be limited or behind transmission bottlenecks. Providing controllability with fossil fuel based power plants, such as gas turbines, is rather expensive and increases energy losses and emissions. In Finland most of the big industrial controllable loads are either responding to electricity market prices or reserved for emergency control purposes. Thus the main potential to increase the price flexibility of demand is in smaller electricity users and especially in electrical heating. The possibilities and barriers of applying real time spot-price control to small customers were studied in this project. The opening of the competitive electricity market and associated unbundling of businesses have at least so far made it difficult to connect small controllable resources to the electricity market. This report explains the background of the project, identified barriers and potential for price response and the results achieved. The results include methods for automating the price response either by optimisation and heuristics. Actions to remove the barriers are suggested. There is significant controllable potential in storing electrical space heating. Now that capacity is used only in fixed multiple time zone tariffs although situation dependent dynamic response is mostly needed. The main barriers identified in Finland were 1) electricity market legislation concerning small customer settlement, 2) high cost of needed consumption metering and its building automation connection, and 3) the lack of adequate, well functioning and reliable energy management automation for buildings.			
Keywords power demand, demand response, power consumption, electric heating, small houses, electricity markets, pricing policy, real-time pricing, market prices, barriers, modelling, simulation			
ISBN 951-38-6884-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Project number 163
Date November 2006	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 66 p. + app. 8 p.	Price -
Name of project Control of small customer electrical loads using market price signals		Commissioned by Tekes – Finnish Funding Agency for Technology and Innovation, Fingrid Oyj, Sähköenergioliitto Sener, Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry, Turku Energia and VTT	
Contact VTT Technical Research Centre of Finland Biologinkuja 7, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 111 Fax +358 20 722 7026		Sold by VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Sähkön spot-markkinoiden hintoihin perustuvaa pienkohteiden sähkökuormien ohjausta tutkittiin kenttäkokein ja simuloinnein. Kenttäkokeiden avulla mallinnettiin kohteiden dynaamiset energiataseet, joiden pohjalta simulointien avulla kehitettiin automaattisen hintaohjauksen menetelmiä ja arvioitiin saavutettavissa olevia hyötyjä. Havaittiin, että pienkohteiden hintaohjauksen toteuttamiseen tarvittavat sähkömarkkinaliitännät, mallit ja optimointimenetelmät sekä lämpötilamittaukset osataan toteuttaa ja tärkeimmät esteet ovat muualla. Tärkeimmät esteet liittyvät toisaalta Suomen sähkömarkkinoiden pelisääntöihin ja toimintatapoihin, erityisesti pienkohteiden taselaskentaan ja mittauspalveluihin liittyviin ja toisaalta pientalojen energianhallinta-automaation puuttumiseen tai puutteisiin.

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374
