

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamat energia- tehokkuutta tukevat toiminnot ja niiden kannattavuus

Työn Tarkastajat: Professori Partanen Jarmo
 Professori Samuli Honkapuro

Työn ohjaaja: Professori Samuli Honkapuro

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen Tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Petri Valtonen

Interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamat energiatehokkuutta tukevat toiminnot ja niiden kannattavuus

Diplomityö

2009

131 sivua, 23 kuvaa ja 27 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Samuli Honkapuro ja Professori Jarmo Partanen

Hakusanat: AMR, PLC, energiatehokkuus, asiakasrajapinta

Automaattisen mittarinluvun yleistymisen ja asiakkaan verkkoliitynnässä käytettävän tekniikan kehittyminen luovat pohjan uudentyyppisen interaktiivisen asiakasrajapinnan synnylle. Se voi osaltaan mahdollistaa asiakkaan entistä joustavamman sähköverkkoon liittymän sekä nykyistä reaaliaikaisemmat ja tarkemmat mittaukset. Näiden pohjalle on mahdollista kehittää erilaisia energiatehokkuutta tukevia toimintoja ja niihin perustuvia palveluita.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamia energiatehokkuutta tukevia toimintoja. Lupaavimpia toimintoja, niiden kannattavuutta ja potentiaalia energiatehokkuuden parantamisessa analysoidaan tarkemmin. Lisäksi tarkastellaan niihin tarvittavaa tekniikkaa, mittaustietoja ja tiedonsiirtoa.

Nykyinen tekniikka mahdollistaa useiden erilaisten energiatehokkuutta tukevien toimintojen toteuttamisen. Tässä työssä käsiteltiin tarkemmin energiayhtiön AMR-pohjaista tasehallintaa ja sähkön pienkuluttajien hintaohjausta. AMR-pohjaisen tasehallinnan havaittiin olevan oikein kohdennettuna kannattavaa. Sähkön hintaohjaus voi laajassa mitta-kaavassa toteutettuna olla kannattavaa, mutta yksittäiskohteissa sen toteutuksen kustannukset ovat liian suuret. Suurimpia ongelmia energiatehokkuutta tukevien toimintojen toteutuksen kannalta muodostavat usein kiinteät kustannukset sekä yleisten rajapintavaatimusten ja toimintamallien puute. Tuotteiden standardointi, sarjatuotanto sekä tekniikan kehittyminen voivat mahdollistaa kiinteiden kustannusten huomattavan pienenemisen ja tätä kautta toimintojen kustannustehokkuuden paranemisen. Kehittämällä uusia yhteisiä toimintamalleja ja tuotteita voidaan käytettävissä olevaa tekniikkaa hyödyntää tehokkaammin. Myös uudet näköpiirissä olevat nopeammat ja luotettavammat tiedonsiirtotekniikat voivat mahdollistaa reaaliaikaisemmat mittaustietojen ja signaalien välitykset, mikä usein parantaa toimintojen tehokkuutta ja kannattavuutta.

Abstract

Lappeenranta University of Technology

Faculty of Technology

Degree Programme in Electrical Engineering

Petri Valtonen

Interactive customer gateway in improving the energy efficiency – consideration of new functions and their profitability

Master's thesis

2009

131 pages, 23 figures and 27 tables

Examiners: Professor Samuli Honkapuro and Professor Jarmo Partanen

Keywords: : AMR, PLC, energy efficiency, customer interface

The generalizing of Automatic Meter Reading (AMR) and the development of technology used in customer's interface make brand new Interactive Customer Interface (ICI) possible. It makes more flexible network interface and real time measurements possible for customers. Based on these, it is possible to develop new functions and services which make the improvement of energy efficiency possible.

The aim of this thesis is to examine energy efficiency-enabling functions which interactive customer interface makes possible. The most promising functions, their profitability, and potential in improving energy efficiency are analyzed more specifically. The technology, measurement data and data transfer needed for these functions are also considered.

Current technology makes possible many different kinds of functions which help to improve energy efficiency. In this thesis, the energy company's AMR-based balance control and electricity small consumer's price control are the mainly considered functions. AMR-based balance control may be profitable if it is properly allocated. Electricity price control can be profitable when it is realized on a large scale, but in the individual targets the expenses of realization are too high. The biggest problems in the realization of energy-efficiency enabling functions are usually fixed costs and lack of general interface requirements and operations models. Product standardization, mass production and the development of technology may enable a significant decrease in fixed costs and in this way improve the cost efficiency of the functions. The development of new common operations models and products may help to take greater advantage of the current technology. Also, the new, faster and more reliable data transfer technologies may enable more real time measurement data and signal transfer which often improve the efficiency and profitability of the functions.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston sähkötekniikan osastolla. Työ liittyy tutkimusprojekteihin ”Interaktiivinen asiakasliityntä (interactive customer gateway) ja sen hyödyntäminen sähköjärjestelmän hallinnassa ja energiatehokkuuteen kannustavissa palveluissa (INCA)” sekä ”Energiatehokkuuden kehittäminen energiayhtiöiden toimin (ENETE)”.

Haluan kiittää työn ohjaajia ja tarkastajia professori Jarmo Partasta ja professori Samuli Honkapuroa asiantuntevasta opastuksesta. Lisäksi haluan kiittää haastattelemani ihmisiä sekä muita ihmisiä jotka ovat auttaneet minua diplomityöni eri vaiheissa.

Suuret kiitokset kuuluvat myös kotiväelleni, jotka ovat kannustaneet ja auttaneet minua opiskelujeni eri vaiheessa niin henkisesti kuin taloudellisesti. Lopuksi haluan kiittää avo-
puolisoani Elinaa, joka on jaksanut ymmärtää ja kannustaa minua opiskelujeni vaikeim-
pinakin aikoina.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|-----------|
| SISÄLLYSLUETTELO | 1 |
| KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT | 3 |
| 1 JOHDANTO | 5 |
| 2 INTERAKTIIVINEN VERKKORAJAPINTA | 6 |
| 2.1 Interaktiivisen verkkorajapinnan rakenne | 7 |
| 2.2 Interaktiivinen verkkorajapinta eri sähkömarkkinoiden toimijoiden näkökulmasta | 8 |
| 2.2.1 Jakeluverkkoyhtiö..... | 8 |
| 2.2.2 Siirtoverkonhaltijat ja järjestelmävastaava..... | 12 |
| 2.2.3 Energiayhtiöt..... | 13 |
| 2.2.4 Sähkön pienkuluttaja | 15 |
| 2.2.5 Muut toimijat..... | 15 |
| 3 ASIAKKAAN VERKKOLIITYNTÄ JA MITTAUS-JÄRJESTELMÄ | 17 |
| 3.1 Joustava asiakasliityntä | 17 |
| 3.2 Käyttöliittymä | 19 |
| 3.3 Integroidut ominaisuudet | 19 |
| 3.4 Älykäs mittausjärjestelmä | 20 |
| 3.5 Mittausjärjestelmän laitteisto | 22 |
| 3.6 Rajapintavaatimukset | 24 |
| 3.7 Valtioneuvoston mittausasetus | 26 |
| 3.8 Mittaustiedon hallinta | 28 |
| 4 AMR-TIEDONSIIRTO | 29 |
| 4.1 Yleisimmät tiedonsiirtoratkaisut | 29 |
| 4.2 Tiedonsiirtoarkkitehtuurit | 30 |
| 4.3 PLC-tekniikka | 31 |
| 4.3.1 PLC-tiedonsiirto Genelec taajuuksilla | 34 |
| 4.3.2 PLC-kommunikointi..... | 36 |
| 4.3.3 Modbus tiedonsiirtoprotokolla..... | 39 |
| 4.3.4 LonWorks-tiedonsiirtoväylä ja LonTalk-protokolla..... | 40 |
| 4.3.5 Maxim..... | 41 |
| 4.4 GPRS-tekniikka | 42 |
| 4.4.1 GPRS verkon toimintaan ja mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä | 44 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.5 | Tiedonsiirron tarpeita..... | 46 |
| 4.5.1 | <i>AMR-järjestelmille ja mittareiden luennalle esitettyjä vaatimuksia.....</i> | 46 |
| 4.5.2 | <i>Mittaustietojen etäluennan asettamat vaatimukset tiedonsiirtoyhteyksille.....</i> | 48 |
| 4.5.3 | <i>Eri mittaustietojen etäluentaan tarvittavat tiedonsiirtokapasiteetit.....</i> | 51 |
| 4.6 | PLC-tekniikan soveltuvuus erilaisten mittaustietojen tiedonsiirtoon..... | 54 |
| 4.7 | GPRS-tekniikan soveltuvuus erilaisten mittaustietojen siirtoon..... | 60 |
| 4.7.1 | <i>Case 1, AMR-tiedonsiirron toteutus maaseudulla ja kaupungissa GPRS-tekniikalla.....</i> | 61 |
| 4.8 | Tiedonsiirtokustannukset..... | 65 |
| 5 | ENERGIA TEHOKKUUTTA TUKEVIA TOIMINTOJA..... | 69 |
| 5.1 | Kuormanohjaus..... | 70 |
| 5.2 | Kysyntäjousto ja hintaohjaus..... | 73 |
| 5.2.1 | <i>Sähkömarkkinoiden Spot-hintoihin perustuva hintaohjaus.....</i> | 76 |
| 5.2.2 | <i>Hintaohjauksen vaikutukset sähkömarkkinoiden toimijoihin.....</i> | 77 |
| 5.3 | Hajautettu tuotanto ja energiavarastot..... | 78 |
| 5.3.1 | <i>Sähköautot.....</i> | 79 |
| 5.3.2 | <i>Hajautettu sähköntuotanto.....</i> | 82 |
| 6 | TOIMINTOJEN KANNATTAVUUS JA KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS..... | 85 |
| 6.1 | Energiayhtiön AMR-pohjainen tasehallinta..... | 85 |
| 6.1.1 | <i>Energiayhtiön tasehallinta.....</i> | 85 |
| 6.1.2 | <i>Kulutusennusteen tarkentaminen reaaliaikaisilla energiankulutustiedoilla.....</i> | 88 |
| 6.1.3 | <i>Esimerkkienergiayhtiön tasevirheen tarkastelua.....</i> | 90 |
| 6.1.4 | <i>Energiayhtiön tasehallinnan tarkentaminen AMR-mittauksilla.....</i> | 91 |
| 6.1.5 | <i>Case 2, Jatkuva AMR-pohjainen tasehallinta.....</i> | 92 |
| 6.1.6 | <i>Case 3. Kohdistettu AMR-pohjainen tasehallinta.....</i> | 96 |
| 6.1.7 | <i>Yhteenveto AMR-pohjaisesta tasehallinnasta.....</i> | 100 |
| 6.2 | Sähkön hintaohjaustoiminnot..... | 102 |
| 6.2.1 | <i>Case 4, Heat – hanke.....</i> | 103 |
| 6.2.2 | <i>Case 5, Markkinahintasignaaliin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus.....</i> | 105 |
| 6.2.3 | <i>Laskelmia hintaohjauksella saavutettavista säästöistä.....</i> | 107 |
| 6.2.4 | <i>Case 6. Sähköautojen laajamittaisen leviämisen hyödyntämismahdollisuudet hintaohjattavana kapasiteettina.....</i> | 111 |
| 6.2.5 | <i>Yhteenveto hintaohjaustoiminnoista.....</i> | 113 |
| 7 | YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 121 |
| | LÄHDELUETTELO..... | 125 |

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|------|--|
| 2G | 2 nd Generation, matkapuhelinten toinen sukupolvi |
| 3G | 3 rd Generation, matkapuhelinten kolmas sukupolvi |
| 4G | 4 th Generation, matkapuhelinten neljäs sukupolvi |
| AMM | Automated Meter Management, automaattinen mittarin hallinta |
| AMR | Automatic Meter Reading, automaattinen mittarin luenta |
| CSMA | Carrier Sense Multiple Access, kanavanvaraustekniikka |
| DG | Distributed Generation, hajautettu tuotanto |
| DES | Data Encryption Standard, datan salaustandardi |
| ERDF | Electricite Reseau Distribution France |
| EV | Electric Vehicle, sähköauto |
| FEC | Forward Error Correction, virhekorjausmenetelmä |
| GPRS | General Packet Radio Service, pakettikytkentäinen radioyhteys |
| CRC | Cyclic Redundancy Check, virhekorjausalgoritmi |
| GSM | Global System for Mobile communications, toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä |
| HEV | Hybrid Electric Vehicle, hybridi |
| ICI | Interactive Customer Interface, interaktiivinen asiakasrajapinta |
| IP | Internet Protocol, verkkoprotokolla |
| ID | Identification, tunnistus |
| JVH | Jakeluverkon haltija |
| LON | Local Operating Network, yleiskäyttöinen kenttäväyläratkaisu |
| MAPE | Mean Absolute Percentage Error, keskimääräinen suhteellinen virhe |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing |
| PHEV | Plug-in Hybrid Electric Vehicle, ladattava hybridi |
| PJ | Pienjännite |
| PJK | Pikajälleenkytkentä |
| PLC | Power Line Communication, sähköverkkotiedonsiirto |
| SOC | State Of Charge, lataustaso |
| SVH | Siirtoverkon haltija |
| TCP | Transmission Control Protocol, kuljetusprotokolla |

| | |
|----------|---------------------------------------|
| VKO | Verkkokäskyohjaus |
| VPP | Virtual Power Plant, virtuaalivoimala |
| <i>I</i> | virta |
| <i>P</i> | teho |
| <i>Q</i> | loisteho |
| <i>U</i> | jännite |

1 JOHDANTO

Älykkään mittaroinnin, kaksisuuntaisen tiedonsiirron sekä tehoelektroniikan yleistymisen asiakkaiden verkkoliitynnässä mahdollistaa täysin uudentyyppisiä palveluita. Lisäksi energiatehokkuusvaatimusten kasvaminen luo yleisesti kannusteita kehittää energiansäästöä tukevia palveluita. Erityisesti sähkönmyyjän intresseissä on löytää uusia liiketoimintamahdollisuuksia energian kulutuksen pienentyessä.

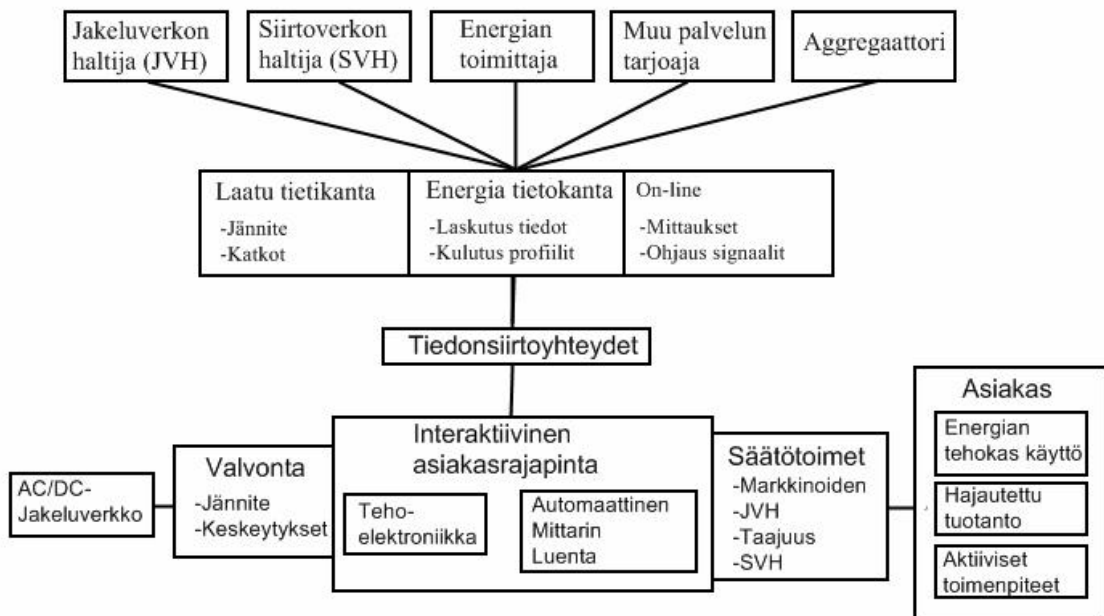
Tämän diplomityön tarkoituksena on kartoittaa mahdollisia uusia interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamia toimintoja ja tutkia niiden kannattavuutta. Työssä painotutaan tutkimaan asiakasrajapinnan mahdollistamia toimintoja kuten sähkönkulutuksen hintaohjauksen ja energiayhtiön tasehallinnan toteutusta entistä reaaliaikaisempien energiatietojen perusteella, eikä niinkään verkkotason toimintoja kuten vaihe- tai nollajohtimen katkeamisen havainnointia. Työssä selvitetään tutkittavien toimintojen tekniikalle asettamia vaatimuksia, niistä aiheutuvia kustannuksia ja niiden potentiaalia energiansäästön näkökulmasta.

Aluksi työssä käsitellään interaktiivista verkkorajapintaa ja sen mahdollistamia toimintoja. Sen jälkeen perehdytään kaukoluettaviin energiamittareihin ja älykkäisiin mittausjärjestelmiin, sekä nykyisiin tiedonsiirtojärjestelmiin, jotta saadaan yleiskuva siitä millaisia toimintoja nykyinen tekniikka ja interaktiivinen verkkorajapinta mahdollistavat. Lopuksi tutkitaan tarkemmin eräiden energiatehokkuutta tukevien toimintojen hyödyntämispotentiaalia nyt ja tulevaisuudessa.

Diplomityö liittyy tutkimusprojekteihin ”*Interaktiivinen asiakasliityntä (interactive customer gateway) ja sen hyödyntäminen sähköjärjestelmän hallinnassa ja energiatehokkuuteen kannustavissa palveluissa (INCA)*” sekä ”*Energiatehokkuuden kehittäminen energiayhtiöiden toimin (ENETE)*”, joissa on LTY:n lisäksi mukana Tampereen teknillinen yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Kuopion yliopisto sekä VTT.

2 INTERAKTIIVINEN VERKKORAJAPINTA

Energiatehokkuusvaatimukset, hajautetun sähköntuotannon lisääntyminen sekä sähkö- ja verkkoyhtiöiden toiminnan tehostamispyrkimykset asettavat entistä suurempia odotuksia ja vaatimuksia sähköjakeluverkoille, energiamarkkinoille ja sen osapuolien toiminnalle. Sähköjakelun ja sähkökaupan kehittymisen kannalta on tärkeää, että asiakkaat saadaan tehokkaasti mukaan toimintaan. Esimerkiksi hajautetun sähköntuotannon, energiatehokkuutta tukevien toimien, sähköjakelun luotettavuuden ja aktiiviseen sähköverkonhallinnan kehittämisessä asiakkailla ja heidän toimillaan on suuri merkitys. Edellä mainittujen tavoitteiden toteuttaminen on haasteellista ja vaatii avuksi erilaisten käsitteiden, toimintamallien ja –tapojen, simulaatioiden sekä monien muiden apuvälineiden kehittämistä (Järventausta 08). Tärkeä osa tätä on interaktiivinen verkkorajapinta ja sen mahdollistamat toiminnot, joita on havainnollistettu kuvassa 2.1.



Kuva 2.1 Interaktiivisen asiakasrajapinnan käsite (Järventausta 08)

Interaktiivisen asiakasrajapinnan (ICI) kehittyminen voi tulevaisuudessa luoda monia uusia sovellusmahdollisuuksia, kuten pienimuotoisen hajautetun tuotannon joustavan verkkoon liittämisen sekä hybridiautojen älykkään plug-in verkkoliittymän toteuttamisen. (Järventausta 08) Interaktiivisen verkkorajapinnan reaaliaikaisuuden (viiveet pieniä ver-

rattuina aiempiin järjestelmiin) ansiosta myös on-line sähkökaupan käynti, erilaiset kuormanohjaukset ja muut ulkoisiin signaaleihin perustuvat toiminnot voivat yleistyä.

On-Line mittauksien ja ohjauksien avulla voidaan saavuttaa mahdollisuus hallita entistä paremmin kuluttajan sähkönlaatua, kuten estää lyhyet jännitekatkot (jälleenkytkennät ja jännitekuopat) ja havaita nopeasti kuluttajan yhden vaiheen puuttuminen tai nollajohdon katkeaminen. Reaaliaikaisilla ja tarkkoilla mittauksilla voidaan saada paljon hyödyllistä tietoa, jota on mahdollista hyödyntää mm. aktiivisessa verkon hallinnassa ja verkosto-suunnittelussa.

2.1 Interaktiivisen verkkorajapinnan rakenne

Interaktiivisen verkkorajapinnan (kuva 2.1) toiminnan tulee olla joustavaa ja reaaliaikaista. Tällöin kuluttajan on mahdollista toimia tehokkaasti interaktiivisen asiakasliittymän kautta eri markkinaosapuolien kanssa välittäen mittaustietoja, ohjaustoimintoja, hälytys-signaaleita tai toteuttaen muita tarvittavia toimintoja. Interaktiivisen asiakasliittymän teknisen toteutuksen perustana toimivat modernit tehoelektroniikan sovellukset, automaattinen mittarin luenta (Automatic Meter Reading, AMR), sekä luotettavat kaksisuuntaiset tiedonsiirtoyhteydet, jotka mahdollistavat mm. monia erilaisia on-line toimintoja, kuten erilaisten mittaus-, ohjaus-, ja hälytys-signaalien välitykset molempiin suuntiin. (Järventausta 08)

Interaktiivisen asiakasliittymän kautta voitaisiin asiakkaalta lukea reaaliaikaiset ja tarkat energiankulutus- ja sähkönlaatutiedot, sekä siirtää ne jatkokäsittelyä ja taltiointia varten erillisiin tietokantoihin. Interaktiivisen verkkorajapinnan tehokkaan hyödyntämisen kannalta on oleellista, että sähkömarkkinoiden eri toimijat voivat hyödyntää tietokantoihin kerättyjä tietoja toiminnoissaan. Näistä toimijoista etenkin jakeluverkonhaltijan, siirtoverkonhaltijan ja energian toimittajan on mahdollista hyödyntää monella tapaa yhteisiä energia- ja sähkönlaatutietokantoja. Lisäksi ne voivat tarjota mahdollisuuksia muille, myös täysin uusille palvelujen tarjoajille ja toimijoille. Monien sähkömarkkinoiden toimijoiden on mahdollista tehostaa vanhoja toimintojaan sekä luoda uusia nopeiden On-line yhteyksien avulla. Ne mahdollistavat mm. monenlaisien kuormanohjaus- ja hälytystoimin-

tojen nopean toteuttamisen. Esimerkiksi jakeluverkon valvonnan kannalta mahdollisuus havaita pienjänniteasiakkaiden keskeytykset ja viat lähes reaaliajassa avaa monia mahdollisuuksia aktiivisen verkonhallinnan kehittämiseen.

Osana interaktiivista verkkorajapintaa voi olla mahdollisesti toimia AC/DC jakeluverkko. Tehoelektroniikan nopea kehittyminen voi mahdollistaa lähitulevaisuudessa tasavirtayhteyksien ja niihin perustuvien sovellusten taloudellisesti ja teknisesti kannattavan käytön sähköjakelussa.

Pienjänniteasiakkaille interaktiivinen asiakasrajapinta tarjoaa lisää joustavuutta ja mahdollisuuksia hallita ja tehostaa energian käyttöä. Tärkeää osaa tässä tulevat näyttelemään erilaiset tekniset sovellukset ja niiden mahdollistamat toiminnot, kuten kuormanohjauksen ja taloautomaation avulla toteutettavat lämmitysten säädöt. Asiakkaiden omilla aktiivisilla toimenpiteillä on myös suuri merkitys energiatehokkuuden ja energiansäästön kannalta. Interaktiivinen verkkorajapinta voi myös osaltaan mahdollistaa hajautetun tuotannon sovellusten sekä erilaisten energiavarastojen kehittymisen ja yleistymisen pienjänniteasiakkaiden keskuudessa.

2.2 Interaktiivinen verkkorajapinta eri sähkömarkkinoiden toimijoiden näkökulmasta

Tulevaisuudessa interaktiivisen verkkorajapinnan kehittyminen ja älykkäät mittausjärjestelmät tarjoavat sähkömarkkinoiden eri toimijoille uusia mahdollisuuksia, mutta luovat myös haasteita. Tarkastellaan seuraavana miten nämä mahdolliset verkkorajapinnan muutokset vaikuttavat sähkömarkkinoiden eri toimijoihin.

2.2.1 Jakeluverkkoyhtiö

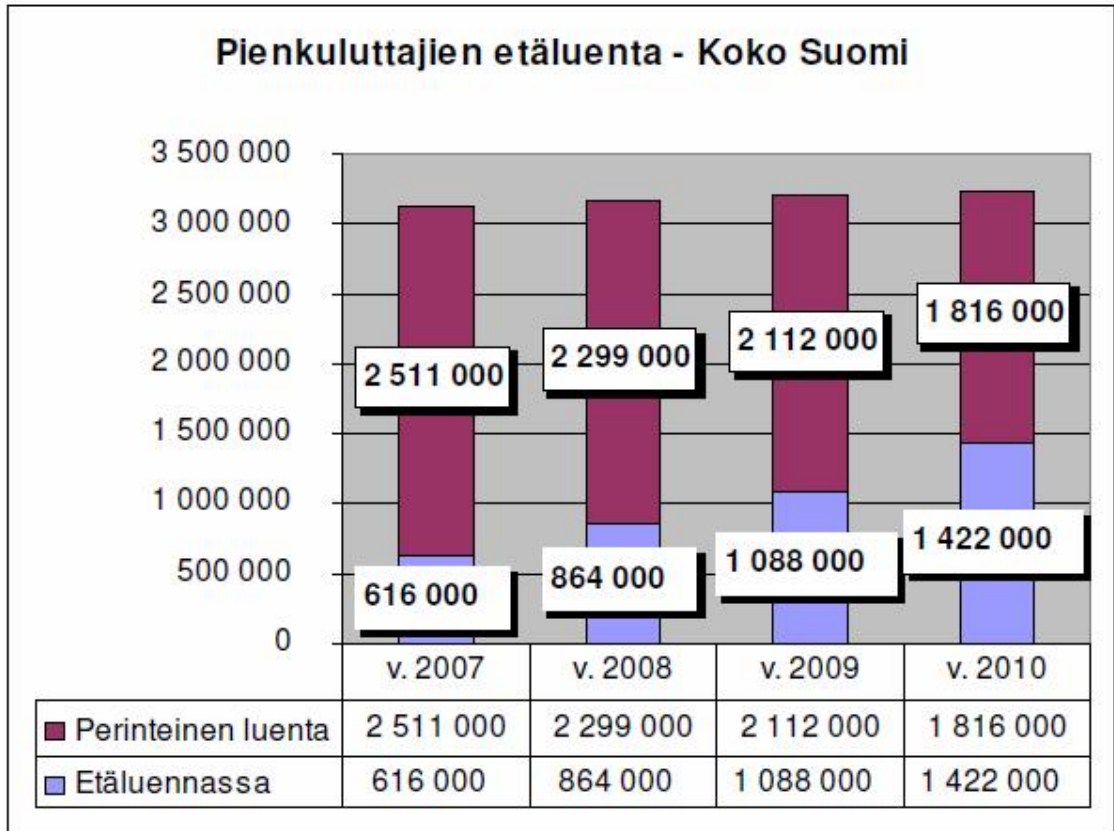
Sähköenergian mittaamisen kenttä on kokenut suuren muutoksen AMR-järjestelmien yleistymisen myötä. Se tarkoittaa suuria muutoksia jakeluverkkovastuullisille paikallisille sähköyhtiöille, jotka huolehtivat mittaroinnista ja mittareiden luennasta. Mittareiden luenta on perinteisesti tapahtunut joko sähköyhtiön mittarinlukijoiden toimesta tai asiakkaan

oman ilmoituksen perusteella. Mittaroinnin järjestäminen ja huolehtiminen ovat edelleen jakeluverkkoyhtiön vastuulla, mutta monet verkkoyhtiöt ovat ulkoistaneet nämä toiminnot ja keskittyneet ydintoimintaansa. Nykyisin yleisimpiä toimintamalleja ovat mittauspalveluiden osto niihin erikoistuneilta mittauspalveluyrityksiltä tai mittaustiedon keruun ja mittaroinnin hallinnan ulkoistaminen teleoperaattorille (IT 07). Uudenaikaiset mittausjärjestelmät mahdollistavat energiamittauksen ja kaukoluennan lisäksi monia muita uusia toimintoja ja mittauksia, sekä avaavat verkkoyhtiöille uusia mahdollisuuksia kehittää palvelujaan.

Sähköenergian mittaaminen on muuttumassa kerran vuodessa tapahtuvasta manuaalisesta luennasta kohti huomattavasti tiheämmissä jaksoissa tapahtuvaa kaukoluennaa. Samalla kotitalouksien laskutus on muuttumassa vanhasta vuosienenergiaan pohjautuvasta arviolaskutuksesta ja mittarin luvun jälkeen tehtävästä tasauslaskutuksesta kohti toteutuneen kulutuksen perusteella tapahtuvaa laskutusta. (Vähäuski 08)

Etäluettaviin energiamittareihin siirtyminen aiheuttaa verrattain suuren investoinnin verkkoyhtiölle. Kuluja syntyy asennuksesta, ylläpidosta, tiedonsiirrosta ja tietojen käsittelystä (Vähäuski 08). Uusilla kaukoluettavilla mittareilla ja automaattisilla mittarinhallintajärjestelmillä (Automated Meter Management, AMM) saavutetaan kuitenkin monia parannuksia vanhoihin mittaus- ja hallintajärjestelmiin verrattuna. AMM:n avulla pystytään hallitsemaan suuria määriä AMR-järjestelmään liitettyjä älykkäitä mittareita ja tekemään konfiguraatiomuutoksia samanaikaisesti useille mittareille (Heiska 08). Monissa verkkoyhtiöissä ollaan siirretty tai parhaillaan siirtymässä näihin järjestelmiin ja sitä myötä myös todellisen energiankulutuksen pohjalta tapahtuvaan laskutukseen.

Valtioneuvoston 5.2.2009 antaman asetuksen mukaisesti, vuoden 2013 loppuun mennessä tulee vähintään 80 % jakeluverkon haltijan käyttöpaikoista olla etäluettavan tuntimittauksen piirissä. Asetuksesta tarkemmin luvussa 3.7 ja lähteessä (VN 09). Vuoden 2007 lopussa Suomen pienkuluttajien käyttöpaikoista n. 616 000 oli etäluennassa. Vuoden 2010 lopussa kuluttajia oletetaan olevan etäluennan piirissä n. 1,42 miljoonaa Suomen vähän yli 3 miljoonasta käyttöpaikasta (Enease 07). Kuvassa 2.2 on esitetty pienkuluttajien etäluentatilanteen kehittyminen Suomessa lähivuosina.



Kuva 2.2. Etäluettavan mittaroinnin tila PJ-verkon kuluttajien osalta Suomessa. (Enease 07)

Verkkoyhtiön on mahdollista saada uusilla AMR-järjestelmillä entistä reaaliaikaisempia ja tarkempia energiankulutus-, sähkönlaatu-, keskeytys-, ja vikatietoja, jotka helpottavat ja nopeuttavat jakeluverkonhaltijan (JVH) toimintaa. Näitä tietoja voidaan hyödyntää ennen kaikkea verkostosuunnittelussa ja aktiivisen verkonhallinnan kehittämisessä. Tämä tuo huomattavia säästöjä esim. parantuneen verkon käyttövarmuuden ja entistä tarkempiin tietoihin perustuvien investointien seurauksena.

AMR-mittausjärjestelmät mahdollistavat kaukoluennan ja -kytkennän, jolloin mittarit voidaan lukea ja tarvittaessa kytkeä sähköt päälle tai pois ilman että asentajan tarvitsee käydä paikan päällä. Tällä saavutetaan kustannussäästöjä etenkin haja-asutusalueilla, missä välimatkat ovat pitkiä. Huomattavia säästöjä saavutetaan myös kohteissa joissa asukkaat vaihtuvat usein ja muuttoluentoja joudutaan tekemään suhteellisen paljon. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi vuokratilat.

Etäluennalla saatavien ajantasaisien kulutustietojen ansiosta laskutus yksinkertaistuu ja asiakastyytyväisyys parantuu, koska asiakasta laskutetaan todellisen kulutuksen perusteella. Näin ei asiakkaalle tule ikäviä yllätyksiä esimerkiksi virheellisten mittarinlukujen takia. (Karkkulainen 05) Asiakaspalvelun parantamisessa auttaa myös sähkökatkojen rekisteröinti. Tällöin voidaan tiedossa olevat sähkökatkojen kestot ja ajankohdat saattaa asiakkaiden tietoon mahdollisimman nopeasti, vaikkapa puhelinpalvelun välityksellä. Sähkön laaduntarkkailun avulla voidaan sähkön laatueroihin puuttua jo ennen kuin asiakas edes ehtii huomata asiaa, mikä lisää asiakastyytyväisyyttä olennaisesti. Sähkönkäyttäjille voidaan haluttaessa suorittaa kulutusraportointia, jolloin asiakas saa entistä tiheämmin tietoja sähkön todellisesta kulutuksesta. Raportointi voi kannustaa energiansäästöön ja sen avulla voidaan vaikkapa havaita rikkoutunut sähkölaite äkillisesti suurentuneen kulutuksen perusteella (Karkkulainen 05).

Uusien älykkäiden mittausjärjestelmien avulla pystytään parantamaan sähkönlaatua ja tehostamaan verkkoyhtiöiden toimintoja, etenkin aktiivista verkonhallintaa. Esimerkiksi sähkön luvattoman käytön havaitseminen ja estäminen, mittarihäviöiden pieneneminen, verkon tilan parempi hallinta ja valvonta, laadun mittaukset, hälytysten siirto ja toimintojen nopeutuminen auttavat saavuttamaan kustannussäästöjä sekä tehostamaan että tarkentamaan toimintoja (Koponen et al. 06b). AMR-mittausjärjestelmät auttavat myös parantamaan sähköturvallisuutta, sillä niiden avulla voidaan havaita esim. asiakkaan nollajohdon katkeaminen tai yli- ja alijännitteet (Nissinen 08).

Asiakkaan kuormienohjaus on jossain määrin mahdollista jo nykyisin käytössä olevilla järjestelmillä, mutta tulevaisuudessa ne kehittyvät entistä paremmiksi. Näin avautuu uusia mahdollisuuksia entistä tehokkaampaan kuormanohjauksen hyödyntämiseen. Kuormanohjauksen avulla voidaan esim. rajoittaa asiakkaan energiankulutusta huippukulutus-tunteina, mistä on hyötyä monille eri sähkömarkkinoiden toimijalle. Verkkoyhtiö voi saavuttaa mittavia säästöjä esimerkiksi pienentyneiden verkostoinvestointikustannuksien seurauksena, mikäli huipputehoja saadaan pienennettyä kuormanohjauksen avulla.

Interaktiivinen verkkorajapinta ja älykkäät mittausjärjestelmät voivat edistää myös aivan uusien teknisten ratkaisujen ja toimintamallien kehittymistä. Esimerkiksi hajautetun tuotannon entistä paremman hyödyntämisen sekä kehittyneiden ohjaus- ja hallintajärjestelmien kautta voi jakeluverkkojen saarekekäyttöön avautua uusia mahdollisuuksia. Tekniikan ja etenkin tehoelektroniikan kehittyminen voi tuoda tullessaan uusia innovaatioita. Tällaisia voivat olla vaikkapa erilaisten tasasähkösovellusten tai kokonaisien tasasähköjakeluverkkojen yleistymisen sähköjakelussa, minkä ansiosta verkostokustannukset voisivat pienentyä ja sähkönsiirron energiatehokkuus parantua.

2.2.2 Siirtoverkonhaltijat ja järjestelmävastaava

Siirtoverkonhaltijan (SVH) ja järjestelmävastaavan näkökulmasta mahdollinen interaktiivisen verkkorajapinnan kehittyminen voi aiheuttaa useita muutoksia, jotka ovat tärkeitä huomioida häiriöttömän sähköntoimituksen takaamiseksi. Niitä voivat aiheuttaa tehoelektroniikan lisääntyminen sähköverkoissa, kasvavan ohjaamattoman tuotannon vaikutukset (tuulivoima yms.), uudet markkinoiden toimijat ja tuotteet sekä erilaisten uusien teknisten ratkaisujen vaikutukset. Nämä voivat vaikuttaa valtakunnalliseen kantaverkkoon ja tehotasapainoon, joten niiden huomioiminen on erittäin tärkeää luotettavan sähköntoimituksen kannalta.

Interaktiivisen asiakasrajapinnan oletetaan mahdollistavan mm. sähköautojen ja hajautetun tuotannon yleistymisen. Sähköautojen lataaminen vaatii paljon tehoa, jolloin useat yhtäaikaiset lataukset aiheuttavat suuria kuormituksia koko järjestelmälle. Hajautettu tuotanto, esimerkiksi tuulivoima, puolestaan aiheuttaa verkkoon paljon vaikeasti ennustettavia tuotannon muutoksia. Nämä tekijät yhdessä muiden sähköjärjestelmää kuormittavien tekijöiden kanssa vaativat aktiivista verkon hallintaa ja verkostosuunnittelua, jotta suurhäiriöiltä vältyttäisiin.

Verkonhallinnan kannalta uudet mittausjärjestelmät ja niiden mahdollistamat toiminnot tarjoavat uusia hallinta- ja säätömahdollisuuksia järjestelmävastaavalle ja siirtoverkonhaltijoille. Tulevaisuudessa niitä voitaisiin käyttää esimerkiksi verkon taajuuteen perustuvan asiakkaan sähkölaitteiden ohjauksen hyödyntämiseen valtakunnallisen sähköjärjestelmän

häiriötilanteiden hallinnassa tai asiakkaiden sähkölaitteiden, energiavarastojen ja hajautetun tuotannon hyödyntämiseen aktiivisessa verkonhallinnassa. (Inca 09)

Verkkorajapinnan ja sen sovellusten kehittyessä jakeluverkonhaltijoiden ja järjestelmävastaavan tulee kiinnittää huomiota etenkin seuraaviin asioihin:

- vaikutukset sähkönkäytön ajalliseen jakaumaan
- huippukuormitusten muuttuminen
- kasvavan ohjaamattoman tehon vaikutukset
- vaikutukset valtakunnalliseen tehotasapainoon
- verkonvahvistustarpeet / niiden välttäminen
- vaikutukset häviöihin
- häiriötilanteiden hallinta
- saarekekäyttömahdollisuudet

Sähköverkkojen luotettavan toiminnan kannalta eri tekijöiden yhteisvaikutusten tarkastelu on välttämätöntä. Tehtävä on haasteellinen ja vaatii tarkastelua useasta eri näkökulmasta. Sähköverkoille on taattava riittävä toimintavarmuus ja siirtokapasiteetti, mutta kustannukset on pyrittävä pitämään mahdollisimman pieninä. On myös muistettava, että interaktiivinen verkkorajapinta ja uudet tekniset ratkaisut voivat tuoda monia uusia mahdollisuuksia niin verkonhallinnan kuin taloudellisten hyötyjen näkökulmasta.

2.2.3 Energiayhtiöt

Energiatehokkuusvaatimusten tiukentuminen vaatii energiayhtiöitä panostamaan energian käytön tehokkuuteen ja siihen liittyvään tiedotustoimintaan. Pienentyvä energiankulutus johtaa energiayhtiöt ristiriitaiseen tilanteeseen, koska energiaa säästettäessä energiayhtiön liikevaihto pienenee. (IT 07) Se osaltaan pakottaa energiayhtiöitä etsimään uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Energiatehokkuutta tukevat palvelut voivatkin olla tulevaisuudessa sähkönmyyjille tärkeä osa liiketoimintaa.

AMR-mittareilla saatavat mittaustiedot tulevat olemaan tärkeässä asemassa mietittäessä energiayhtiöiden uusia toimintamalleja ja mahdollisuuksia. Niitä on mahdollista hyödyntää monin eri tavoin ja niiden pohjalle on mahdollista rakentaa erilaisia palvelutuotteita. Samalla nousevat kuitenkin esille mittaustiedon omistajuuteen liittyvät kysymykset, kuten kuka ne omistaa, kenen käytettävissä ne ovat ja millä hinnalla ne luovutetaan kenenkin käyttöön. Energiatietojen hankinta ja hyödyntäminen voivat tulevaisuudessa olla myös entistä selkeämmin liiketoimintaa. (IT 07)

AMR-järjestelmällä saatavat reaaliaikaiset energiankulutustiedot mahdollistavat laskutuksen ja energianhankinnan kehittämisen entistä joustavammaksi ja tehokkaammaksi. Niiden avulla voidaan toteuttaa todelliseen kulutukseen pohjautuva asiakkaiden laskutus, joten vanhan mallin mukaisesta tasoituslaskutuksesta päästään eroon. Reaaliaikaiset energiankulutustiedot voivat mahdollistaa myös sähkönhankinnan tehokkaamman optimoinnin. Usein vanhentuneisiin ja joskus suhteellisen suuriakin virheitä sisältävien kuormituskäyrien pohjalta laaditun kulutusennusteen perusteella tapahtuva sähkönhankinta voidaan unohtaa, jos on mahdollista siirtyä reaaliaikaisempien ja tarkempien energiankulutustietojen perusteella laadittuun kulutusennusteeseen perustuvaan sähkönhankintaan. (Koponen et al. 06b).

Nopeiden kaksisuuntaisten tiedonsiirtoyhteyksien ansiosta asiakkaalle on mahdollista välittää nopeasti ajantasaista tietoa vaikkapa sähkönhinnan muutoksista. Tämä mahdollistaa monien uusien tariffien, tuotteiden ja eri hinnoitteluvaihtoehtojen muodostamisen. (Koponen et al. 06b) Myös reaaliaikainen sähköpörssin markkinahintaan pohjautuva hinnoittelu voi olla mahdollista toteuttaa laajamittaisesti. Se voi johtaa sähkömarkkinoiden toiminnan tehostumiseen, lisätä kysyntäjouston toimivuutta ja yksinkertaistaa energiayhtiöiden hinnoittelua.

Energiayhtiöiden kannalta monia uusia liiketoimintamahdollisuuksia löytyy myös kuormanohjaukseen perustuvista toiminnoista ja palveluista. Esimerkiksi erilaiset huipputehjojen ohjaustoiminnot sähkön hintapiikkien aikana voivat olla tuottoisaa toimintaa sekä asiakkaan että sähkönmyyjän kannalta. Tällaisien toimintojen toteutuminen hyödyttää energiayhtiöiden lisäksi myös monia muita sähkömarkkinoiden toimijoita.

2.2.4 Sähkön pienkuluttaja

Interaktiivinen verkkorajapinta voi tuoda sähkön pienkuluttajien saataville monia uusia energiansäästöön ja energiatehokkuuteen liittyviä palveluita. Erilaiset kuormanohjaukseen ja taloautomaatioon perustuvat ratkaisut voivat auttaa asiakasta säästämään vuotuisessa sähkölaskussa.

Interaktiivisen asiakasliityntä voi tarjota uuden mahdollisuuden oman energiankäytön reaaliaikaisen seuraamisen, minkä ansiosta myös energian säästäminen asiakkaan omien aktiivisten toimenpiteiden kautta helpottuu. Tieto reaaliaikaisesta energiankulutuksesta ja sähkön hinnasta sekä mahdolliset uudet tariffirakenteet voivat kannustaa asiakkaita entistä enemmän energiansäästöön ja parantaa kysyntäjoustop toimivuutta. Myös erilaiset liittännäispalvelut, kuten nettiraportointi omasta kulutuksesta tai voittuneiden sähkölaitteiden paikannustoiminto voisivat kiinnostaa suuriakin asiakasryhmiä.

Asiakkaiden kannalta uudet kaukoluettavat AMR-mittarit ja interaktiivisen verkkorajapinnan mahdollistamat toiminnot voisivat helpottaa elämää monessa asiassa. Mittarinlukujen poisjäänti, nopea ja täsmällinen laskutus, parempi sähkönlaatu sekä paremmat mahdollisuudet hyötyä kilpailusta, uusista tuotteista ja palveluista ovat varmasti tervetulleita uudistuksia (Koponen et al. 06b). Hajautetun sähköntuotannon ja energiavarastojen (aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen akut) hyödyntämismahdollisuudet sekä yhteistoiminta aggregaattorien kanssa voivat tuoda pienkuluttajille aivan uudenlaisia mahdollisuuksia liittyä aktiiviseksi osaksi sähkömarkkinoiden toimintaa.

2.2.5 Muut toimijat

Interaktiivinen verkkorajapinta ja uudet tekniset innovaatiot ja sovellukset tarjoaisivat liiketoimintamahdollisuuksia perinteisille sähkömarkkinoiden toimijoille, mutta voisivat tuoda alalle myös aivan uudentyyppisiä toimijoita. Mittaus-, ohjaus-, ja automatiikkajärjestelmien kehittyminen tarjoaa laitevalmistajille hyviä mahdollisuuksia. Erilaiset tiedon-

siirto ja tietokantapalvelut tarjoavat puolestaan tietotekniikka-alan yrityksille ja teleoperaattoreille uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

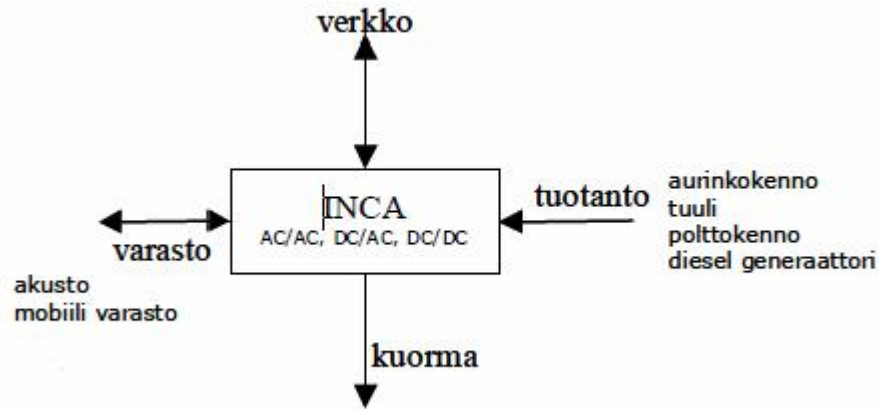
Interaktiivisen verkkorajapinnan kehittyminen tarjoaisi mahdollisuuksia myös aivan uudentyyppisille toimijoille kuten aggregaattoreille, jotka kokoavat hajautetun tuotannon ja muut hyödynnettävissä olevat pienimuotoiset resurssit suuremmaksi kokonaisuudeksi. Aggregaattori vastaa näiden koottujen resurssien hallinnasta ja kaupallisesta hyödyntämisestä sitä varten kehitetyn virtuaalivoimalaitokseksi (Virtual Power Plant, VPP) kutsutun konseptin avulla. Näin pienimuotoisten toimijoiden resurssit voidaan hyödyntää entistä tehokkaammin.

3 ASIAKKAAN VERKKOLIITYNTÄ JA MITTAUS- JÄRJESTELMÄ

Tulevaisuudessa asiakkaan sähköverkkoon liittynältä vaaditaan entistä enemmän joustavuutta ja ”älyä”, jotta uusia interaktiivisen verkkorajapinnan mahdollistamia toimintoja ja palveluja voidaan toteuttaa. Se mihin suuntaan liityntä käytännössä tulee kehittymään, riippuu paljon siitä mitä toimintoja, palveluja ja sovelluksia sen halutaan tukevan. Jos halutaan mahdollistaa esimerkiksi pienimuotoisen tuotannon ja erilaisten energiavarastojen tehokas hyödyntäminen, asiakkaan liittynän tulee mahdollistaa kaksisuuntainen joustava tehonsiirto asiakkaan ja sähköverkon välillä. Tulevaisuuden verkkoliityntöjä määriteltäessä täytyy huomioida useita eri asioita, kuten mitä toiminnallisuuksia sen täytyy tukea, onko liityntä kiinteä vai mobiili (esim. sähköauton liityntä), mikä on sen modulaarisuuden tarve ja miten se saadaan toteutettua riittävän kustannustehokkaasti.

3.1 Joustava asiakasliityntä

Tulevaisuudessa asiakkaan verkkoliitynnän odotetaan mahdollistavan joustava liityntä sähkölaitteille, energiavarastoille ja hajautetulle sähköntuotannolle. Sen perusedellytyksenä on joustava kaksisuuntainen tiedonsiirto, mikä takaa erilaisten säätö- ja ohjaussignaaleiden sekä muun tarvittavan tiedon luotettavan välityksen eri järjestelmien välillä. Tehonsiirroilta vaaditaan myös kaksisuuntaisuutta, koska esimerkiksi energiavarastoja täytyy voida ladata ja tarvittaessa hyödyntää vaikkapa varavoimana. Kuvassa 3.1 on esitetty periaatekuva joustavasta asiakasliitynnästä, joka mahdollistaa teho(energia) mittaukset neljään eri suuntaan.



Kuva 3.1 Joustava asiakasliityntä mahdollistaa tehon siirron useaan eri suuntaan. (Inca 09)

Asiakkaan liitynnältä vaaditaan tulevaisuudessa lukuisia eri toiminnallisuuksia ja mittauksia sekä nopeat ja luotettavat tietoliikenneyhteydet. Toiminnallisuuksien suhteen tarvitaan modulaarisuutta, jotta kulloiseenkin tilanteeseen voidaan valita ominaisuuksiltaan riittävä, mutta silti kustannustehokas (sarjatuotanto) ratkaisu. Tietoliikenneyhteyksien on oltava valittavissa, jotta kulloiseenkin paikkaan ja tarkoitukseen on saatavilla luotettava ja kustannuksiltaan mahdollisimman edullinen tietoliikennetarjous.

Asiakasliitynnältä vaaditaan perinteisen tuntienergiamittauksen lisäksi myös muita mittauksia. Esimerkiksi jännitekatkot ja niiden alkamis- ja loppumisajankohdat sekä teho ennen ja jälkeen jännitekatkon on pystyttävä havaitsemaan ja taltioimaan. Lyhyiden jännitekatkojen, kuten pikajälleenkytkentöjen (PJK) indikointia varten voidaan tarvita sekuntitason tai jopa nopeampia mittauksia. Taajuuden mittausta tarvitaan puolestaan kuormanohjauksen tarpeisiin. Häiriötilanteissa kuormanohjaukseltakin voidaan vaatia nopeaa vastetta, jopa satojen millisekuntien tai vähintään sekuntien luokkaa (Inca 09). Tällaiset toiminnot asettavat liitynnän mittauksille ja mittalaitteistoille nykyistä kovemmat vaatimukset. Eri toimintojen ja palveluiden mittauksille asettamia vaatimuksia ja tiedonsiirtotarpeita on käsitelty tarkemmin luvussa 4.5.

3.2 Käyttöliittymä

Joustavan verkkoliittymän lisäksi tulevaisuudessa tarvitaan entistä monipuolisempi asiakkaan käyttöliittymä, jotta interaktiivisen verkkorajanpinnan tarjoamat mahdollisuudet saadaan tehokkaasti hyödynnettyä. Käyttöliittymän täytyy vastata asiakkaan tarpeita, joten sen on oltava riittävästi muunneltavissa eri käyttötarkoitusten mukaan. Käyttöliittymän hinnan täytyy olla riittävän alhainen, ettei siitä muodostu suurta kynnystä sopivan käyttöliittymän hankinnalle. Tämä tarkoittanee käytännössä sitä, että käyttöliittymä kannattaa standardoida osin tai kokonaan, mikä mahdollistaa sen kustannustehokkaan sarjatuotannon.

Asiakkaan käyttöliittymän täytyy sisältää riittävät ominaisuudet ja hallintamahdollisuudet, jotta asiakkaan verkkoliittymää pystytään hyödyntämään täysipainoisesti. Käyttöliittymässä tulee olla näyttö, jolta on mahdollista seurata reaaliaikaisesti esimerkiksi energiankulutusta tai sähkön hintatietoja (Inca 09). Tämä avaa asiakkaalle entistä paremman mahdollisuuden seurata omaa energiankulutusta ja vaikuttaa siihen omilla toimilla. Osana käyttöliittymää voivat olla erilaiset sovellusmahdollisuudet, kuten internet- tai puhelinpalvelut, jotka mahdollistaisivat vaikkapa sähkölämmityksen säätämisen kauko-ohjauksella (puhelimien tai internetin kautta). Tämä avaisi uusia mahdollisuuksia energiansäästöön pidempien poissaolojen aikana. Esimerkiksi lomalle lähdettäessä asunnon sähkölämmitys voitaisiin säätää mahdollisimman pienelle, mikä säästäisi energiaa. Vähän ennen lomalta paluuta, tai tarvittaessa loman aikana, lämmitystä voitaisiin säätää tarpeen mukaan suuremmalle (tai pienemmälle) internetin tai puhelimen välityksellä.

3.3 Integroidut ominaisuudet

Asiakkaan sähköverkkoon liittymän yhteyteen voi olla järkevää integroida myös muita mittauksia, kuten vesi, kaukolämpö tai maakaasu. Sähköverkkoon liittymä sisältää tiedonsiirtoyhteydet, joten samoja tiedonsiirtoyhteyksiä voidaan hyödyntää myös muiden mittauksien kaukoluentaan. Integroimalla sähköverkkoon liittymän yhteyteen muita mittauksia, voidaan mahdollisesti saavuttaa säästöjä asennus, ylläpito ja tiedonsiirtokustannuksissa.

Muiden mittauksien integroiminen sähköliittymän yhteyteen ei kuitenkaan ole aivan mutkatonta. Ensimmäinen ongelma liittyy siihen, että katsovatko veden, kaukolämmön tai muun mitattavan kohteen toimittajat kaukoluennan tarpeelliseksi ja kannattavaksi. Toiseksi ongelmia aiheutuu kustannusten kohdentamisesta eri osapuolien kesken. Näiden lisäksi voi ilmetä myös muita ongelmia, jotka vaikeuttavat sähkön ja muiden mittausten integrointia samaan liittymään. Tarvitaan kaikkia osapuolia tyydyttävä yhteinen toimintamalli, ja yhteiset pelisäännöt joiden pohjalle toiminta on mahdollista rakentaa. Tällaisen mallin luominen on kuitenkin pitkä ja haasteellinen prosessi.

3.4 Älykäs mittausjärjestelmä

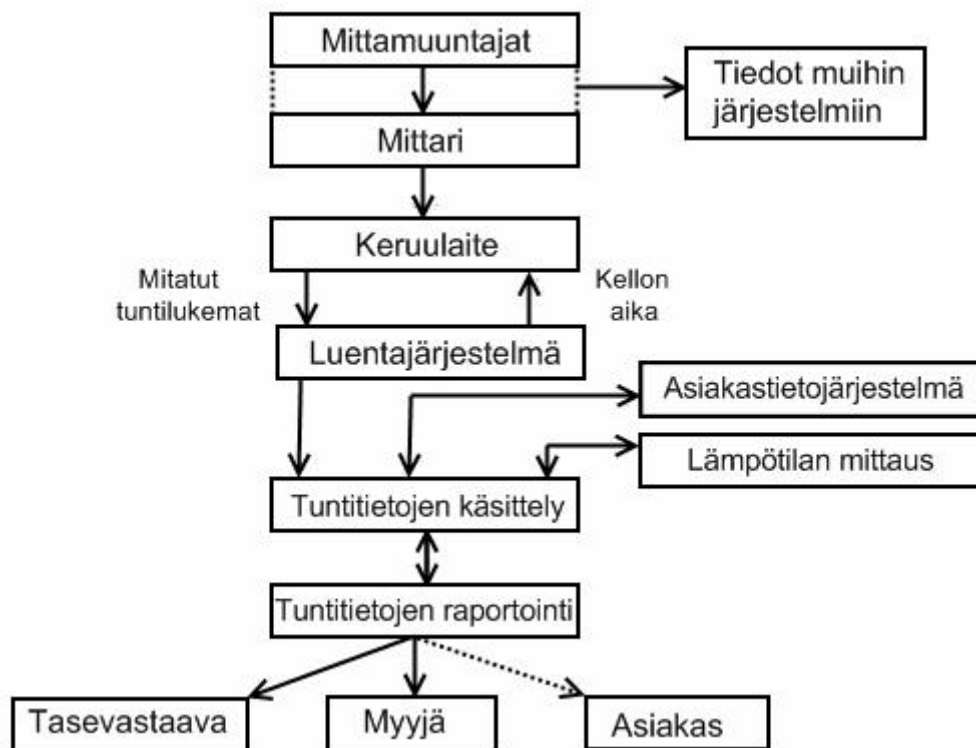
Aiemmin käytössä olleet mittausjärjestelmät, jotka perustuivat analogisien ja staattisten energiamittareiden käyttöön, ovat korvautumassa uusilla ”älykkäämmillä” elektronisilla mittareilla ja automaattisilla mittarinhallintajärjestelmillä. Älykkyys ja sen mahdollistamat toiminnot muodostuvat koko mittausjärjestelmästä, joskin energiamittari ja sen sisältämä ”äly” kuten laskentakapasiteetti ja muisti vaikuttavat hyvin paljon koko mittausjärjestelmän suorituskykyyn. Uudet energiamittarit ja mittausjärjestelmät avaavat mahdollisuuksia moniin uusiin toimintoihin ja mittauksiin sekä erilaisten tietojen keräämisen ja välittämisen eri sähkömarkkinaosapuolille sekä muihin järjestelmiin (IT 07).

Automaattisen mittarinlukujärjestelmän pääosat ovat asiakkaan liittymispaikkaan sijoitettu päätelaite, siihen sisältyvä energiamittari (kWh-mittari), tiedontallennusyksikkö ja etälukupäätte (Vähäuski 08). Hajautetun laskentakapasiteetin ja muistin halpeneminen on mahdollistanut paremman tietojen välikäsitteilyn ja varastoinnin mittareissa (Karkkulainen 05). Sähkökaupan, energiatehokkuuteen tähtäävien palvelujen, tiedonsiirron ja sähkön laaduntarkkailun asettamat vaatimukset mittauksille, tiedonsiirrolle ja mittarin ”älykkyydelle” ovat lisänneet entistä enemmän mittareiden ja mittausjärjestelmien kehitystarpeita.

Asiakkaan päätelaitteen ja verkonhaltijan etäluentasovelluksen välinen tietoliikenneyhteys voidaan toteuttaa lukuisilla eri tekniikoilla. Haja-asustusalueilla se on useimmiten toteutettu GSM/GPRS-yhteyllä, koska GSM/GPRS verkko peittää Suomessa yli 99 % sähkön

kulutuskohteista (Koponen 08). Tiheämmin asutuilla alueilla sähköverkkotiedonsiirto (Power Line Communication, PLC) on suosittu tietoliikennratkaisu, koska sen tietoliikennekustannukset ovat suurilla mittaritiheyksillä usein huomattavasti pienemmät kuin GSM/GPRS-yhteyksien.

Verkonhaltija noutaa tarvittavat mittaustiedot etäluentasovelluksen välityksellä asiakkaan etäluentapäätteeltä ja tallentaa ne verkkoyhtiön verkkotietojärjestelmiin. Tietojärjestelmissä tietoja käsitellään tarpeen mukaan, jonka jälkeen ne voidaan välittää esim. laskutuksen, taseselvityksen tai muiden sähkökaupan osapuolten tarpeisiin. Kuvasta 3.2 selviää kaukoluennan mittaus- ja tiedonsiirtoketjun periaatteellinen toiminta.



Kuva 3.2. Kaukoluennan mittaus- ja tiedonsiirtoketju (ET05)

Uusia AMM-mittausjärjestelmiä ja AMR-mittareita voidaan hyödyntää monella eri tavalla, mutta niiden käytännön toteutukseen, hallintaan ja muihin osa-alueisiin liittyy monia ratkaisemattomia ongelmia. Näiden lisäksi yhteisten ”pelisääntöjen” ja yleisten rajapinta-vaatimusten luominen on ollut ongelmana. Se on vaikeuttanut sähkömarkkinoiden eri

osapuolien mahdollisuuksia hyödyntää tehokkaasti älykkäiden mittausjärjestelmien mahdollistamia toimintoja.

3.5 Mittausjärjestelmän laitteisto

Mittausjärjestelmän laitteisto asettaa tekniset puitteet joissa sitä voidaan hyödyntää. Markkinoilla on lukuisia erilaisia mittaristoja. Mittaristo tulee valita käyttötarkoituksen mukaan. Laitteiston liitännät, muistin määrä ja laskentateho ovat suurimpia toimintoja rajoittavia tekijöitä. Asennusvaiheessa täytyy miettiä tarkasti mitä laitteistolta vaaditaan nyt ja tulevaisuudessa. Asentajan lähettäminen mittarille on usein liian kallista suhteessa mittarin hintaan, joten laitteiston päivittäminen asennuksen jälkeen ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Mittari voi olla ohjelmiston osalta etäpäivitettävä, jolloin sen asetusten muuttaminen ei edellytä paikan päällä käyntiä. Etäpäivityksen avulla voidaan lisätä uusia toimintoja, muuttaa mittarin asetuksia tai ladata uusia ohjelmia. Mahdollisuus toteuttaa tarvittavat muutokset ja päivitykset ilman paikan päällä käyntiä, auttaa säästämään kustannuksissa.

Mittarit voidaan lukea halutulla tiheydellä, esimerkiksi kerran kuukaudessa tai päivässä. Luenta voidaan suorittaa ohjelmoidun ohjelman mukaan tai erillisestä käskystä. Kumulaatiiviset mittausarjat mahdollistavat mittausvälin vaihtelun kolmen minuutin ja 24 tunnin välillä. (Vähäuski 08) Suomessa yleisesti käytetty mittausväli on yksi tunti. Tunneittain mitatut tuntienergiatiedot tallennetaan mittarin rekisteriin, josta ne etäluetaan halutun syklin mukaisesti.

Mittausjärjestelmä mahdollistaa vapaan tariffien generoinnin, joka mahdollistaa erilaisten tariffien sujuvan käytön. Mittarien mittaustoiminto ja tallennusrekisterit ovat tyypillisesti mitoitettu vähintään kahdelle eri tariffille. Tuntimittaustietoja voidaan säilyttää yleensä yli vuoden, kuitenkin vähintään yhden kuukauden ajan, jolla estetään mittaustietojen katoaminen mahdollisten tietoliikennekatkojen seurauksena. (Koponen et al. 06 b) Suurin osa nykyisistä mittareista pystyy mittaamaan myös kulutuspisteessä tuotetun energian (Vähäuski 08). Mittarit mahdollistavat erilaiset hälytykset esimerkiksi nollajohdon kat-

keamisen tai yli- ja alijännitteiden varalle. Erilaiset tapahtumatiedot, kuten jännitekeskeytykset ja hälytykset tallentuvat tapahtumarekisteriin ja lokitiedostoihin (Koponen et al 06 b).

Eräissä mittareissa on mahdollisuus lukea pulssilähtöjä tai sarjaliikenneväyliä, joten niitä voidaan hyödyntää veden, kaukolämmön ja kaasun kulutusmittareina tai muiden mittareiden mittaustietojen keräyksessä (L+GE 09). Mittareiden relelähtöjen avulla voidaan ohjata erilaisia kuormituksia, kuten saunan kiuasta tai sähkölämmitystä. Releitä on mahdollista ohjata käyttöjärjestelmän dynaamisilla sanomilla, tariffiohjauksella tai mittariin ohjelmoitavalla viikkoaikataululla. Suoraa kuormanohjausta tai aikaohjausta käytettäessä täytyy mittarissa olla lähtöjä mittarin alla olevien kuormien ohjausta varten. Kuormanohjauksen lisäksi on mahdollista käyttää tariffi- tai tehonrajoitusohjausta. (Vähäuski 08)

Useissa mittareissa on kytkin, jolla sähköt voidaan kytkeä päälle ja pois etänä. Yleensä mittareissa on myös jonkinlainen varajännitesysteemi, etteivät tiedot katoa rekisterin muistista jännitekatkon yhteydessä (L+GE 09). Varajännitettä tarvitaan myös jännitekatkohälytysten tms. lähetykseen.

Eräisiin mittareihin on mahdollista liittää erillinen näyttö M-Bus-väylän tms. kautta. Näytöltä voidaan seurata vaikkapa energian kulutusta tai sähkön hintaa. Useisiin mittareihin on valittavissa haluttu tietoliikennemuoduli, mikä huolehtii tiedonvälityksestä lukujärjestelmään. Joissain mittareissa voi olla myös paikallinen langaton tiedonsiirtoliitäntä, jota voidaan käyttää paikallisessa luennassa ja ohjelmoinnissa (Vähäuski 08).

Mittareiden toiminnot ja ominaisuudet kehittyvät nopeaa vauhtia. Tässä luvussa on mainittu vain eräitä tämän hetken mittareiden tyypillisimpiä ominaisuuksia ja toimintoja. Mittareihin voi tulla hyvinkin nopeasti lisäominaisuuksia, joten mittarihankintoja mietittäessä kannattaa tarkistaa laitevalmistajilta ajantasaiset tiedot saatavilla olevista vaihtoehdoista. Kuvassa 3.3 on esitetty tyypillinen AMR-mittari.



Kuva 3.3. Esimerkki AMR-mittarista, Landis + Gyr E120LiME.

3.6 Rajapintavaatimukset

Lainsäädäntö ja asetukset, sähkömarkkinoiden eri toimijoiden tarpeet sekä uudet palvelut ja sovellukset asettavat mittaus- ja tiedonsiirtojärjestelmille uusia vaatimuksia. Uudet AMM-mittausjärjestelmät ja AMR-mittarit mahdollistavat kaukoluennan lisäksi erilaiset kauko-ohjaukset, kaukokäytöt, hälytystoiminnot ja kaksisuuntaiset tiedonsiirto-sovellukset, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi erilaisissa mittaus- ja energiansäästöpalveluissa. Tällaisten palveluiden tuottamista vaikeuttaa ja hintoja nostaa se, että yleisiä rajapintavaatimuksia ei ole käytetty tai niitä ei edes kaikilta osin ole (Koponen et al. 06b). Näin ollen markkina-alue pirstoutuu käytännössä verkkoyhtiöiden kokoisiksi alueiksi, erilaiset rinnakkaiset järjestelmät lisäävät kustannuksia, eikä suurien tuotantosarjojen etuja saada hyödynnettyä (Koponen et al. 06b).

Tähän asti jokainen Suomen sähköverkkoyhtiö on määritellyt AMR-hankintansa omien tarpeidensa mukaan. Sen seurauksena esimerkiksi energiatietojen saatavuus ja hinta asiakkaalle vaihtelevat suhteellisen paljon verkkoyhtiöstä riippuen. Samoin tiedonsiirtorajapinnoissa on huomattavia eroja. (Koponen 08) Tämä vaikeuttaa mittaustietoja hyödyntävien palveluiden ja sovellusten kehittämistä, koska varmuutta palveluun tarvittavien lähtötietojen kustannuksista ei ole. Olisi tärkeää määritellä AMR-järjestelmiltä vaadittavat

vähimmäislaitevaatimukset ja toiminnalliset ominaisuudet, joista voitaisiin muodostaa yleiset rajapintavaatimukset. Niitä mietittäessä tulee kiinnittää huomiota ennen kaikkea seuraaviin asioihin:

- Mitä mitataan
- Millä tarkkuudella mitataan
- Miten suuri viive sallitaan millekin mittaukselle / signaalin välitykselle
- Mitä tietoja varastoidaan ja miten pitkäksi aikaa
- Mitkä ovat luotettavuusvaatimukset
- Mikä on toimintojen prioriteetti
- Millaiset kustannukset saavat olla ja miten ne jaetaan

Kun näihin kysymyksiin saadaan vastaukset, ovat edellytykset yhteisien, toimivien ja eri osapuolia tyydyttävien rajapintaratkaisujen luomiseen hyvät.

Valmistajakohtaiset protokollat aiheuttavat ongelmia mittarien luvussa ja eri järjestelmien välillä. Ne vaikeuttavat tiedonsiirtoa eri järjestelmien välillä, haittaavat järjestelmien kehitystä sekä rajoittavat kilpailua. (Koponen 08) Eri protokollien, standardien ja laitteistojen yhtenäistäminen sekä selkeän markkinaohjautuvan mallin luominen ovat mittareiden, mittaustoiminnan ja mittaustietoja hyödyntävien palveluiden kehittämisen suurimpia haasteista.

Käytettävää laiteratkaisua valittaessa on tärkeää kiinnittää huomiota sen käyttämään tiedonsiirtoprotokollaan. Valitsemalla avointa protokollaa käyttävä tietoliikennetarkaisu, voidaan pienentää riippuvuutta yhdestä laitevalmistajasta ja hyödyntää eri laitevalmistajien ja ratkaisujen kilpailutuksesta mahdollisesti saatava hyöty. ”Avoimuus tarkoittaa sitä, että järjestelmässä noudatetaan yleisesti hyväksytyjä standardeja (LonTalk, HTTP), joiden käytöstä ei jouduta maksamaan lisenssimaksuja nyt eikä tulevaisuudessa. Avoimuuden toinen kriteeri on integroituvuus eri laitevalmistajien laitteisiin, eri valvomo-ohjelmistoihin ja eri palveluntarjoajien palveluihin.” (Lonix 08) Avoimia protokollia suosimalla voidaan edistää niiden yleistymistä sekä jatkokehitystyötä ja näin helpottaa ja edistää yleisien laitteisto- ja ohjelmarajapintojen syntymistä.

Useissa maissa on laadittu kansallisia toiminnallisia minivaatimuksia. Etenkin pienten maiden tapauksessa kansalliset vaatimuksetkaan eivät välttämättä ole riittäviä, vaan tarvittaisiin yhteisiä kansainvälisiä minimivaatimuksia. Ne mahdollistaisivat kustannustehokkaan kulutusmittaroinnin toteuttamisen ja mittaustietoja tarvitsevien osapuolien palvelun. Suuria hyötyjä voidaan saavuttaa mm. yhteisten minivaatimusten tuomilla mittakaavaeduilla, joiden avulla on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä myös mittausliiketoiminnassa (Koponen 08).

3.7 Valtioneuvoston mittausasetus

Suomen valtioneuvoston 5.2.2009 antama asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (VN 09) asettaa tulevaisuudessa uusia vaatimuksia mm. sähköntoimitusten mittauksille, mittausjärjestelmälle ja mittauspalveluille. Se luo yhteisiä rajapintavaatimuksia ja asettaa yhteisiä vaatimuksia mm. energiatietojen hankinnalle, käsittelylle ja säilytykselle. Alle on poimittu asetuksesta tärkeimpiä kohtia, jotka tulevat vaikuttamaan energiamittauksen ja energiapalvelujen kehittymiseen tulevaisuudessa.

- ”Verkonhaltijan on mittauspalvelua järjestäessään pyrittävä edistämään asiakkaidensa tehokasta ja säästäväistä sähkönkäyttöä sekä sähkönkäytön ohjausmahdollisuuksien hyödyntämistä”
- ”Sähkönkulutuksen ja pienimuotoisen sähköntuotannon mittauksen tulee perustua tuntimittaukseen ja mittauslaitteiston etäluentaan (*tuntimittausvelvoite*).”
- Jakeluverkonhaltija voi poiketa tuntimittausvelvoitteesta enintään 20 prosentissa jakeluverkon sähkönkäyttöpaikoissa tietyin ehdoin
- Sähkönkäyttöpaikkaan asennettavan tuntimittauslaitteiston ja verkkonhaltijan mittaustietoa käsittelevän tietojärjestelmän tulee sisältää vähintään seuraavat ominaisuudet:
 - 1) Mittauslaitteiston rekisteröimä tieto tulee voida lukea muistista viestintäverkon kautta (etäluentaominaisuus)
 - 2) Mittauslaitteiston tulee rekisteröidä yli kolmen minuutin pituisen jännitteettömän ajan alkamis- ja päättymisajankohta

- 3) Mittauslaitteiston tulee kyetä vastaanottamaan ja panemaan täytäntöön tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja
 - 4) Mittaustieto sekä jännitteetöntä aikaa koskeva tieto tulee tallentaa verkkonhaltijan mittaustietoa käsittelevään tietojärjestelmään, jossa tuntikohmainen mittaustieto tulee säilyttää vähintään kuusi vuotta ja jännitteetöntä aikaa koskeva tieto vähintään kaksi vuotta
 - 5) Mittauslaitteiston ja verkkonhaltijan mittaustietoa käsittelevän mittausjärjestelmän tietosuojan tulee asianmukaisesti varmistettu
- ”Verkonhaltijan tulee asiakkaansa erillisestä tilauksesta tarjota tämän käyttöön tuntimittauslaitteisto, jossa on standardoitu liitäntä reaaliaikaista sähkönkulutuksen seuranta varten.”
 - ”Verkonhaltijan asiakkaalla on oikeus ilman erillistä korvausta saada käyttöönsä omaa sähkönkulutusta koskeva mittaustieto, jonka verkkonhaltija on kerännyt asiakkaan sähkökäyttöpaikan mittauslaitteistolla.”
 - ”Mittaustiedon luovuttamiseen muulle kuin tässä asetuksessa säädetylle taholle on oltava asiakkaan suostumus.”
 - Käytössä olevat muut mittauslaitteistot kuin tuntimittauslaitteistot sekä verkkonhaltijan tietojärjestelmät on saatettava asetuksen vaatimuksien mukaiseksi
 - Ø yli 3*63 ampeerin pääsulakkeilla varustettujen sähkökäyttöpaikkojen ja pienimuotoisen sähköntuotannon osalta viimeistään 31.12.2010
 - Ø muiden sähkökäyttöpaikkojen osalta viimeistään 31.12.2013
 - Verkonhaltijan on saatettava mittaustietoa käsittelevät tietojärjestelmänsä asetuksen mukaiseksi viimeistään 31.12.2013

Tämä mittausasetus luo minimivaatimuksia niin laitteistojen toiminnallisuuksille, kuin verkkoyhtiöiden toiminnalle. Asetuksen asettamat vaatimukset tulevat edistämään merkittävästi AMR-laitteistojen yleistymistä ja mittaustietojen saatavuuden parantumista. Tarvitaan kuitenkin vielä lisää yhteisiä toimintamalleja ja rajapintavaatimuksia, jotta AMR-mittareita ja niistä saatavien mittaustietojen pystytään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

3.8 Mittaustiedon hallinta

Uudet älykkäät mittausjärjestelmät mahdollistavat monenlaisia mittauksia, minkä seurauksena käsiteltävät tietomäärät kasvavat. On tärkeää miettiä hyvissä ajoin mitä kaikkea mittaustietoa tarvitaan, miten pitkään tietoja säilytetään ja miten tietojen käsittely, varastointi ja hallinta toteutetaan. Mitä enemmän mittaustietoa on, sitä haastavampaa sen käsittely on ja sitä enemmän se vaatii resursseja.

Markkinaosapuolien yhteistoiminta on tärkeää mittaustietojen järkevän ja kustannustehokkaan hallinnan toteuttamisen kannalta. Esimerkiksi yhteisillä sovelluksilla ja tietokannoilla voidaan saada huomattavia kustannussäästöjä ja yksinkertaisuutta käytännön toimintaan. Yhteisien sääntöjen ja työnjaon määrittely on tärkeää, jos mittaustiedot halutaan saada kustannustehokkaasti kaikkien eri markkinaosapuolien saataville. Sen kannalta mm. seuraavien asioiden miettiminen on tärkeää:

- Kuka vastaa mittareiden luennasta
- Kuka hoitaa tiedon käsittelyn
- Miten huolehditaan tietoturvasta
- Kenen saatavilla tieto on
- Kuinka paljon kukakin maksaa tiedosta
- Miten mittaustietoja hyödynnetään

Tiedon tulee olla kaikkien siitä hyötyvien markkinaosapuolien saatavilla. Esimerkiksi sähkön pienkuluttajalle reaaliaikaisien energiankulutustietojen saaminen mahdollistaa oman energian kulutuksen tarkkailun ja sitä kautta mahdolliset energiansäästötoimet.

Energiamittaustietokannat yhdistettynä erilaisiin yhdyskuntasuunnittelun tietolähteisiin voivat tuottaa hyödyllistä tietoa eri markkinaosapuolille. Ne tarjoaisivat mm. kuormitustietoja verkostosuunnitteluun, entistä tarkempien kuormituskäyrämallien kehittämismahdollisuuksia ja tietoa energiankäytön tehostumisesta ja sen vaikutuksista, kuten lämpöpumppujen vaikutuksista energian kulutukseen sähkölämmitteisissä kiinteistöissä.

4 AMR-TIEDONSIIRTO

Nopea ja luotettava kaksisuuntainen tiedonsiirto on yksi joustavan interaktiivisen asiakasliittymän toteutumisen perusedellytyksistä. Kasvava tarve siirtää yhä suurempien määriä tietoa asettaa tiedonsiirtojärjestelmille entistä tiukempia vaatimuksia. AMR-järjestelmien tiedonsiirtoyhteyksien täytyy pystyä välittämään mm. entistä tarkempia energia- ja sähkönlaatumietoja sekä erilaisia ohjaus-, valvonta- ja hälytyssignaaleita. Eri toiminnot asettavat erilaisia vaatimuksia tiedonsiirron luotettavuudelle, nopeudelle sekä hinnalle ja niiden perusteella määräytyy pitkälti kulloiseenkin tilanteeseen parhaiten soveltuva tiedonsiirtoratkaisu.

4.1 Yleisimmät tiedonsiirtoratkaisut

Tässä kappaleessa on esitelty pintapuolisesti yleisimpiä AMR-järjestelmissä käytettyjä tiedonsiirtoratkaisuja. Käytettävän tiedonsiirtoratkaisun valintaan vaikuttavat pääasiassa siirrettävän tiedon määrän, tiedonsiirrosta aiheutuvat kustannukset, maantieteellinen sijainti ja tiedonsiirrolle haluttu luotettavuustaso.

AMR-mittareiden tiedonsiirtoon käytettävän tekniikan valintaa täytyy tarkastella tapauskohtaisesti, sillä yhtä kaikkiin tilanteisiin hyvin sopivaa ratkaisua ei ole olemassa. Yleisesti voidaan kuitenkin sanoa, että lyhyille matkoille ja tiheään asutuille alueille soveltuvat parhaiten keskitetyt tiedonsiirtoratkaisut. Tällaisilla alueilla niillä saavutetaan paras kustannustehokkuus tiedonsiirrosta. Haittapuolena voidaan pitää nykyisten keskitinpohjaisten PLC- ja RF-(Radio Frequency) tekniikoiden tarjoamia verrattain pieniä tiedonsiirtonopeuksia, jotka eivät riitä vaativampaan tiedonsiirtoon. Pitkille välimatkoille ja harvaan asutuilla alueilla hajautetut ratkaisut ovat usein kustannustehokkaimpia.

Taulukkoon 4.1 on koottu eri lähteistä yleisimpiä tiedonsiirtotekniikoita, niiden kantamat ja tiedonsiirtonopeudet. Taulukon 4.1 tiedonsiirtonopeudet ovat teoreettisia arvoja, jotka poikkeavat todellisista tiedonsiirtonopeuksista. Eräiden tekniikoiden kohdalla on esitetty arvio myös käytännön tiedonsiirtonopeudesta. Todelliseen tiedonsiirtonopeuteen vaikut-

tavat monet eri tekijät kuten verkon kuormitus ja häiriöt, joten niille ei monissa tapauksissa pystytä esittämään tarkkoja arvoja.

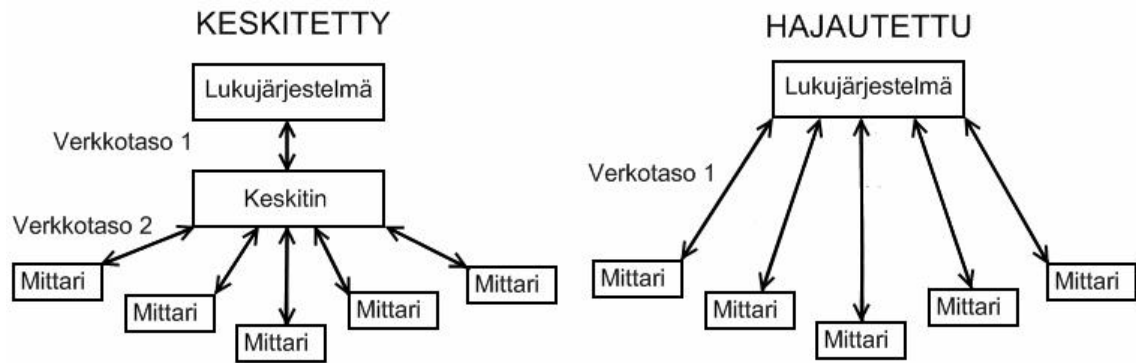
Taulukko 4.1 Yleisimpiä tiedonsiirtotekniikoita ja niiden ominaisuuksia

| | Kantama | Tiedonsiirtonopeus |
|---|----------------------|--|
| PLC | 300-500 m | 1-3 kbps, käytännössä n.1,5 kbps |
| GPRS | Kattava | 53,6 kbps, käytännössä 20-40 kbps |
| 3G | Kattava kaupungeissa | 384 kbps (max), käytännössä 150–300 kbps. |
| Kuparikaapelia käyttävät tekniikat | 1-5 km | 10 Mbit/s |
| Valokaapelia käyttävät tekniikat | 10-100 km | 10-100 Mbit/s |
| WLAN | 50-100 m | 11 Mbit/s |
| RF | 50-100 m | 1-100 kbps |

Suurempaa kaistanleveyttä tarjoavat tiedonsiirtotekniikat (WLAN, Kupari, Valo) ovat usein liian kalliita toteuttaa laajassa mittakaavassa, joten niitä ei tarkastella tässä yhteydessä sen tarkempaan. Keskitetään tiedonsiirtotekniikoiden tarkastelu kahteen arkkitehtuuriltaan erilaiseen ratkaisuun, joiden perusteella tarkastelua voidaan tarvittaessa helposti laajentaa koskemaan muita kyseisiä arkkitehtuuria hyödyntäviä tiedonsiirtotekniikoita.

4.2 Tiedonsiirtoarkkitehtuurit

AMR-tiedonsiirrossa käytetään yleisesti sekä keskitettyä että hajautettua tiedonsiirtoarkkitehtuuria. Esimerkkeinä voidaan mainita GPRS-tekniikka hajautetun ja PLC-tekniikka keskitetyn ratkaisun tapauksessa. Kuvassa 4.1 on esitetty hajautetun ja keskitetyn AMR-järjestelmän tiedonsiirron periaatteellinen eteneminen.



Kuva 4.1. Keskitettyä ja hajautettua tiedonsiirtoa käyttävät AMR-järjestelmät

Keskitetyn AMR-järjestelmän tiedonsiirto toimii kahdella eri verkkotasolla. Toisella verkkotasolla kuluttajien AMR-mittarit kommunikoivat keskittimen kanssa, joka kerää tarvittavat tiedot mittareilta. Keskitin puolestaan lähettää yksittäisiltä mittareilta kootut tiedot eteenpäin lukujärjestelmään ensimmäisellä verkkotasolla. Tällaisen järjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että keskittimen ja lukujärjestelmän välinen tiedonsiirtoyhteys on riittävän nopea, ettei siitä muodostu koko järjestelmää hidastavaa pullonkaulaa.

Hajautetussa järjestelmässä AMR-mittarit käyttävät ns. *point-to-point* kommunikointia, jolloin mittarit kommunikoivat suoraan lukujärjestelmän kanssa ilman välikäsiä. Näin ollen hajautetussa järjestelmässä on yksi verkkotaso vähemmän verrattuna keskitettyyn järjestelmään.

4.3 PLC-tekniikka

PLC-tekniikkaa voidaan käyttää niin kapea- kuin laajakaistaiseen tiedonsiirtoon sähköverkossa. PLC-tekniikkaa on ollut käytössä jo vuosikymmeniä, mutta nopeaan tiedonsiirtoon pystyvää tekniikkaa on ilmestynyt vasta viime vuosien aikana. Sähköverkkotiedonsiirto voidaan jakaa eri kategorioihin kaistanleveyden mukaan; kapeakaistaiseen (<100 kbit/s) ja laajakaistaiseen (<200 Mbit/s). Yleisimpiä käyttökohteita kapeakaistaiselle sähköverkkotiedonsiirrolle ovat erilaiset automaatio-sovellukset sekä mittarinluku ja laajakaistaiselle sisäverkot sekä internetyhteydet. (Ahola 06)

Sähköverkkotiedonsiirto voidaan kategorisoida myös sovelluskohteiden mukaan; suur- ja keskijänniteverkot ($U_n > 1$ kV), pienjänniteverkot ($U_n < 1$ kV) ja kiinteistöjen sisäverkot. Sähköverkkotiedonsiirrosta käytetään Suomessa yleisesti myös termiä datasähkö (Kosonen 08). Sähköverkko soveltuu usein parhaiten ns. ”*last-mile*” tiedonsiirtoon eli muiden tiedonsiirtotekniikoiden jatkoksi. Sähköverkkotiedonsiirron suurimpana etuna on valmis sähköverkkoinfrastruktuuri, joka tavoittaa lähes 100 % kotitalouksista. Tästä syystä PLC-tekniikan käyttö AMR-mittareiden tiedonsiirtoon on usein edullinen vaihtoehto sähköverkkoyhtiöille (Heiska 06).

Sähköverkkotiedonsiirto perustuu 50 Hz verkkotaajuuden sekaan moduloituun korkeampitaajuiseen signaaliin. Tiedonsiirtosignaali etenee sähkönjakeluverkossa siis verkkosähkön tapaan, tosin korkeampitaajuisena ja jännitetasoltaan pienempänä. Vastaanotopäässä signaaleista saadaan suodattamalla ja demoduloimalla esiin halutut taajuudet. Tiedonsiirtolaitteisto ja sähköverkko erotetaan toisistaan ylipäästösuotimilla. (Kosonen 08)

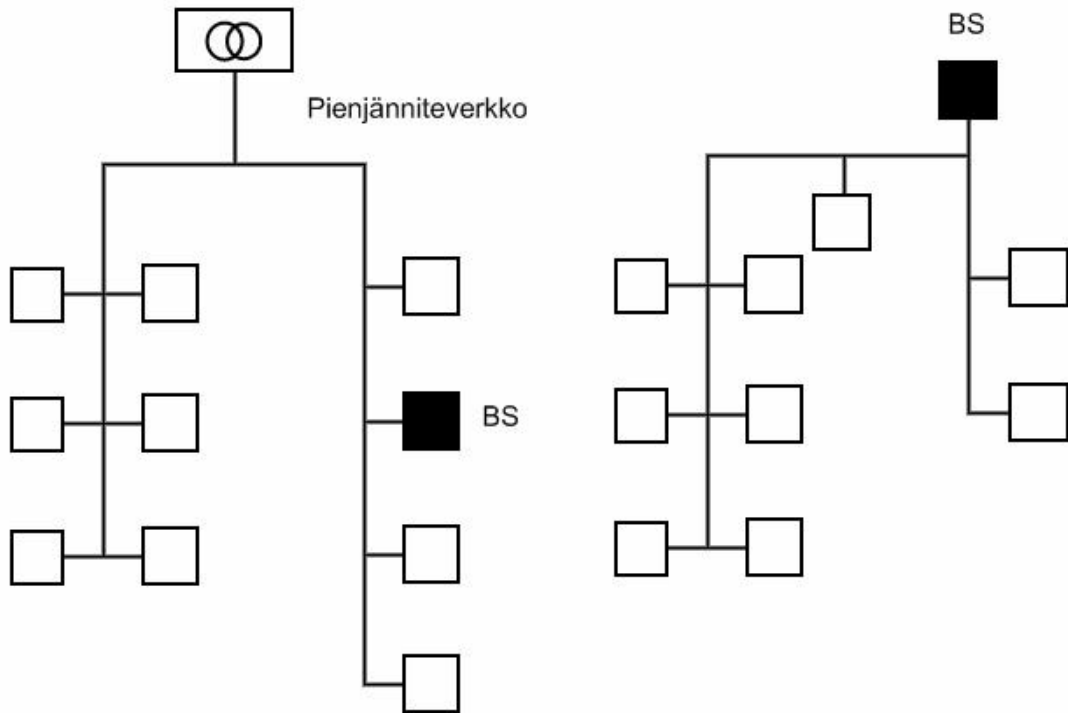
Pienjänniteverkon PLC-laitteiden välinen kantama on maksimissaan 500 m (L+GR 09). Verkkoa voidaan laajentaa ja jakaa useisiin haaroihin, mutta se voi vaatia toistimien käyttöä, koska signaali vaimenee verkossa. Signaalin vaimenemiseen vaikuttavat verkon kuormat, verkossa esiintyvät häiriöt, siirtojohdon ominaisuudet, johdon haarautumiset sekä liitoskohdat tai muut epäjatkuvuudet jotka aiheuttavat signaalin vaimenemista. (Hrasnica 04) Jos signaali vaimenee liikaa, voi tiedonsiirto hidastua olennaisesti tai pahimmassa tapauksessa estyä kokonaan.

Tyypillisesti pienjänniteverkot noudattavat puutopologiaa. Pienjänniteverkon rakenne määrittelee pitkälti myös PLC-verkon rakenteen. PLC-keskittimen sijainti tosin vaikuttaa siihen minkälaiseksi PLC-verkon topologia muodostuu. Tyypillisesti PLC-keskittin on sijoitettu pienjänniteverkoissa jakelumuuntajan tai jakokeskuksen yhteyteen. Tällöin PLC- ja pienjänniteverkon topologiat ovat yhtenevät. Kuvassa 4.2 on esitetty PLC-modeemin induktiivinen kytkentä pienjänniteverkkoon jakelumuuntajalla.



Kuva 4.2. PLC-modeemin induktiivinen kytkentä pienjänniteverkkoon jakelumuuntajalla (Ahola 06)

Joissain tapauksissa voi olla järkevää sijoittaa PLC-keskitin jonnekin muualle verkkoon kuin jakelumuuntamon yhteyteen. Tällainen ratkaisu on järkevä esim. tapauksissa joissa näin saadaan parempi tiedonsiirtoyhteys keskittimeltä lukujärjestelmään. Tällöin PLC-verkon tukiasemalta nähty verkko näyttää erilaiselta kuin muuntajalta nähty pienjänniteverkko. Itse verkon topologia ei kuitenkaan muutu vaan säilyy puutopologiana. Tätä on havainnollistettu kuvalla 4.3.



Kuva 4.3. Pienjänniteverkon topologia ja sitä vastaa PLC- verkon topologia.

PLC-verkko sisältää keskittimen (BS), mahdollisesti toistimia ja PLC-modeemeilla varustetut AMR-mittarit, jotka sijaitsevat asiakkaiden liityntäpisteessä. AMR-mittareilta voi olla edelleen jatkoyhteys kiinteistöjen sisäisiin verkkoihin. Kiinteistöjen sisäverkkoja ei käsitellä tässä työssä.

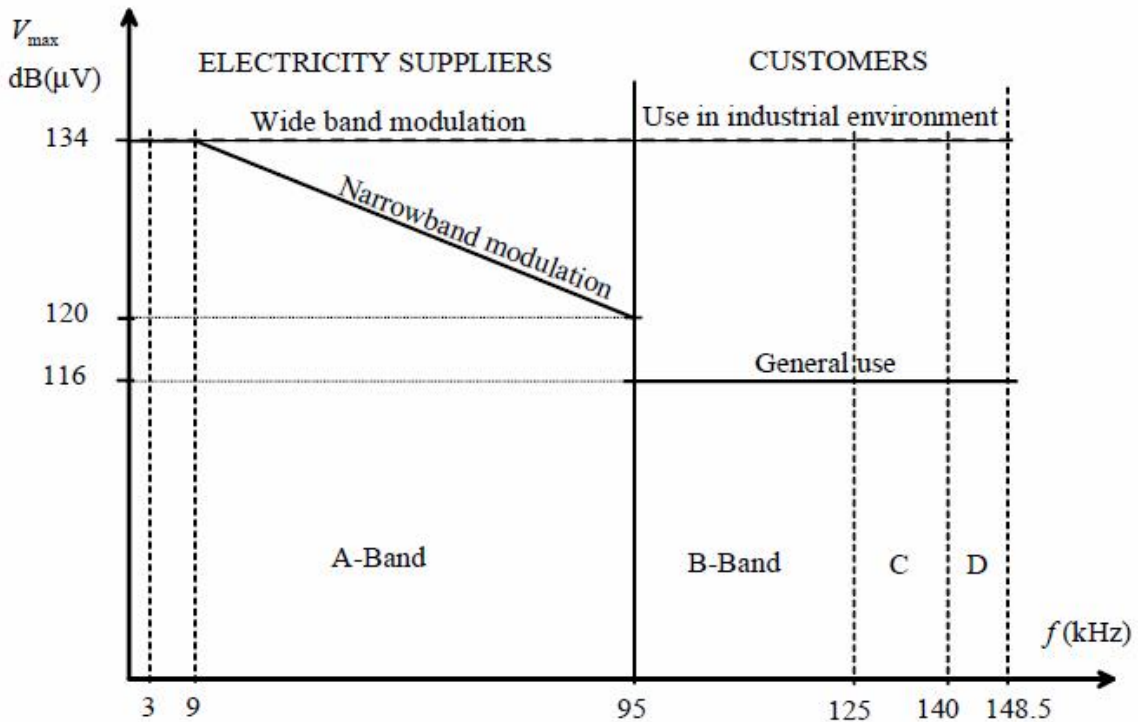
4.3.1 PLC-tiedonsiirto Genelec taajuuksilla

Pienjänniteverkoissa tapahtuvaa tiedonsiirtoa sääntelee Euroopassa GENELEC:n määrittämä standardi EN 50065-1 (julkaistu 1991). Se määrää pienjännite tiedonsiirron taajuusalueeksi 3-148,5 kHz, joka jakautuu neljään alahaaraan taulukon 4.2 mukaan. (Ahola 03)

Taulukko 4.2. GENELEG EN 50065-1 standardin määrittelemät signaloinnin taajuuskaistat.

| Taajuuskaistan tunnus | Taajuusalue (kHz) | Määritelty käyttäjäryhmä |
|-----------------------|-------------------|--------------------------|
| A | 3-95 | Sähköverkkoyhtiöt |
| B | 95-125 | Kotitaloudet |
| C | 125-140 | Kotitaloudet |
| D | 140-148,5 | Kotitaloudet |

Taajuuskaista A 3-95 kHz on tarkoitettu ainoastaan sähköverkkoyhtiöiden käyttöön ja taajuuskaistat B, C ja D on varattu kaikki kiinteistöjen sisäisen sähköverkkotiedonsiirron käyttöön. CENELEC EN 50065-1 määrittelee myös lähettimen maksimaalisen lähtöjännitteen signaloinnin eri tasoille. Taajuuskaistan A maksimisignaalitaso on 134 dB μ V, joka on laajakaistaisen moduloinnin käytössä. Kapeakaistaisen moduloinnin maksimisignaalitaso on 120 dB μ V. Kuvassa 4.4 on esitetty kyseiset signaloinnin taajuuskaistat ja tehotasot. (Ahola 03)



Kuva 4.4. CENELEC EN 50065-1 Euroopassa määrittelemät signaloinnin taajuuskaistat ja maksimitehotasot (Ahola 03)

Korkeat taajuudet ovat ongelmallisia sähköverkkotiedonsiirrossa, koska ne vaimenevat voimakkaasti johtimien suojoina käytettävien PVC-eristeiden takia. Tämä on suuri tiedonsiirtomatkaa rajoittava tekijä. (Ahola 06) Lisäksi korkeista taajuuksista (etenkin yli 30 kHz) aiheutuu häiriöitä ympäristöön, mikä voi häiritä samoja taajuuksia käyttävää radio-liikennettä. Tästä syystä PLC-järjestelmien täytyy toimia pienillä lähetystehoilla, mikä rajoittaa niiden kantamaa.

GENELEC taajuuksien PLC-tiedonsiirrolle on ominaista kanavien ja kaistan rajoittuneisuus sekä epälineaarisuudet, jotka aiheuttavat viiveitä ja signaalin vääristymistä (Haggo 07). Näiden taajuuksien PLC-tiedonsiirrolle on ominaista myös suhteellisen lyhyt kantama, mikä johtuu signaalin vaimenemisesta verkon kuormien ja häiriöiden vaikutuksesta. Verkon häiriöt aiheutuvat esimerkiksi toisista verkkoon kytketyistä laitteista ja verkosta itsestään. Verkon muut laitteet aiheuttavat mm yliaaltoja, transientteja ja kohinaa.

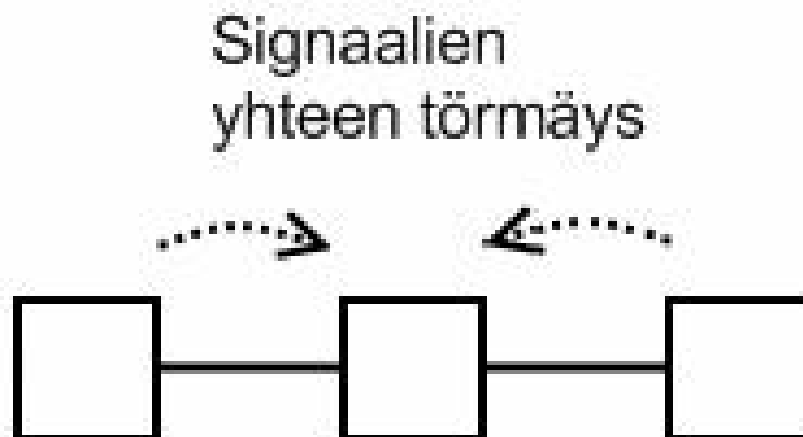
AMR-mittareiden luvussa PLC-tiedonsiirto soveltuukin parhaiten lyhyille välimatkoille, alueille joissa asutusta on suhteellisen tiheään, kuten kaupunki ja kerrostaloalueille. Tällöin sen lyhyt kantama ei muodosta niin suurta ongelmaa ja sen käytöstä saadaan paras hyöty irti, kun yhden keskittimen alle saadaan paljon asiakkaita.

4.3.2 PLC-kommunikointi

PLC-verkon topologia on *master-slave*-tyyppinen. Keskitin toimii *master*-asemana ja päätelaitteet toimivat *slave*-asemina. Keskitin ja siihen kytketyt päätelaitteet sisältävät PLC-modeemit, jotka ovat kytkettyinä sähköverkkoon. Keskittimen ja päätelaitteiden välillä voi olla myös toistimia, joiden avulla signaalia voidaan vahvistaa ja näin kasvattaa verkon kokoa. PLC-tekniikka mahdollistaa kaksisuuntaisen eriaikaisen (*Half Duplex*) tiedonsiirron. Keskitin suorittaa kyselyjä määrätyn väliajoin *slave*-laitteille, jotka vastaavat kyselyyn. Näin tiedot luetaan mittareilta keskittimelle, josta ne siirretään eteenpäin lukujärjestelmään esimerkiksi jollain langattomalla, kupari- tai valokaapelitekniikalla.

PLC-modeemit voivat käyttää useampia eri taajuusalueita, mikä mahdollistaa niiden monipuolisemman käytön eri tilanteissa. Verkkoa voidaan jakaa pienempiin alueisiin, jotka toimivat eri taajuusalueilla. Näin ollen esimerkiksi paljon haaroittuneissa verkoissa voidaan eri haaroille määritellä omat aliverkot, jotka toimivat kukin omalla taajuusalueellaan. Eri taajuuksien käytön etuna on, että signaalit eivät häiritse toisiaan, jolloin tiedonsiirron luotettavuus paranee. Se millaista modulointia sähköverkkotiedonsiirrossa käytetään vaikuttaa olennaisesti signaalien etenemiseen. Lähetettävä signaali pitää saada eristettyä sähköverkon muista signaaleista niin, etteivät ne häiritse toisiaan. (Haghgoo 07)

PLC-verkon toiminnan kannalta on tärkeää, että kaikki verkon PLC-modeemit pystyvät kommunikoidaan keskenään. Koska pienjänniteverkon topologia määrää myös PLC-verkon rakenteen, voi syntyä tilanteita joissa jokin kuluttajista on niin kaukana keskittimestä ettei PLC-signaalien kantama riitä. Toinen yleinen ongelma PLC-verkoissa on signaalien yhteen törmääminen. Koska useampi laite käyttää samaa taajuutta tiedonvälitykseen samalla linjalla, on kahden eri laitteen samanaikaisesti lähettämien signaalien törmääminen mahdollista. Tästä syystä kuittaukset viestin saapumisesta ja tarkastuskyselyt ovat tärkeä osa tiedonsiirtoa. (Haghgoo 07) Kuvassa 4.5 on esitetty esimerkkitapaus signaalien törmäämisestä. Verkon ensimmäinen ja viimeinen PLC-modeemi eivät pysty havaitsemaan toisiaan liian pitkän välimatkan takia, jolloin tiedon välitys tapahtuu niiden välissä olevan välimodeemin kautta, joka pystyy havaitsemaan kaksi muuta modeemia. Verkon molemmista päistä lähetetään yhtä aikaa tietoa keskellä olevalla välimodeemille, jolloin keskimmäisen modeemin kohdalla tapahtuu signaalien yhteentörmäys, minkä seurauksena tiedonsiirto estyy.



Kuva 4.5. Signaalien yhteentörmäys.

Signaalien törmäminen pystytään estämään tehokkaasti sopivan tiedonsiirtoprotokollan käytöllä. Kun yksi verkon PLC-modeemeista toimii *master*-asemana, se voi hallita tiedonsiirtoa niin, ettei yhteentörmäyksiä synny. Lisäksi on tärkeää, että jokaisella kuluttajalla on oma ID (identification, tunniste), jonka perusteella ne pystytään erottamaan toisistaan.

Tiedonsiirtoprotokolla määrittelee tiedonsiirron toteutuksen PLC-verkossa. Se määrittelee mm. millä tavoin haluttu mittari löydetään verkosta, miten kuittaukset viestien perilemenosta toteutetaan ja miten toimitaan virheellisen luennan tapauksessa. Tiedonsiirtoprotokollia on monia erilaisia ja eri valmistajien laitteet tukevat eri protokollia. Tästä syystä sähköverkkotiedonsiirtoa hyödyntävää AMR-järjestelmää laajennettaessa onkin tärkeää ottaa selvää, mitä protokollia valmistajan laite tukee, jotta laitteet ovat yhteensopivia jo verkossa olevien laitteiden kanssa.

Tiedonsiirtoprotokollasta riippuen PLC-modeemien välinen kommunikointi voi tapahtua joko suoraan keskittimeltä mittarille tai toistofunktion avulla mittarilta mittarille periaatteella. Suora kommunikointi keskittimestä mittarille on aina parempi vaihtoehto, koska toistofunktio varaa koko kanavan eikä muuta dataa voi tällöin siirtyä. Myös verkon häiriöt aiheuttavat enemmän ongelmia mittarilta mittarille kommunikoinnissa, etenkin suurissa verkoissa. Toistofunktiota käytettäessä oikean mittarin löytämiseen ja yhteyden muodostamiseen voi kulua huomattavia aikoja suurissa verkoissa, koska viesti voi kulkea monen mittarin kautta. Tästä syystä olisi suotavaa, että käytettävä tiedonsiirtoprotokolla maksimoisi suorien yhteyksien määrän.

Seuraavana tutustutaan tarkemmin tiedonsiirtoprotokollan toimintaan ja erilaisiin pienjänniteverkon PLC-ratkaisuihin. Näitä on lukuisia erilaisia, mutta tämän työn laajuudessa tutustutaan näistä vain muutamaan esimerkinomaisesti.

4.3.3 Modbus tiedonsiirtoprotokolla

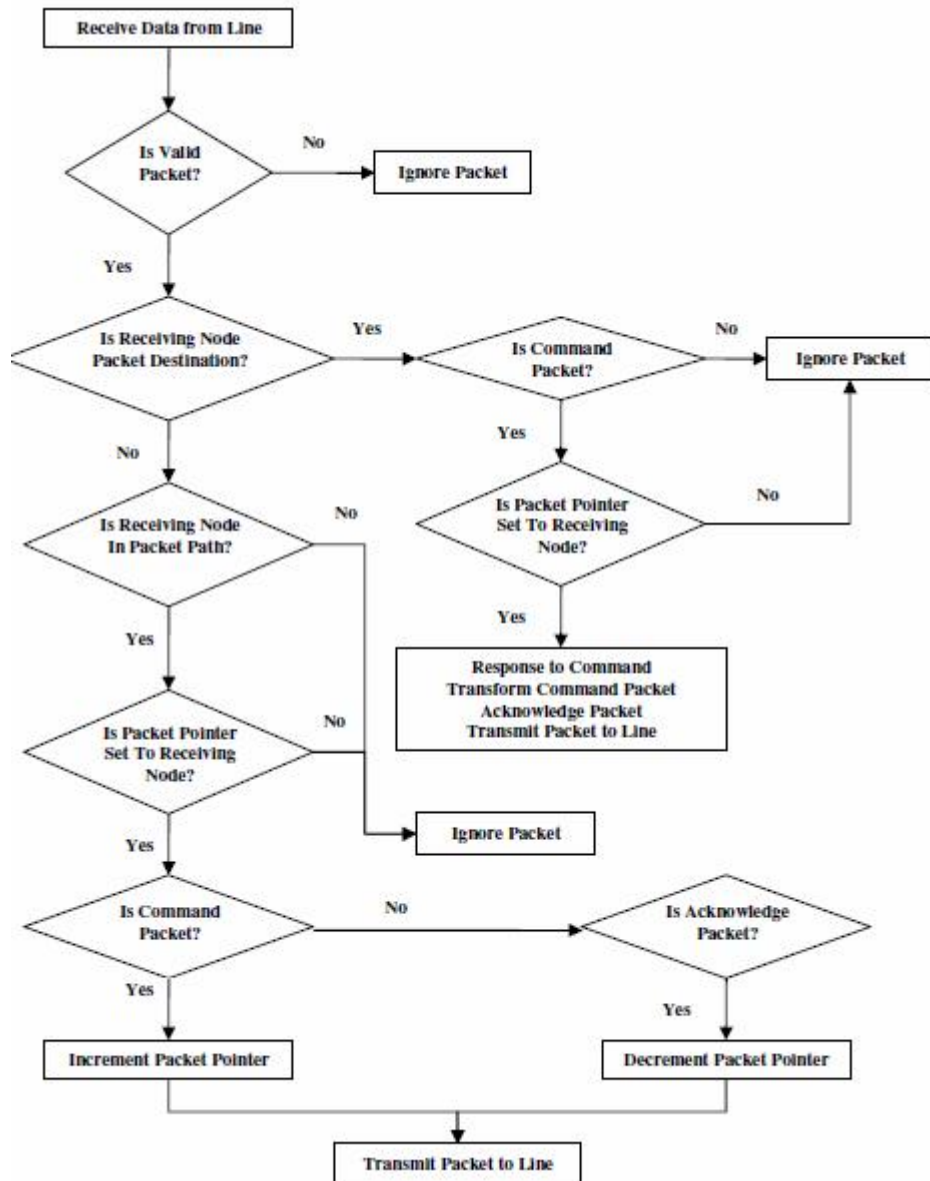
Modbus on standardi tiedonsiirtoprotokolla, jota käytetään pien- ja keskijänniteverkkojen tiedonsiirrossa. Se perustuu *master - slave* rakenteeseen. Se käyttää tiedonsiirtoon kahta eri kommunikointimenetelmää. (Hagghoo 07)

1. *Polling*-menetelmä: *Master*-asema lähettää pyynnön vuorollaan kullekin *slave*-asemalle ja odottaa kiittausta.
2. *Broadcast*-menetelmä: *Master*-asema lähettää käskyn kaikille *slave*-asemille, jotka toteuttavat pyydetyn käskyn ilman että lähettävät erillisiä vastaanottoilmoituksia tai kiittäuksia.

Modbus toimii Genelec-taajuuskaistoilla. Tiedon lähetys alkaa aina *master*-solmusta, joka määrittelee lähetysten kohdesolmun ja tarvittaessa välisolmut joiden kautta lähetettävä paketti kulkee. Jokainen solmu voidaan tunnistaa sille ominaisen ID:n perusteella. *Master* lähettää tietoa kohde-solmuun ja odottaa tietyn ajan kiittausta paketin perille menosta. Kun lähetetty paketti on saapunut perille, lähettää kohdesolmu kiittauksen paketin perille menosta. Kiittäus kulkee samaa reittiä päinvastaisessa järjestyksessä takaisin *master*-solmuun. (Hagghoo 07)

Master-aseman lähetettävän tiedon saapuessa soluun, solu tarkistaa onko tieto koodattu sellaiseen muotoon jonka se tunnistaa. Jos tieto on sellaisessa muodossa ettei solu tunnistaa sitä, tietoa ei huomioida. Jos tieto tunnistetaan, solu tarkistaa onko se kohdesolu vai välisolmu jonka kautta lähetetty paketti kulkee. Mikäli solu on kohdesolu, siinä määritelty tehtävä toteutetaan ja kiittäus lähetetään takaisin. Mikäli solu ei ole kohdesolu, lähetetään paketti eteenpäin seuraavaan soluun, jossa sama prosessi toistuu. (Hagghoo 07)

Lähetetty paketti on suunniteltu niin, että vain yksi solu kerrallaan huomioi sen ja tekee seuraavaksi määritellyn toimenpiteen. Muut solut eivät huomioi lähetettyä pakettia ollenkaan. Näin voidaan varmistaa, että paketti kulkee oikeiden solujen kautta, oikeassa järjestyksessä, eikä yhteen törmäyksiä synny. Kuvassa 4.6 on kuvattu Modbus-protokollan mukainen tiedonsiirtotapahtuma vuokaaviolla. (Hagghoo 07)



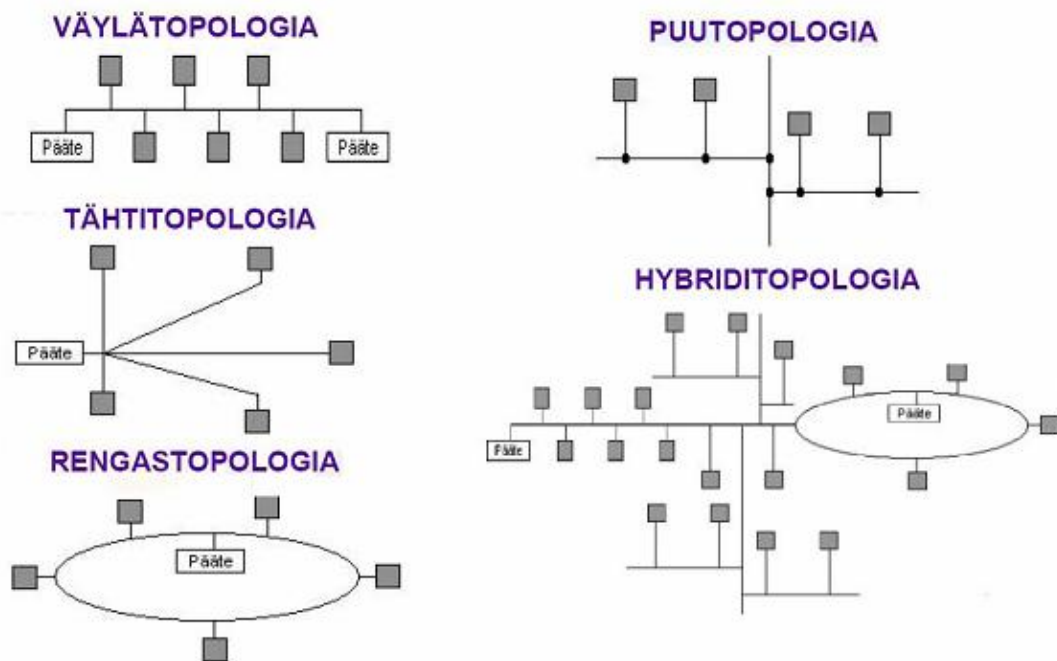
Kuva 4.6. Vuokaavio datapaketin etenemisestä Modbus-protokollan mukaisessa tiedonsiirrossa (Haggo 07)

4.3.4 LonWorks-tiedonsiirtoväylä ja LonTalk-protokolla

LonWorks on Echelon nimisen yrityksen sähköverkkotiedonsiirtoa käyttävä ratkaisu. Sen nimi on LonWorks-verkkotekniikka, mutta siitä käytetään yleisesti myös nimitystä LON (Local Operating Network). LON-verkot voivat hyödyntää tiedonsiirtomediana esimerkiksi pienjänniteverkkoa, parikaapeli- valokaapeli-, koaksiaalikaapeli-, radioaalloja infrapunayhteyttä. LON-teknikalla voidaan saavuttaa 5 kbit/s teoreettinen tiedonsiirtonopeus. (Honkanen 09) Sähköverkkotiedonsiirrossa tosin käytetään taajuuskaistaa 70 -

95 kHz, jolloin tiedonsiirtonopeus pienenee 3 kbit/s. Todelliset tiedonsiirtonopeudet voivat olla vielä tätä huomattavasti pienempiä. Kaikki LON-väyläteknikkaa hyödyntävät laitteet käyttävät kommunikointiin LonTalks-protokollaa (Echelon 09). Se on avoin kaikille ja mahdollistaa eri laitevalmistajien laitteiden yhteensopivuuden. LonTalk perustuu CSMA-tekniikkaan (Carrier Sense Multiple Access), jossa laite kuuntelee ensin tietyn ajan onko väylällä liikennettä ja lähettää tiedot vasta sitten kun väylä on vapaa. LonTalk-protokolla mahdollistaa tiedonsiirron ja verkon laitteiden yhdistämisen ilman että se ottaa kantaa verkon topologiaan, joten se mahdollistaa monien eri topologioiden käytön. Eri-laisia verkkotopologioita on esitelty kuvassa 4.7. (Honkanen 09)

ERI VERKKOTOPOLOGIOITA



Kuva 4.7. LonTalk-protokolla mahdollistaa eri verkkotopologioiden käytön (Honkanen 09)

4.3.5 Maxim

Maxim-niminen yritys on kehittänyt oman PLC-tekniikkaa käyttävän piirratkaisunsa. Kyseistä piirratkaisua käyttävä PLC-modeemi on nimeltään MAX 2990. Se toimii 10 – 490 kHz taajuuskaistalla sisältäen CENELEC:n A-, B-, ja C-taajuuskaistat, joilla toimissaan se lupaa maksimaaliseksi tiedonsiirtonopeudekseen normaaliolosuhteissa 32 kbps. Verrattuna LON-väylän tarjoamaan 3 kbps tiedonsiirtonopeuteen sähköverkossa, päästään sillä yli 10-kertaiseen nopeuteen. MAX 2990:n tiedonsiirto perustuu OFDM (Ort-

hogonal Frequency Division Multiplexing) –modulointiin, jonka ansiosta tiedonsiirto kestää suhteellisen hyvin myös sähköverkossa esiintyvää impulssimaista kohinaa. Piiri käyttää DES (Data Encryption Standard) -salausta ja FEC (Forward Error Correction)-virheenkorjaustekniikkaa. Ominaisuuksiensa ansiosta Maximin piiriratkaisu lupaa suhteellisen korkeita tiedonsiirtonopeuksia pitkillekin etäisyyksille ja soveltuu näin ollen hyvin mm. mittareiden kaukoluentaan, kuormienohjaukseen ja taloautomaation tarpeisiin. (Maxim 09)

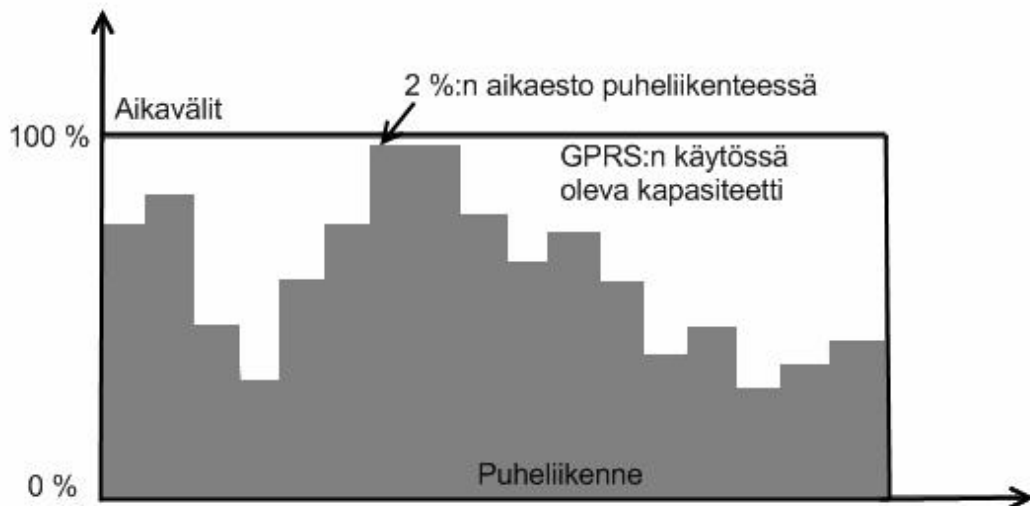
Maximin kehittämä piiriratkaisu on vielä suhteellisen uusi (MAX2990 esiteltiin vuonna 2008), joten se on vasta leviämässä laajempaan käyttöön. Ranskassa ERDF (Electricite Reseau Distribution France) on valinnut Maximin tuotteet seuraavan sukupolven PLC-ratkaisuksi. Yhteistyössä Sagem Communications:n kanssa Maxim toimittaa avoimen PLC-ratkaisun, jonka on tarkoitus helpottaa AMM-järjestelmien käyttöönottoa Ranskassa. ERDF suunnittelee ja järjestää uuden AMM-infrastruktuurin luomisen Ranskaan. Se käsittää koko sähkötoimitusketjun aina sähkön toimittajilta kuluttajille. Jos projekti menee suunnitelmien mukaan, sen seurauksena Ranskaan arvioidaan vaihdettavan 35 miljoonaa uutta PLC-mittaria ja –keskitintä. (Power 09)

4.4 GPRS-tekniikka

Langattomien tiedonsiirtotekniikoiden kehitys on ollut nopeaa ja uusia kehittyneempiä ja suurempaa datanopeutta tarjoavia tiedonsiirtosovelluksia kehitetään jatkuvasti. 2G-tekniikoihin kuuluva GPRS (*General Packet Radio Service*)-tekniikka on jo pitkälti syrjäyttänyt GSM (*Global System for Mobile communications*)-tekniikan tiedonsiirrossa ja lähitulevaisuudessa GPRS:stä tullaan siirtymään hiljalleen 3G- ja niistä edelleen 4G-tekniikoihin. GSM:n pakettikytkentäinen datapalvelu (GPRS) on GSM-järjestelmän laajennus. GSM-verkon käyttämät palvelut ovat olleet piirikytkentäisiä, eli yhteys on muodostettu ja sitä on pidetty yllä vaikka tiedonsiirtoa ei tapahtuisikaan. GPRS-yhteyttä ei sen sijaan tarvitse pitää koko ajan varattuna, vaan fyysinen yhteys on aktiivinen vain dataa lähetettäessä. (Penttinen 01) On kuitenkin muistettava, että myös GPRS-yhteys on ensin luotava, mutta sen jälkeen se voi jäädä stand-by tilaan kunnes sitä tarvitaan. Stand-by tilasta aktivoituminen on kuitenkin huomattavasti nopeampaa kuin uuden yhteyden luo-

minen. Tämä mahdollistaa paremman radiorajapinnan resurssien hyödyntämisen ja sitä kautta myös nopeamman tiedonsiirron.

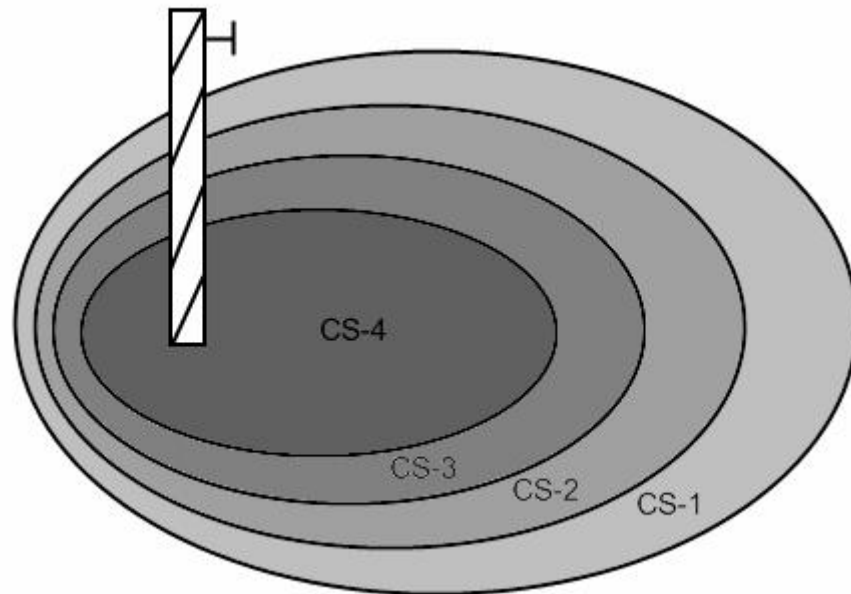
GPRS-järjestelmän toiminta on suunniteltu kapasiteetin suhteen joustavaksi olemassa olevien resurssien puitteissa. GPRS-järjestelmä toimii samoilla taajuuksilla kuin GSM-verkko, joten ne jakavat samat resurssit. Perinteisesti piirikytkentäiset GSM-yhteydet on priorisoitu GPRS:n yli, joten GPRS liikenne estyy osin jos puhelinliikenne varaa paljon resursseja. Ne resurssit jotka piirikytkentäisiltä GSM-yhteyksiltä jäävät käyttämättä, voidaan hyödyntää GPRS:n pakettidataliikenteessä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 4.8. (Penttinen 01) GPRS-verkolle voidaan määrittää minimi aikavälien määrä, jotta sen liikenne ei esty kokonaan aikoina jolloin GSM-liikennettä on paljon. Tämä takaa GPRS-liikenteen jatkuvuuden myös verkon ruuhka-aikoina.



Kuva 4.8. GPRS käyttää puheliikenteeltä jääviä aikavälejä (Penttinen 01)

GPRS:n pakettidatan liikennekanavia varten on määritetty neljä eri kanavakoodausluokkaa, CS-1...CS-4. Mitä heikommin suojattu kanavakoodausluokka on, sitä parempi on yhteyden signaali-häiriösuhteen oltava ja sitä suurempi voi välitettävän hyötydatan osuus olla. Eri kanavaluokilla saavutetaan erilaisia datansiirtonopeuksia. CS-1 luokan datanopeus on pienin, mutta se sietää parhaiten häiriöitä. Vastaavasti CS-4 luokka sietää huomasti verkon häiriöitä, mutta sillä saavutetaan paras datanopeus. Kullakin kanavakoodausalueella on käytännössä kuvan 4.9 mukaiset, toisistaan eriävät peittoalueet. Se kuin-

ka paljon eri kanavakoodausalueiden peittoalueet eroavat toisistaan riippuu kyseisen verkon yleisestä häiriötasosta.



Kuva 4.9. GPRS-kanavakoodausluokkien peittoalueet (Penttinen 01)

Kanavakoodausluokat vaikuttavat olennaisesti saavutettavaan datanopeuteen ja peittoalueeseen. Yhteydelle valitaan automaattisesti optimaalisin kanavakoodausluokka, mistä johtuen käytännössä suurimmat datanopeudet saavutetaan tukiaseman läheisyydessä.

GSM-verkon kanavatyyppit jaetaan liikenne- ja kontrollikanaviin. Liikennekanavia käytetään puheen ja datan siirtämiseen ja kontrollikanavat huolehtivat tunniste-, tahdistus-, ohjaus ja muiden yhteyden kannalta tarpeellisten tietojen siirrosta ja toiminnoista.

4.4.1 GPRS verkon toimintaan ja mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä

Soluverkkojen suunnittelussa on tärkeää huomioida signaalin vaimeneminen. Signaalin voimakkuutta voidaan parantaa kasvattamalla tukiaseman antennin korkeutta. Signaalin vaimenemiseen vaikuttavat monet asiat, kuten ilman kosteus ja maaston esteet. Signaalin vaimenemisen vaikutusta voidaan tutkia erilaisin teoreettisin ja empiirisin mallein. Empiiriset mallit on kehitetty käytännön mittauksien perusteella ja soveltuvat paremmin esi-

merkiksi kaupunkikohteisiin, joissa teoreettisten mallien soveltaminen voi olla liian monimutkaista. (Viinikainen 07)

GSM-verkon mitoitus voi tapahtua esimerkiksi kiiretunnin aikana olevan tietyn maksimi estotodennäköisyyden mukaan, joka on tyypillisesti n. 2...3 %. Verkolle määritetään esimerkiksi 2 % estotodennäköisyys arkisin klo.15-16 väliselle ajalle, jolloin verkon kuormitus on suurimmillaan. Koska GSM ja GPRS jakavat samat resurssit on kapasiteetti jaettava siten, että kummankaan liikenne ei esty liika verkon ruuhka-aikoina. Se kuinka hyvin GPRS:n käytettävissä oleva kaista pystytään hyödyntämään, riippuu GSM-käyttäjien määrästä ja kanavanvarausalgoritmista (Penttinen 01). On tärkeää huomioida, että rajoitettu määrä kanavia palvelee suurta määrää käyttäjiä. Jos vapaita kanavia ei ole, ei yhteyttä pystytä muodostamaan. Kanavien riittävyys kaikille käyttäjille voidaan varmistaa esimerkiksi dynaamisella kanavien sijoittelulla tai erilaisilla kanavanlainaus strategioilla.

Verkon kapasiteettia voidaan lisätä kahdella eri tavalla, jotka ovat soluverkon solujen jakaminen ja sektorointi. Lisäämällä tukiasemien määrää ja pienentämällä solujen kokoa voidaan kasvattaa kanavien uudelleenkäyttöä (kapasiteettia). Toinen mahdollisuus on solujen sektorointi. Tällöin solun sädettä ei muuteta vaan kanavan uudelleenkäytösuhdetta parannetaan esimerkiksi suuntaavien antennien avulla (Viinikainen 07). Näin pyritään pienentämään verkon häiriötasoa, jolloin käytössä oleva siirtokapasiteetti saadaan paremmin hyötydatan käyttöön. Pelkällä tehonlisäyksellä ei kapasiteettia välttämättä saada lisättyä, sillä myös häiriöiden määrä lisääntyy tehoa kasvatettaessa. Häiriöitä aiheutuu mm. epätäydellisistä vastaanottimista, jotka antavat viereisten taajuuksien vuotaa päästökaistalle. Viereisten kanavien aiheuttamaa häiriötä voidaan pienentää suodatuksella ja järkevällä kanavien sijoittelulla. Erilaisilla jakomenetelmillä on mahdollista pitää vierekkäiset kanavat riittävän kaukana, tietyn kaistanleveyden päässä toisistaan. Jotkin menetelmät voivat myös estää viereisten kanavien käytön naapurisoluihin. Vastaanottimien suodattimet pyritään suunnittelemaan niin, että ne torjuvat mahdollisimman suuren osan viereisten kanavien aiheuttamista häiriöistä.

Käytännössä lähetystehon säätö tapahtuu jokaiselle yhteydelle erikseen. Näin pyritään minimoimaan häiriötilanteet ja optimoimaan viestimen akun kesto. Tehonsäätö perustuu tukiaseman ja viestimen ilmoittamiin kentänvoimakkuuksiin ja tiedonsiirron laadun mittauksiin. Sekä tukiasema että viestin käyttävät pienintä mahdollista lähetystehoja niin, että yhteyden laatu pysyy hyväksyttävällä tasolla. Näin voidaan parantaa taajuuksien uudelleenkäyttöä (Viinikainen 07).

GPRS:llä saavutettavaan tiedonsiirtonopeuteen vaikuttavat useat tekijät. Tukiaseman tekniikan lisäksi mm. kuuluvuusalueen yleinen kuuluvuus, verkon kuormitus, verkon häiriöt ja säätila vaikuttavat käytännössä saavutettavaan tiedonsiirtonopeuteen. GPRS:n teoreettinen tiedonsiirtonopeus on 56 kbit/s, mutta käytännön tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat yleensä n.20-40 kbit/s tietämällä.

4.5 Tiedonsiirron tarpeita

Erilaiset toiminnot ja palvelut vaativat erilaisten tietojen siirtämistä ja asettavat siten erilaisia vaatimuksia AMR-järjestelmille ja tiedonsiirtoyhteyksille. Erityisesti siirrettävän tiedon määrä ja toiminnon aikakriittisyys asettavat tiedonsiirrolle minimivaatimuksia. Esimerkiksi erilaisille hälytyksille on tärkeää nopea ja luotettava yhteyden muodostus, mutta välitettävät datamäärät ovat pieniä. Tarkkojen energiankulutus- tai sähkön laatu-tietojen kaukoluenta vaatii puolestaan suuren datamäärän siirtämistä, mutta siihen voidaan käyttää paljon enemmän aikaa kuin hälytysten välitykseen.

4.5.1 AMR-järjestelmille ja mittareiden luennalle esitettyjä vaatimuksia

Tutkitaan automaattisen mittarinluvun kannalta tärkeiden toimintojen asettamia vaatimuksia tiedonsiirtoyhteyksille. Laki ja asetukset asettavat omat vaatimuksensa mittauksille, tiedonsiirtoyhteyksille ja tietojärjestelmille, Luvussa 3.7 tarkemmin esitelty Valtioneuvoston 5.2.2009 antama asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (VN

09) vaatii tulevaisuudessa mm. alla lueteltuja ominaisuuksia ja toimintoja mittausjärjestelmiltä.

- Etäluentaominaisuus
- Yli kolmen minuutin pituisten jännitekatkojen alkamis- ja päättymisajan rekisteröinti
- Kyky vastaanottaa, välittää ja panna täytäntöön kuormanohjauskomentoja
- Tuntimittaustietojen luenta kerran vuorokaudessa.

Tarkemmat tiedot asetuksen voimaantulosta, poikkeuksista ja sen asettamista vaatimuksista löytyvät lähteestä (VN 09).

Lain ja asetusten lisäksi eri työtyöryhmät ja projektit ovat selvittäneet AMR-mittauksilta ja -järjestelmiltä tulevaisuudessa mahdollisesti vaadittavia tai tarvittavia toiminnallisuuksia ja ominaisuuksia. Alle on koottu tärkeimpiä INCA-projektissa määriteltyjä toiminnallisuus-, mittaus- ja etäluentatarpeita.

Toiminnallisuudet:

- Energia-, teho-, ja sähkönlaatumittaukset
- Hälytykset
- Kuormanohjaukset (taajuuden ja hintasignaalin mukaan säätyvä, sekä ulkoinen ohjaus)
- Mittaustietojen taltiointi mittariin määräajaksi
- Paikallinen näyttö
- Pienjänniteverkon automaatiota tukevat toiminnot
- Sähköauton älykäs latausmahdollisuus

Mittaus- ja etäluentatarpeita:

- Tunti-, minuutti-, ja sekuntitason mittaustietoa saatavilla tarvittaessa eri palveluita ja toimintoja varten
- Kaukoluettavissa seuraavat tiedot

- 1) Viikon / vuorokauden tuntidata
 - 2) Edellisen vuorokauden minuuttiarvot
 - 3) Viimeisen tunnin sekuntiarvot
- Standardin EN 50160 mukaiset jakelujännitteen arvot
 - Vesi-, viemäri-, ja kaukolämpömittaroinnin integrointi sähkömittareihin
 - Hälytykset raja-arvojen ylittyessä
- Ø Virtamittaus: nollavirta, vaihevirrat \neq epäsymmetria
 - Ø Sähkökatkot (jälleenkytkentöjen tunnistus)
 - Ø Ylijännitteet

4.5.2 Mittaustietojen etäluennan asettamat vaatimukset tiedonsiirtoyhteisille

Erilaisten uusien palvelujen ja toimintojen toteuttaminen vaatii niihin tarvittavien tietojen riittävän nopeaa ja luotettavaa saatavuutta. AMR-järjestelmiä suunniteltaessa onkin olennaista miettiä mitä ja miten tarkkoja mittaustietoja tarvitaan, sekä miten nopeasti ne on pystyttävä välittämään. Tiedonsiirron luotettavan ja kustannustehokkaan toteuttamisen kannalta on tärkeää kartoittaa ensin tiedonsiirron tarpeet.

Uusia tiedonsiirtojärjestelmiä suunniteltaessa on olennaista selvittää mitä mittaus-, aika-, ja tunnistetietoja tarvitaan, sekä mitä niiden esittäminen digitaalisessa muodossa vaatii. Resoluutio jolla mitatut suureet esitetään vaikuttaa olennaisesti käsiteltäviin tietomääriin ja tiedonsiirtotarpeisiin. Koska suureiden esittämiseen tarvittavia bittimäärä riippuu tarkkuudesta jolla mittaustulokset halutaan esittää, tulee ensin miettiä miten tarkkoja mittauservoja tarvitaan.

Bitti on pienin mahdollinen digitoitun tiedon määrää ilmaiseva yksikkö, joka vastaa arvoa 1 tai 0. Biteillä voidaan ilmaista 2^n tilojen määrää, jossa n on bittien määrä. 8 bitin avulla saadaan esitettyä siis $2^8 = 256$ arvoa ja 16 bitillä $2^{16} = 65536$ arvoa. Täten esimerkiksi esitettäessä jännite U 16 bitillä sen mittaalueen ollessa 0-500 V, saadaan jännite esitettyä noin $500/65536 \approx 0,0008$ V tarkkuudella. Vastaavasti jos jännite esitetään sa-

malla mittausalueella 8 bitillä, saadaan tarkkuudeksi noin $500/256 \approx 1,95$ V. Nykyisissä tietojärjestelmissä tietomäärät esitetään yleensä tavuina. Yksi tavu on 8 bittiä, joten suureiden ja tunnusten esittämiseen tarvittavat bittimäärät esitetään kokonaisten tavujen suuruisina.

Nykyiset ja lähitulevaisuudessa tarvittavat mittaustiedot vaativat vain muutaman perussuuren arvojen mittaamista ja välittämistä. Niiden avulla voidaan laskea muita mahdollisesti tarvittavia arvoja. Mittaustietojen välittämisen yhteydessä täytyy välittää tietoa myös mittausten suorittamisajankohdasta ja mittaustilanteesta, jota varten lähetettävien mittaustietojen yhteyteen liitetään aikaleima ja asiakastunnus.

Taulukkoon 4.3 on koottu AMR-mittareilla mitattavia suureita ja tiedonsiirrossa tarvittavia tunnuksia, joiden avulla voidaan tässä luvussa aiemmin esitellyt mittaustiedon tarpeet täyttää. Taulukosta selviävät niiden digitaalisessa muodossa esittämiseen tarvittavat bittimäärät. Mittaustietojen resoluutio on mitoitettu niin, että se on yleisimpiin mittaustiedontarpeisiin riittävä. Tulee kuitenkin muistaa, että jos halutaan erittäin tarkkoja mittaustietoja esimerkiksi sähkön laadusta niiden esittämiseen voidaan tarvita parempaa resoluutiota, jonka seurauksena suureiden esittämiseen tarvitaan myös enemmän bittejä.

Taulukko 4.3. Eri suureiden ja tunnusten esittämiseen tarvittavat bittimäärät

| Suure / tunnus | Tarvittava bittimäärä |
|----------------|-----------------------|
| <i>P</i> | 16 |
| <i>Q</i> | 16 |
| <i>U</i> | 16 |
| <i>I</i> | 16 |
| Aikaleima | 40 |
| Asiakastunnus | 16 |

Taulukon 4.3 arvojen avulla voidaan laskea yleisimpien mittaustietojen siirtoon vaadittavat hyötydatan määrät, jotka on esitetty taulukossa 4.4. Taulukossa 4.4 esitettyjen mittaustietojen lisäksi AMR-järjestelmissä on tarvetta siirtää myös muuta tietoa, kuten sähkön hintatietoja, kuormanohjaus- ja hälytyssignaaleja. Niiden välittämiseen tarvittavat bittimäärät ovat tyypillisesti hyvin pieniä verrattuna mittaustietojen välittämiseen tarvittaviin,

eivätkä ne aseta suuria vaatimuksia tiedonsiirtokapasiteetille. Tämän takia niitä ei käsitellä tässä yhteydessä sen tarkemmin, vaan keskitytään tarkastelemaan taulukon 4.4 mukaisien mittaustietojen asettamia vaatimuksia tiedonsiirrolle.

Taulukko 4.4. Eri mittaustietojen ja toimintojen siirtoon tarvittavat tiedonsiirtokapasiteetit:

| Mittaustieto | Vaadittu tiedonsiirtokapasiteetti [bit] |
|--|---|
| Keskittuntiteho (P , Q , I , aikaleima, asiakastunnus) | 104 |
| Jakelujännitteen laatuvaatimukset (P , Q , U , I , aikaleima, asiakastunnus) | 120 |
| Virta ja jännitetiedot (U , I , aikaleima, asiakastunnus) | 88 |
| Keskeytystiedot (aikaleima 2 kpl, P , Q , I , asiakastunnus) | 144 |

Mittaustietojen siirtämisen vaadittua tiedonsiirtokapasiteettia määrittäessä on tärkeä muistaa, että luotettavan tiedonsiirron mahdollistamiseksi hyötydatan lisäksi täytyy siirtää paljon muuta dataa. Tiedonsiirtoprotokolla määrittelee miten tieto siirretään paikasta toiseen ja sen perusteella määräytyy pitkälti myös muun siirrettävän datan osuus. Protokolla sisältää määrittelyt mm. kommunikoinnin aloitukselle ja lopetukselle. Tiedonsiirtoprotokolla on lukuisia erilaisia ja niiden käyttö vaihtelee laajalti riippuen esimerkiksi siitä mitä protokollia kyseinen laitetyyppi tukee. Tietoliikenneverkon välityksellä tapahtuvan kaukoluennan tietoliikenteessä käytetään yleisesti esimerkiksi TCP/IP-protokollaan pohjautuvaa tiedonsiirtoa (Heiska 06).

Tarkastellaan TCP/IP protokollan käyttöä tiedonsiirrossa, jotta ymmärrettäisiin paremmin kuinka paljon ja mihin tarkoitukseen tiedonsiirrossa tarvitaan hyötydatan lisäksi muuta dataa. Tyypillisesti TCP tunnisteiden (eng. *header*) koko on noin 20 tavua, IP tunnisteiden 20 tavua, Ethernet tunnisteiden 14 tavua ja CRC (Cyclic Redundancy Check, virheenkorjausalgoritmi) 4 tavua. Pelkästään näistä tulee 58 tavua lisää jokaiseen siirrettä-

vään pakettiin (Goh 09). Tämän lisäksi esimerkiksi yhteydyn muodostamiseen, sulkemiseen ja kuittauksiin voidaan tarvita lisää dataa. Data lähetetään tietyn suuruisissa paketeissa, vaikkapa 512 tavua kerrallaan. Mikäli TCP havaitsee virheen, lähettää se paketin uudelleen kunnes saa kuittauksen paketin perille menosta. TCP-yhteydellä kulkee siis huomattavia määriä muitakin paketteja kuin varsinaista dataa. On siis tärkeää huomioida muu tiedonsiirtoon tarvittava data, koska se vaatii tiedonsiirtokaistaa ja pidentää siten tiedonsiirtoon kuluva-aikaa.

Hyötydatan lisäksi tarvittavan muun datan määrä riippuu useista eri asioista ja tarkkaa arvoa sille on vaikea määrittää. Arvioidaan muun datan osuuden nostavan datamäärän noin 1,5-kertaiseksi alkuperäiseen hyötydatan määrään verrattuna. Tämä arvio voi olla hieman yläkanttiin, mutta tiedonsiirtotarpeita mietittäessä se on parempi vaihtoehto kuin alakanttiin mitoitus.

Erilaisia mittaustietoja hyödyntävien palvelujen kannalta on tärkeä miettiä mitä ja miten tarkkoja mittaustietoja tarvitaan. Esimerkiksi ns. sormenjälkipalvelut, joiden avulla voidaan vaikkapa tarkkailla yksittäisten sähkölaitteiden kulutuksia, tarvitsevat tarkkoja, sekuntitason mittaustietoja. Tällaisten mittaustietojen saaminen vaatii mittausjärjestelmän laitteilta hyvää suorituskykyä ja tiedonsiirtoyhteyksiltä suurta kaistanleveyttä. Jos kyseisiä palveluita halutaan luoda, täytyy ensin miettiä onko nykyisillä teknologioilla edes mahdollista toteuttaa niihin tarvittavia AMR-järjestelmiä tai onko se taloudellisesti kannattavaa.

4.5.3 *Eri mittaustietojen etäluentaan tarvittavat tiedonsiirtokapasiteetit*

Tarkastellaan seuraavana minkälaista tiedonsiirtokapasiteettia erilaisien mittaustietojen etäluenta vaatii. Taulukon 4.4 tietojen avulla on taulukkoon 4.5 laskettu INCA-projektissa määriteltyjä erilaisia mittaustietojen etäluennan tarpeita. Taulukossa on lisäksi esitetty niiden vaatimat hyötydatan määrät, sekä 1,5-kertaiseksi oletetut kokonaisdatan määrät. Tarvittavat datamäärät on pyöristetty tarkastelun kannalta järkevään tarkkuuteen. Taulukon 4.5 datan määriä tarkastellessa tulee huomioida, että ne sisältävät ainoas-

taan mittaustiedot ja tarvittavat tunnuksot. Näiden mittaustietojen siirron yhteydessä voi käytännössä olla tarve siirtää myös muita tietoja, kuten tariffitietoja.

Taulukko 4.5. Erilaisten mittaustietojen kaukoluennan tiedonsiirtotarpeita

| Kaukoluennan tyyppi | Kaukoluennan sykli | Välitettävät tiedot | Tarvittava hyötydata [kbit] | Tarvittava kokonaisdata. [kbit] |
|--|----------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Keskeytystietojen luku | Luetaan keskeytyksen tapahtuessa | Alkamis- ja loppumisaika, P,Q,I, asiakastunnus | 0,150 | 0,225 |
| Tunnin välein mitattu keskiteho vuorokauden ajalta. | Luetaan kerran vuorokaudessa | Keskituntiteho 24 h ajalta (P,Q,I asiakastunnus, aikaleima) | 2,50 | 3,750 |
| Minuutin välein mitattu keskiteho vuorokauden ajalta. | Luetaan tarvittaessa | Keskiminuuttiteho 24 h ajalta (P,Q,I asiakastunnus, aikaleima) | 150 | 225 |
| Sekunnin välein mitattu keskiteho tunnin ajalta. | Luetaan tarvittaessa | Keskisekuntiteho 1 h ajalta (P,Q,I asiakastunnus, aikaleima) | 375 | 562 |

Mittaustietojen lukujärjestelmään lukemiseen käytettävissä oleva aika vaikuttaa siihen, millaista kaistanleveyttä tietojen siirtämiseen tarvitaan. Tietojen siirtämiseen käytettävissä olevaan aikaan vaikuttavat mm. lain ja asetusten asettamat vaatimukset, energiamittarin rajoitettu rekisterikoko ja palvelujen asettamat vaatimukset mittaustietojen saatavuudelle ja reaaliaikaisuudelle.

Tunnin välein mitattujen keskitehotietojen kaukoluenta täytyy suorittaa vähintään kerran vuorokaudessa valtioneuvoston mittausasetuksen mukaan. Näin ollen näiden tietojen siirtämiseen on käytettävissä maksimissaan 24 tuntia aikaa. Jos samat tiedot tarvitaan vaikkapa sähköyhtiön tarkennettua tasehallintaa varten ja tiedonsiirtoon käytössä oleva aika on yksi tunti, putoaa tietojen siirtoon käytettävissä oleva aika 24-osaan. Tällöin myös tiedonsiirtoyhteyksiltä vaaditaan paljon suurempaa kaistanleveyttä.

Tulevaisuudessa energiamittareilta tullaan vaatimaan entistä parempaa suorituskykyä. Mahdollisesti jo lähitulevaisuudessa tarvitaan tuntitehomittauksen lisäksi myös tarkempia mittauksia, kuten minuutin tai jopa sekunnin välein mitattuja keskitehotietoja tai tarkkoja tietoja sähkön laadusta. Tällaiset tiedot vaativat mittarilta hyvää suorituskykyä ja suuren rekisterin johon tiedot paikallisesti taltioidaan. Kustannussyistä mittarin suorituskyky ja rekisterikoko täytyy kuitenkin rajoittaa järkeväksi. Koska mittarin rekisteri on rajallinen, voi se säilyttää vain tietyn ajan mittaustietoja, jonka jälkeen vanhojen tietojen päälle tallennetaan uudempia tietoja. Oletetaan, että minuutin välein mitattuja mittaustietoja voidaan säilyttää mittarin rekisterissä vuorokauden ajan ja sekunnin välein mitattuja mittaustietoja tunnin ajan. Tällöin tuntitiedot on pystyttävä tarvittaessa lukemaan 24 tunnin aikana. ja sekunti tiedot yhden tunnin aikana.

Tarkastellaan seuraavana mitä edellä mainittujen, taulukkoon 4.6 koottujen kaukoluenta-tapahtumien suorittamien vaatii tiedonsiirtojärjestelmiltä ja miten ne pystytään toteuttamaan nykyisillä PLC- ja GPRS-tiedonsiirtoyhteyksillä.

Taulukko 4.6. Kaukoluennatapahtumia

| Kaukoluettavat mittaustiedot ja lukemiseen käytettävissä oleva aika | Siirrettävän hyötydatan määrä / asiakas [kbit] |
|--|---|
| Keskeytystietojen luku. Käytettävissä oleva aika 1 h. | 0,15 |
| Tunnin välein mitattu keskiteho vuorokauden ajalta. Lukemiseen käytettävissä oleva aika 24 h. | 2,50 |
| Minuutin välein mitattu keskiteho vuorokauden ajalta. Lukemiseen käytettävissä oleva aika 24h. | 150 |
| Sekunnin välein mitattu keskiteho tunnin ajalta. Lukemiseen käytettävissä oleva aika 1h. | 375 |

Kun huomioidaan tiedonsiirtotekniikoiden ominaisuudet ja tekniset rajoitukset, voidaan arvioida millaisien mittaustietojen siirtäminen ja millaisilta asiakasmääriltä on mahdollista. Lisäksi myöhemmin tarkastellaan millaisia kustannuksia aiheutuu eri mittaustietojen siirrostä eri tekniikoilla.

4.6 PLC-tekniikan soveltuvuus erilaisten mittaustietojen tiedonsiirtoon

Pienjänniteverkon asiakkaiden määrän kasvaessa, saadaan yhden PLC-keskittimen alle useampia AMR-mittareita ja PLC-tekniikan kustannustehokkuus tiedonsiirrossa paranee. Ongelmana on, että yhden keskittimen alla olevien mittareiden määrän kasvaessa myös tiedonsiirtoon kuluva aika kasvaa. Verkon koon kasvaessa verkossa olevat häiriöt ja kuormitus lisääntyvät ja voivat aiheuttaa epäonnistuneita mittareiden luentoja. Ne vievät käytettävissä olevaa tiedonsiirtokaistaa ja pidentävät näin tiedonsiirtoon kuluva-aikaa. Häiriöiden lisääntyessä voi myös tiedonsiirtonopeus pudota, jos häiriö osuu PLC-modeemien tiedonsiirtoon käyttämän kanta-aallon taajuuden kohdalle.

Pienjänniteverkon häiriöiden määrä riippuu tarkasteltavasta verkosta ja siinä olevista laitteista. Verkon asiakasmäärän kasvaessa myös tiedonsiirron hallittavuus vaikeutuu, mistä johtuen yhden keskittimen alle voi yleensä sijoittaa maksimissaan 300 mittaria. Pienjänniteverkon koko ja tarvittava tiedonsiirtokapasiteetti määräävätkin yleensä käytännössä yhden keskittimen alla toimivien mittareiden määrän.

Yhdessä pienjänniteverkossa voitaisiin teoriassa käyttää kahta tai useampaa keskitintä, jos ne toimivat eri taajuusalueilla. Tällaisella ratkaisulla pystyttäisiin nopeuttamaan asiakasmääriltään suurten muuntopiirien mittaustietojen siirtoa. Tällöin täytyy kuitenkin varmistaa, että kaikkien keskittimien tiedonsiirtoyhteydet lukujärjestelmään ovat riittävän hyvät, mikä tarkoittaa käytännössä omaa kanavaa jokaisen keskittimen GPRS-tiedonsiirrolle tai laajakaistaista tiedonsiirtoyhteyttä. Kahden tai useamman keskittimen käytöstä saman pienjänniteverkon alueella aiheutuu kuitenkin huomattavia lisäkustannuksia, minkä takia tällaisien ratkaisujen toteuttamista kannattaa tutkia tapauskohtaisesti. Käytännön esimerkkejä kahden tai useamman keskittimen käytöstä saman pienjänniteverkon alueella ei löytynyt, joten on vaikea arvioida tällaisen järjestelyn todellista toimintaa ja siinä mahdollisesti esiintyviä ongelmia.

Käytettävä PLC-tekniikka ja tiedonsiirtoprotokolla vaikuttavat olennaisesti tiedonsiirron toimintaan. Tarkastellaan tässä yhteydessä pääasiassa LON-tekniikalla toteutettua sähköverkkotiedonsiirtoa, joka on tällä hetkellä yleisesti käytetty PLC-tekniikka.

Suurimmat LON-tekniikan käyttöä rajoittavat tekijät ovat suhteellisen lyhyt kantama ja alhainen tiedonsiirtonopeus. Sillä saavutetaan 3 kbps teoreettinen tiedonsiirtonopeus sähköverkoissa, mutta käytännön tiedonsiirtonopeudet jäänevät keskimäärin n. 1,5 kbps tienoille tai hieman alle. LON-tekniikka hyödyntävien PLC-modeemien suurin kantama hyvissä olosuhteissa on 500 metriä. Verkon topologia ei vaikuta tiedonsiirtoon, joten verkkomuotoa ei tarvitse huomioida tarkasteluissa.

Tarkastellaan edellä mainittujen tietojen pohjalta, miten taulukon 4.5 mukaisien mittaustietojen kaukoluenta onnistuu PLC-tekniikalla. Sähköverkon rakenne, kuormitus ja häiriöt vaikuttavat erittäin paljon PLC-tiedonsiirron käytännön toimivuuteen. Näiden asioiden vaikutusta on kuitenkin mahdoton huomioida tarkastelussa ilman käytännön mittauksia, joihin ei tämän diplomityön puitteissa ole mahdollisuuksia. Tästä syystä käytetään seuraavia oletuksia, jotka on muodostettu eri lähteiden perusteella.

Oletetaan, että

- 1) Onnistunut yhteyden muodostaminen keskimeltä asiakkaan modeemille kestää keskimäärin 5 s.
- 2) Keskimääräinen tiedonsiirtonopeus on 1,5 kbit/s
- 3) Siirrettävän tiedon todellinen määrä on n. 1,5-kertainen verrattuna hyötydatan määrään

Yhden asiakkaan mittaustietojen luetaan keskimelle kuluva aika saadaan laskettua kaavan 4.1 mukaisesti:

Aika = luettava datamäärä / datanopeus + yhteydenmuodostukseen kuluva aika.

(4.1)

Siirrettävä kokonaisdatamäärä oletettiin 1,5-kertaiseksi hyötydatan määrään verrattuna. Kaavalla 4.1 laskemalla saadaan taulukon 4.6. mukaisten tietojen kaukoluentoihin kuluviaksi ajoiksi tällöin

- | | |
|----------------------------|---|
| 1) Keskeytystietojen luku: | $0,225 \text{ kbit} / 1.5 \text{ kbps} + 5 \text{ s} = 5,2 \text{ s.}$ |
| 2) Tuntitietojen luku: | $3,75 \text{ kbit} / 1.5 \text{ kbps} + 5 \text{ s} = 7,5 \text{ s.}$ |
| 3) Minuuttitietojen luku: | $225 \text{ kbit} / 1.5 \text{ kbps} + 5 \text{ s} = 155 \text{ s.} = 2,6 \text{ min.}$ |
| 4) Sekuntitietojen luku: | $563 \text{ kbit} / 1.5 \text{ kbps} + 5 \text{ s} = 380 \text{ s.} = 6,4 \text{ min.}$ |

Mittaustietojen kaukoluennassa kuluu aikaa edellä laskettuja aikoja enemmän jos verkossa on häiriöitä tms. tiedonsiirtoa haittaavia tekijöitä, minkä seurauksena tiedonsiirto hidastuu tai tulee epäonnistuneita mittareidenluentoja. Lähteen (Pinomaa 09) mukaan yhteen epäonnistuneeseen luentayritykseen voi kulua aikaa jopa 2-5 minuuttia. Jos epäonnistuneita luentoja tulee paljon, voi tiedonsiirtoon kuluva aika pidentyä olennaisesti. Ar-

vioitu 1,5 kbps tiedonsiirtonopeus voi myös poiketa hetkellisesti huomattavan paljon todellisesta tiedonsiirtonopeudesta.

Arvioitu 5 sekunnin yhteydenmuodostusaika, eli aika joka kuluu kun keskittimeltä mittarille lähetetään lukupyynnö ja mittari vastaa lukupyynnöön, voi vaihdella PJ-verkosta riippuen huomattavasti. Kyseiseen aikaan vaikuttavat mm. verkon rakenne ja mittareiden määrä. Yhteyden muodostukseen kuluva aika vaikuttaa asiakkaiden tietojen luennassa suhteessa sitä enemmän, mitä pienempiä tietomääriä siirretään. Sekuntitason mittaustietoja luettaessa 5 sekunnin yhteydenmuodostusaika on hyvin pieni osa tiedonsiirtoon kuluva kokonaisajasta, mutta tuntitietojen luvussa yhteydenmuodostuksiin kuluvat ajat ovat jo paljon suurempia kuin itse mittaustietojensiirtoon kuluva aika. Tästä syystä pienen mittaustietojen lukuun kuluva aika voi olla huomattavasti lyhyempi, mikäli yhteyksien muodostukset onnistuvat nopeammin ja päinvastoin.

On tärkeää huomioida, että mahdolliset hälytykset, kuormanohjaukset yms. tarvittavat toiminnot on pystyttävä välittämään samoja tiedonsiirtoyhteyksiä pitkin kuin millä mittaustietojen luku tapahtuu. Eräillä toiminnoilla voi olla vaatimuksena pieni viive tiedon perille menossa. Tällaisia ovat esimerkiksi hälytykset, jotka täytyvät joissain tapauksissa saada välitettyä perille jopa muutamassa sekunnissa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että niiden prioriteetti tiedonsiirrossa on suurempi kuin mittaustietojen, joten ne siirretään ennen mittaustietoja. Edellä mainitut syyt huomioiden on tärkeää varata riittävästi aikaa tiedonsiirtoon, jotta kaikki tarvittavat mittaustiedot saadaan etäluettua määräajassa. On myös huomioitava, että tiedot täytyy siirtää vielä keskittimeltä lukujärjestelmään, johon kuluu lisää aikaa. Keskittimen ja lukujärjestelmän välisen yhteyden tulee olla tarpeeksi nopea ja luotettava, jottei siitä synny koko PLC-järjestelmän tiedonsiirtoa jarruttavaa pullonkaulaa.

Yksittäisien asiakastietojen keskittimelle luetaan kuluvi aikojen perusteella ei voida tarkasti päätellä miten PLC-järjestelmien tiedonsiirtokapasiteetti riittää suurilla asiakasmäärillä erilaisten mittaustietojen siirtoon. Niiden perusteella voidaan tehdä kuitenkin karkeita laskelmia ja rajata ulkopuolelle toimintoja jotka eivät varmasti onnistu.

Edellä laskettujen eri mittaustietojen keskittimelle luetaan kuluvien aikojen perusteella voidaan tehdä mm. seuraavat karkeat johtopäätökset:

- Tunnin aikana saadaan luettua korkeintaan 9 asiakkaalta sekuntitason mittaustiedot ($3600 / 380 = 9,47$)
- Tunnin aikana saadaan luettua korkeintaan 23 asiakkaan minuuttitason mittaustiedot ($3600 / 155 = 23,2$)
- Yhden minuutin aikana saadaan luettua korkeintaan 8 asiakkaan tuntitiedot tai 11 asiakkaan keskeytystiedot. Tällöin tunnin aikana saadaan luettua korkeintaan 480 asiakkaan tuntitiedot tai 700 asiakkaan keskeytystiedot.

Tällaisten kaukoluentojen toteutuminen vaatii tiedonsiirron kannalta hyvää sähköverkon toimintaa, eikä epäonnistuneita luentoja saa tulla yhtään. Kun huomioidaan että näin ei ole käytännössä juuri koskaan, täytyy kaukoluentojen onnistumisen varmistamiseksi tiedonsiirron mitoitus tehdä huomattavasti yläkanttiin. Tämän ja edellä mainittujen johtopäätösten pohjalta voidaan tehdä päätelmiä nykyisin käytössä olevien PLC-tekniikoiden soveltuvuudesta taulukon 4.6 mukaisten mittaustietojen luentaan.

Sekuntitason mittaustietojen siirtäminen PLC-tekniikalla ei onnistu suurilta asiakasmäärittä, tai sen toteuttaminen on erittäin vaikeaa ja kallista. Yhden keskittimen alle voi sijoittaa käytännössä korkeintaan 6-8 asiakasta, jotta verkon toimintavarmuus pysyy kohdalaisena. PLC-Keskittimet ovat kalliita verrattuna esim. PLC-modeemiin, joten verkon rakentamiskustannukset nousevat tällöin paljon. Myös tiedonsiirtokustannukset lisääntyvät huomattavasti, sillä jokaiselta keskittimeltä tarvitaan lukujärjestelmälle riittävän nopea tiedonsiirtoyhteys, käytännössä vähintään GPRS tasoinen. Keskittimien määrän ollessa suuri myös näiden yhteyksien määrä muodostuu suureksi, mikä aiheuttaa kasvavat tiedonsiirtokustannukset.

Minuuttitason mittaustietoja saatiin optimaalisessa tapauksessa siirrettyä tunnin aikana 23 asiakkaalta keskittimelle asti. Tämä tarkoittaa, että vuorokaudessa saadaan optimi tapauksessa siirrettyä (23*24) 552 asiakkaan tiedot keskittimelle. Kun huomioidaan käytännön epäideaalisuudet ja tiedonsiirto keskittimeltä lukujärjestelmään, voidaan minuuttitason tietojen siirtämisen lukujärjestelmään olettaa onnistuvan vuorokauden sisällä myös isoilta muuntopiireiltä, todennäköisesti jopa 300 asiakkaan muuntopiiriltä. Tällöin täytyy muun verkossa siirrettävän tiedon määrän olla melko vähäinen ja verkon toiminnan suhteellisen häiriötöntä.

Vuorokauden tuntitiedot saatiin luettua korkeintaan 8 asiakkaalta minuutin aikana keskittimelle. Tällöin optimaalisessa tilanteessa saadaan tunnin aikana luettua 480 asiakkaan tuntitiedot keskittimelle. Käytännön epäideaalisuudet huomioiden voidaan kuitenkin olettaa, että 300 asiakkaan muuntopiirin tuntitietojen lukujärjestelmään lukemiseen kuluu vähän yli tunti. Mittausasetuksen määräämä tuntitietojen luenta joka vuorokausi on siis helppo toteuttaa PLC-tekniikalla.

Keskeytystietojen luennan toteuttaminen PLC tekniikalla onnistuu hyvin, sillä siirrettävät tietomäärät ovat suhteellisen pieniä. 300 asiakkaan keskeytystiedot luenta tunnin aikana pitäisi onnistua ilman ongelmia normaalissa sähköverkossa. Tiedonsiirron kannalta hyvässä PJ-verkossa (vähän häiriöitä ja kuormitusta) jopa reilussa puolessa tunnissa.

Taulukkoon 4.7 on koottu yhteenvedoksi PLC-tekniikan mahdollistamat eri mittaustietojen kaukoluennat. Taulukosta käyvät ilmi luettavat mittaustiedot ja niiden lukemiseen kuluva aika kyseiseltä asiakasmäärältä. Kuten jo aiemmin mainittu, arvojen tarkkuus riippuu paljon kyseisestä sähköverkosta ja siinä kaukoluentahetkellä olevista häiriöistä ja kuormituksesta.

Taulukko 4.7. Eri mittaustietojen kaukoluentaan kuluva aika erisuuruisilta asiakasmääriltä

| Kaukoluettavat tiedot | Kaukoluentaan kuluva aika / asiakasmäärä |
|------------------------------|---|
| Keskeytystiedot | 45 min. / 300 as. |
| Tuntitiedot | 70 min / 300 as. |
| Minuuttitiedot | 24 h. / 300 as |

| | |
|---------------|--------------|
| Sekuntitiedot | 1h / 6-8 as. |
|---------------|--------------|

Taulukon 4.7 arvoja laskettaessa on laskelmat ja laskelmiin tarvittavat oletukset pyritty tekemään niin, että tiedonsiirtoyhteydet tulevat ennemmin ylimitoitettua kuin alimitoitettua. Tämä sen vuoksi, että PLC-verkon luotettavuus pysyisi tiedonsiirron kannalta riittäväällä tasolla.

Uudemmat PLC-tekniikat kuten Maximin piiriratkaisu mahdollistavat huomattavasti suuremmat tiedonsiirtonopeudet ja paremman luotettavuuden kuin PLC-tekniikka jolle yllä oleva tarkastelu on tehty. Maximin PLC tekniikka tarjoaa yli 10-kertaisen tiedonsiirtonopeuden ja sen luotettavuus (sähköverkon häiriöiden sietokyky) on OFDM-moduloinnin ansiosta paljon parempi. Täten myös eri mittaustietojen etäluentaan kuluvan ajan voidaan olettaa putoavan ainakin 10-osaan. Uuden sukupolven PLC-ratkaisut voivat tarjota jo lähitulevaisuudessa entistä luotettavampia ja nopeampia, mutta silti kustannustehokkaita sähköverkkotiedonsiirtoratkaisuja.

4.7 GPRS-tekniikan soveltuvuus erilaisten mittaustietojen siirtoon

AMR-mittareiden etäluenta GPRS-yhteyden kautta on harvaan asutuilla alueilla usein kustannustehokkain ratkaisu, koska pitkät välimatkat aiheuttavat ongelmia ja lisäävät kustannuksia PLC-tekniikan ja lyhyen kantaman RF-tekniikoiden käytössä. GPRS:n etuna on sen tiedonsiirtoon käyttämän GSM-verkon laaja kattavuus. Ongelmia tiedonsiirrossa voi olla alueilla joilla GSM-verkon kuuluvuus on huono, kuten suurien mäkien lähellä. Tällöin voidaan kuuluvuutta yrittää parantaa vastaanottimeen asennettavan lisäantennin avulla.

GPRS:n teoreettinen tiedonsiirtonopeus on 56 kbps, mutta käytännössä sen nopeudet jäävät usein 20-40 kbps tienoille. GPRS toimii GSM-verkon kanssa samoilla taajuuksilla ja jakaa GSM-verkon kapasiteetin. GPRS-verkon hetkelliseen tiedonsiirtokapasiteettiin vaikuttavaa mm. puheliikenteen määrä kyseisellä hetkellä. GPRS-verkon tiedonsiirtokykyyn (käytettävään tiedonsiirtokapasiteettiin) vaikuttavat pääasiassa verkon muun liikenteen määrä, verkon mitoituskapasiteetti ja verkon häiriötaso. Nämä asiat riippuvat tar-

kasteltavasta verkosta ja etenkin verkon mitoituksesta. Tästä syystä on vaikea sanoa miten suurien tietomäärien siirto GPRS-verkon kautta missäkin tapauksessa onnistuu. Mikäli GPRS-verkon kapasiteetti ei riitä joudutaan verkkoon tekemään lisäinvestointeja, jotta tiedonsiirtokapasiteettia saadaan nostettua. Tästä aiheutuu kuitenkin lisäkustannuksia, jotka nostavat palveluiden ja toimintojen hintaa ja lopulta kohdentuvat asiakkaiden maksettavaksi. Lisäksi täytyy miettiä onko GPRS-verkon kapasiteetin lisääminen missä määrin järkevää, vai kannattaako tarvittaessa siirtyä kehittyneempään 3G-tekniikkaan. Useimmissa tapauksissa lienee järkevämpää panostaa uuteen 3G-tekniikkaan kuin pyrkiä lisäämään GPRS-verkon kapasiteettia.

3G-tekniikat tarjoavat GPRS-verkkoa suurempia tiedonsiirtonopeuksia ja mahdollista näin suurempien datamäärien siirron aikayksikköä kohden. Tästä syystä siirrettävien datamäärien ollessa suuria, kannattaa miettiä 3G-verkon käyttöä. Tämä on todennäköisesti GPRS-verkon kapasiteetin lisäystä järkevämpi vaihtoehto. Nykyisin investointeja tehdäänkin pääosin 3G-verkkoihin (T-S 09). Tällä hetkellä 3G-verkkojen peitto ei ole vielä kovin kattava, mutta suurimpiin kaupunkeihin niitä on jo rakennettu.

4.7.1 *Case 1, AMR-tiedonsiirron toteutus maaseudulla ja kaupungissa GPRS-tekniikalla*

Tarkastellaan AMR-tiedonsiirron toteutettavuutta GPRS-verkon kautta maaseudulla ja kaupungissa. Havainnollistetaan tilannetta tarkastelemalla esimerkkialueita (A ja B), joilta halutaan saada etäluettua eri tason mittaustietoja erilaisten palveluiden käyttöön.

- A) Kaupunki-alue, jonka pinta-ala on n. 200 km² alueella on n. 150 000 asukasta.
- B) Maaseutu-alue, jonka pinta-ala on n. 2000 km² alueella on n. 15 000 asukasta.

Tarkastellaan miten GPRS-verkkojen nykyisin tarjoama tiedonsiirtokapasiteetti riittää erilaisten mittaustietojen kaukoluentaan kyseisiltä alueilta. Taulukossa 4.8 on esitetty alueiden mittaustietojen kaukoluennan tarpeet sekä niissä siirrettävät datamäärät. Telia Soneralta saatujen tietojen perusteella taulukkoon on myös merkitty, mitkä kyseisien alu-

erien kaukoluennoista on mahdollista toteuttaa GPRS-verkon kautta ja minkä tietojen luetaan tarvitaan 3G-tekniikkaa.

Taulukko 4.8. Esimerkkialueilta etäluettavat mittaustiedot, siirrettävät datamäärät ja niiden toteutettavuus GPRS- tai 3G-tekniikalla

| Kaukoluettavat mittaustiedot ja lukemiseen käytettävissä oleva aika | Siirrettävän hyötydatan määrä / asiakas [kbit] | Siirrettävän hyötydatan määrä alueen A kaikilta asiakkailta yhteensä [kbit] | Siirrettävän hyötydatan määrä alueen B kaikilta asiakkailta yhteensä [kbit] |
|---|---|--|--|
| Keskeytystietojen luku. Lukemiseen käytettävissä oleva aika 1 h. | 0,15 | 22 500 GPRS | 2250 GPRS |
| Tunnin välein mitattu keskitheho vuorokauden ajalta. Lukemiseen käytettävä aika 24 h. | 2,50 | 375 000 GPRS | 37 500 GPRS |
| Tunnin välein mitattu keskitheho vuorokauden ajalta. Lukemiseen käytettävä aika 30 min. | 2,50 | 375 500 3G | 37 500 GPRS |
| Minuutin välein mitattu keskitheho vuorokauden ajalta. Lukemiseen käytettävä aika 24h. | 150 | 22 500 000 3G | 2 25 000 GPRS |
| Sekunnin välein mitattu keskitheho tunnin ajalta. Lukemiseen käytettävä aika 1h. | 375 | 56 250 000 3G | 5 625 000 3G |

Taulukon tietoja apuna käyttäen voidaan tehdä päätelmiä AMR-tiedonsiirron yleisestä toteutettavuudesta GPRS-tekniikalla maaseutu- ja kaupunkialueilla, koska samantyyppisten alueiden tiedonsiirtoverkot omaavat yleensä likimain samansuuruiset tiedonsiirtokapasiteetit.

AMR-mittareiden tunti- ja keskeytystietojen etäluenta on nykyisin toteutettu monin paikoin GPRS-tiedonsiirrolla. Tunti- tai keskeytystietojen laajamittainen siirto GPRS-

verkon kautta ei aiheuta ongelmia, jos tiedonsiirtoon on käytettävissä kohtuullisesti aikaa (tunteja). Myös minuuttitason mittaustietojen siirto onnistuu yleensä harvaan asutuilla alueilla, jos tiedonsiirtoon on käytettävissä reilusti aikaa. Mikäli minuuttitason tietoja halutaan pienellä viiveellä tai erittäin suurelta joukolta saman aikaisesti, ei GPRS-verkon kapasiteetti enää riitä. Tällöin tarvittaisiin 3G-tasoista tiedonsiirtoa.

Ongelmaksi muodostuu kaikkein suurimpien tietomäärien siirto GPRS-verkon kautta, kuten tiheään asutuiden alueiden asiakkaiden laajamittainen minuuttitason tai sekuntitason mittaustietojen kaukoluenta. Sekuntitietojen kaukoluenta vaatisi myös harvempaan asutuilla alueilla 3G-verkkoa. Käytännössä ainoastaan yksittäisten asiakkaiden sekuntitason mittaustietoja on mahdollista lukea GPRS-verkon kautta, ja tällöinkin siihen kuluu paljon aikaa.

Yhteenvedona voidaan vielä todeta, että tuntitason mittaustietojen ja keskeytystietojen luenta GPRS-yhteydellä ei tuota mitään ongelmia normaali olosuhteissa. Minuuttitason mittaustietojen luenta onnistuu myös GPRS-tekniikalla, paitsi kaikkein suurimmissa kaupungeissa tai tapauksissa joissa tiedot tarvitaan nopeasti, eli tiedonsiirrolle sallitaan vain pieni viive. Sekuntitason mittaustietojen luenta vaatii lähes aina 3G-tekniikkaa, vain yksittäisten sekuntitason mittaustietojen luenta pitkällä aikavälillä on mahdollista GPRS-tekniikalla.

Mikäli halutaan siirtää sekuntitason mittaustietoja tai minuuttitason mittaustietoja pienellä viiveellä laajemmassa mittakaavassa eri palveluiden käyttöön, vaatii se suurempaa tiedonsiirtokapasiteettia kuin nykyiset GPRS-verkot pystyvät tarjoamaan. Niitä varten tarvittaisiin käytännössä 3G-tasoista tiedonsiirtoa. Tällä hetkellä 3G-verkkoja löytyy ainoastaan suurimmista kaupungeista. Laajamittainen sekuntitason mittaustietojen siirto varten edellyttäisi uusien 3G-verkkojen rakentamista, josta aiheutuisi huomattavia lisäkustannuksia tiedonsiirrolle ja tätä kautta myös niitä hyödyntäville palveluille.

4.8 Tiedonsiirtokustannukset

Vertaillaan seuraavaksi keskitetyn ja hajautetun tiedonsiirtoratkaisun kustannuksia. Kustannukset riippuvat monesta eri tekijästä ja voivat muuttua nopeasti esimerkiksi teknologioiden kehittymisen tai uusien innovaatioiden seurauksena. Laitekustannuksissa on olennaisia eroja yhden laitteen kappalehinnassa eräkoosta riippuen. Esimerkiksi 10 000 tai 100 000 energiamittarin tilauksessa yhden laitteen hinta on 100 000 mittarin erässä huomattavasti pienempi kuin 10 000 kpl:n erässä. Kustannuslaskelmissa käytetyt arvot eivät täten ole tarkkoja arvoja, vaan eri lähteiden perusteella muodostettuja arvioita, joilla saadaan laskettua likimääräisiä arvoja eri tiedonsiirtoyhteyksien kokonaiskustannuksista. Taulukossa 4.9 on esitetty PLC- ja GPRS -tekniikoiden AMR-kustannusten muodostuminen.

Taulukko 4.9. GPRS ja PLC-tekniikoiden AMR-kustannusten muodostuminen

| | Hajautettu (GPRS) | Keskitetty (PLC) |
|---|--------------------------|-------------------------|
| Tiedonsiirtokustannukset [€/kk] | | |
| P-to-p-mittari | 1,5 | |
| Keskitin+ 20 mittaria | | 2 |
| Keskitin+ 50 mittaria | | 4 |
| Keskitin + 100 mittaria | | 6 |
| Keskitin + 300 mittaria | | 14 |
| Laitekustannukset [€] | | |
| P-to-p-mittari | 110 | |
| PLC-keskitin | | 500 |
| PLC-mittari | | 70 |
| Asennus- ja ylläpitokustannukset [€] | | |
| PLC-keskitin | | 100 |
| Mittari | 60 | 60 |

PLC-tekniikan laitekustannukset ovat pienissä muuntopiireissä suuremmat kuin GPRS-tekniikan, mutta mitä enemmän muuntopiirissä on asiakkaita, sitä edullisempi PLC on laitekustannuksiltaan verrattuna GPRS:ään. Tiedonsiirtokustannuksiltaan PLC on lähes aina GPRS-tekniikkaa halvempi vaihtoehto. PLC:n tiedonsiirtokustannukset aiheutuvat pääasiassa keskittimen ja lukujärjestelmän välisen tiedonsiirtoyhteyden aiheuttamista kustannuksista. Näissä laskelmissa on oletettu, että PLC-keskittimen ja lukujärjestelmän välinen tiedonsiirto on toteutettu GPRS-yhteydellä. PLC:n tiedonsiirtokustannukset muodostuvat siis pääasiassa lukujärjestelmän ja keskittimen välisen GPRS-yhteyden perusmaksusta. Sen oletetaan kallistuvan samassa suhteessa kun yhden keskittimen alla oleva asiakasmäärä ja tämän seurauksena myös siirrettävän tiedon määrä kasvaa. PLC-tekniikan tiedonsiirtokustannukset ovat suurilla asiakasmäärillä huomattavasti GPRS-tekniikan tiedonsiirtokustannuksia pienemmät, koska tarvittavien GPRS-yhteyksien määrä on PLC-pohjaisessa ratkaisussa huomattavasti pienempi. Taulukossa 4.10 on esitetty AMR-kustannusten muodostuminen asiakasmäärältään erikokoisille muuntopiireille.

Taulukko 4.10. AMR-kustannusten muodostuminen asiakasmääriltään erikokoisille muuntopiireille

| Asiakasmäärä | GPRS | | PLC | |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| | Asennus- ja laitekustannukset [€] | Tiedonsiirtokustannukset [€/kk] | Asiakasmäärä | Asennus- ja laitekustannukset [€] |
| 5 | 850 | 7,5 | 5 | 850 |
| 20 | 3 400 | 30 | 20 | 3 400 |
| 50 | 8 500 | 75 | 50 | 8 500 |
| 100 | 17 000 | 150 | 100 | 17 000 |
| 300 | 51 000 | 450 | 300 | 51 000 |

Tarkastellaan seuraavana tietoliikenteestä aiheutuvia kustannuksia koko mittauslaitteiston pitoajalta, jonka oletetaan olevan 10 vuotta. Taulukossa 4.10 on tietoliikenteestä kuukausittain syntyvät kustannukset. Lasketaan niiden perusteella tietoliikenteestä aiheutuvat vuosittaiset kustannukset ja huomioidaan rahan arvon muuttuminen. Tämä onnistuu diskonttaamalla tarkasteltavan 10 vuoden ajanjakson tietoliikennekustannukset. Käytetään laskentakorkona 5 %, olettaen että tietoliikennekustannukset 10 vuoden päästä ovat nimellisesti samat vuodessa kuin nykyhetkellä.

Tietoliikennekustannusten nykyarvo 10 vuoden ajanjaksolta saadaan diskontattua nykyhetkeen yhtälön 4.2 mukaan

$$K(n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}.$$

(4.2)

jossa K on kustannusten diskonttaustekijä, n on tarkasteluajanjakso (10 vuotta) ja i on korko (5 %). Tällöin saadaan K(n):lle arvo

$$K(n) = \frac{(1+0,05)^{10} - 1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{10}} = 7,72.$$

Tietoliikennekustannusten nykyarvo 10 vuoden ajalta saadaan laskettua diskonttaustekijän avulla. Taulukoon 4.11 on laskettu tietoliikennekustannuksien diskontatut nykyarvot erikokoisille tietoliikennesoluille.

Taulukko 4.11. Tietoliikennekustannuksien nykyarvo diskontattuna 10 vuoden ajalta laskentakorolla 5 %.

| GPRS | | | PLC | |
|--------------|--------------------------|---|---------------------------|---|
| Asiakasmäärä | Tiedonsiitokust. [€a] | Diskontatut tiedonsiirtokust. [€] | Tiedonsiirtokust. [€a] | Diskontatut tiedonsiirtokust. [€] |
| 5 | 90 | 695 | 18 | 139 |
| 20 | 360 | 2 779 | 24 | 185 |
| 50 | 900 | 6 948 | 48 | 371 |
| 100 | 1 800 | 13 896 | 72 | 556 |
| 300 | 5 400 | 41 688 | 180 | 1 390 |

Taulukkoon 4.12 on laskettu asennus- ja laitekustannuksista sekä diskontatuista tiedonsiirtokustannuksista syntyvät kokonaiskustannukset.

Taulukko 4.12. Tiedonsiirron kustannusten rakentuminen.

| Asia- kasmää- rä | GPRS | | | PLC | | |
|------------------------|----------------------------------|--|------------------|----------------------------------|--|------------------|
| | Asennus ja laite kust. [€] | Diskontatut tiedonsiirto- kust. [€] | Yhteensä. [€] | Asennus ja laite kust. [€] | Diskontatut tiedonsiirto- kust. [€] | Yhteensä. [€] |
| 5 | 850 | 695 | 1545 | 1 250 | 139 | 1 389 |
| 20 | 3 400 | 2 779 | 6 179 | 3 200 | 185 | 3 385 |
| 50 | 8 500 | 6 948 | 15 448 | 7 100 | 371 | 7 471 |
| 100 | 17 000 | 13 896 | 30 896 | 13 600 | 556 | 14 156 |
| 300 | 51 000 | 41 688 | 92 688 | 39 600 | 1390 | 40 990 |

Laskemalla huomataan, että pienien solujen tiedonsiirtoon on edullisempaa käyttää GPRS-tekniikkaa. Taulukon 4.12 perusteella puolestaan nähdään, että suurempien solujen tiedonsiirtoon on halvempaa käyttää PLC-tekniikkaa. Kyseisillä arvoilla laskettaessa havaitaan, että pitkällä pitoajalla 5 asiakkaan ja sitä suuremmissa soluissa PLC-tekniikan käyttö on halvempaa. Tätä pienempien solujen tietoliikenne on edullisempi toteuttaa GPRS-tekniikalla. Täytyy kuitenkin muistaa, että tarkastelun lopputuloksiin vaikuttavat olennaisesti käytetty laskentakorko, tarkastelujakson pituus ja kustannustekijät, joiden arvot voivat käytännössä muuttua nopeasti. Lisäksi on hyvä muistaa, että PLC-tekniikan tapauksessa voi tulla huomattavia lisäkustannuksia mikäli ylimääräisiä keskittimiä tai vahvistimia joudutaan lisäämään verkkoon esimerkiksi uuden asiakkaan takia.

5 ENERGIATEHOKKUUTTA TUKEVIA TOIMINTOJA

Energiankulutuksen kasvu, ilmastonmuutos ja kansalliset sekä kansainväliset tavoitteet luovat keskustelua sähköenergian käytön tehostamisesta. Näihin keskusteluihin osallistuvat mm. valtio, energiainfrastruktuurivirasto, sähkömarkkinoiden eri toimijaosapuolet, sähkön loppukäyttäjät, luonnonsuojelijat ja laitevalmistajat (IT 07). Sähköenergian riittävyys, säästäminen ja käytön tehostaminen ovat globaaleja ajankohtaisia asioita.

Sähköenergian käytön tehostamisen kenttä on laaja. Sähköenergian käytön tehostamisen kohteita löytyy sähköenergian tuotantoprosessia edeltävästä jalostamattoman energian kuljetuksesta lähtien, läpi koko sähköenergian tuotanto-, siirto-, ja jakeluketjun aina loppukäyttökohteisiin asti. Tässä luvussa käsitellään eräitä toimintoja ja toimintamalleja, jotka mahdollistavat energiankäytön tehostamisen ennen kaikkea sähkön loppukäyttäjän osalta.

Sähkön loppukäyttäjä voi vaikuttaa merkittävästi oman energiankäytön tehokkuuteen omilla toimenpiteillään, mutta yleisesti uusissa teknisissä ratkaisuissa ja toimintamalleissa nähdään olevan suurin potentiaali energiatehokkuuden edistämiseen. Tekniikan nopea kehittyminen mahdollistaa laitekustannuksiltaan entistä edullisemmat automaatio- ja ohjausjärjestelmät. Mikäli näiden tekniikka saadaan laitekustannuksiltaan riittävän edulliseksi, mahdollistaa se mm. erilaisien taloautomaatio- ja kuormanohjausjärjestelmien laajamittaisen käytön loppukäyttäjien energiatehokkuuden edistämisessä. Tämä yhdessä erilaisten uusien toimintamallien, kuten dynaamisten tariffien kanssa voi tehostaa energiankäyttöä ja tarjota liiketoimintamahdollisuuksia eri sähkömarkkinoiden toimijoille.

Interaktiivinen verkkorajapinta ja AMR-järjestelmien kehittyminen voivat jo lähitulevaisuudessa mahdollistaa laajamittaisemman hajautetun tuotannon ja energiavarastojen hyödyntämisen. Niiden yleistyminen voi mahdollistaa myös niihin pohjautuvat energiatehokkuutta tukevat ratkaisut, kuten energiavarastojen käytön varavoimana ja hintaohjattavana kapasiteettina. Täytäntöönpanon järjestelmien toteuttaminen vaatii kuitenkin laajaa asiaan perehtymistä ja eri toimijoiden yhteistyötä.

Teknisten ratkaisujen lisäksi on tärkeää miettiä erilaisia toiminta ja palvelumalleja, joilla energiatehokkuutta voidaan edistää. Tällaisia voivat olla vaikkapa sähkömarkkinoiden hintaohjaukseen tai kysyntäjoustoan perustavat toiminnot ja palvelut. Esimerkiksi sähkön spot-hintaohjauksella voidaan pyrkiä lisäämään kysyntäjoustoja ja tätä kautta tasoittamaan sähkönkulutuksen vaihteluita eri ajanhetkinä. Tämä voi auttaa kulutushuippujen leikkaamisessa, mikä vähentää huippuvoimaa tuottavien voimaloiden käytön tarvetta. Huippuvoimaa tuottavien voimaloiden päästöt ovat tyypillisesti kaikkein suurimmat, joten näin saataisiin myös vähennettyä energiantuotannosta syntyviä päästöjä.

Erilaisten energiatehokkuutta tukevien toimintojen kehittäminen voi hyödyttää useita sähkömarkkinoiden osapuolia. Sähkön loppukäyttäjä näkee hyödyn parhaiten pienemmän sähkölaskun ja pienentyneen energiankulutuksen muodossa. Sähköverkkoyhtiöille puolestaan voi avautua erilaisia mahdollisuuksia kuormanohjauksiin tms. toimiin, jotka auttavat verkon kulutusprofiilin tasoittamisessa. Sähkömarkkinoiden toimijoille voi tarjoutua myös aivan uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

5.1 Kuormanohjaus

Tehonohjaustarpeet johtuvat usein joko käyttäjän tai sähköyhtiön tarpeista rajoittaa tai siirtää kuormituksen tehohuippuja (Heiska 06). Kuormanohjauksella voidaan myös pyrkiä parantamaan kysyntäjoustoja ja näin tasoittamaan sähkönkäytön ajallista jakautumista. Tyypillisesti kuormien ohjausta on käytetty helposti ohjattavien suhteellisten suurien kuormien ohjaukseen, kuten esimerkiksi käyttöveden lämmityksen ohjaukseen.

Kuormanohjaus on ollut käytössä sähköverkkoyhtiöillä jo vuosikymmeniä. Nykyisin verkkoyhtiöt käyttävät yleisimmin MELKO- tai VKO- (Verkkokäskyohjaus) järjestelmiä pääasiassa tariffien, sähkölämmityksen tai käyttöveden lämmityksen ohjaukseen. Jossain määrin kuormanohjausjärjestelmiä käytetään myös katuvalaistuksien, ulkovalaistuksien, palveluiden, tai kiukaiden ohjaamiseen. (Koponen et al. 06b) Nykyisin yleisimmin käytössä olevat kuormanohjausjärjestelmät kykenevät vain yksinkertaisiin ohjaustoimenpiteisiin. Esimerkiksi verkkokäskyohjausta ei voida käyttää markkinaperustaiseen kysyntä-

jouston tai hintaohjauksen toteuttamiseen (KJT 08). Uudet kehittyneemmät AMR- ja ohjausjärjestelmät tarjoavat uusia ja monipuolisempia kuormanohjausmahdollisuuksia.

Kehittyneiden ohjausjärjestelmien avulla pystytään säädettäviä kuormia ohjaamaan huomattavasti tehokkaammin esimerkiksi reaaliaikaisen hintasignaalin tai muun ulkoisen signaalin avulla. Tämä vaatii kehittyneen ohjausjärjestelmän lisäksi riittävän nopeita tiedonsiirtoyhteyksiä, jotta hintasignaalin välitys ja ohjaustoimenpiteet pystytään toteuttamaan riittävän nopeasti.

Kuormien yksittäisillä ohjaustoimenpiteillä savutettavat hyödyt ovat yleensä pieniä, mutta laajassa mittakaavassa ja pitkällä aikavälillä kuormanohjauksilla voidaan saavuttaa huomattavia rahallisia säästöjä ja parannuksia energiatehokkuuteen. Myös erilaisten erikoistilanteiden kuten huippukuormitusten aikana kuormanohjauksilla voidaan saavuttaa suuria hyötyjä. Esimerkiksi onnistunut huipputehojen rajoittaminen voi parhaassa tapauksessa säästää sähköverkkoyhtiön kalliilta verkostoinvestoinnilta.

Tehon ohjaus on mahdollista toteuttaa automaattisesti tai ulkoisen signaalin perusteella. Automaattisen verkon taajuuteen perustuvan kuormanohjauksen laajamittaisella toteuttamista on pohdittu mm. eri työryhmissä. Tämän tyyppisten ohjausjärjestelmien toteuttaminen on mahdollista, mutta vaatii eri osapuolien (loppukäyttäjät, sähköverkkoyhtiöt, kantaverkkoyhtiö) yhteistyötä ja yhteisien sääntöjen ja sopimusten laatimista. Esimerkiksi erillinen sopimus asiakkaan kanssa tehon rajoittamisesta tarvittaessa, voi tarjota erään toimintamallin kuormanohjauksien toteuttamiseen. Tällöin asiakas hyötyy sopimuksesta esimerkiksi pienentyneenä sähkön siirtomaksuna ja verkkoyhtiöt mahdollisuutena rajoittaa huipputehoa tarvittaessa.

Kuormanohjaus voidaan toteuttaa ulkoisen signaalin perusteella, joita voivat olla esimerkiksi käyttäjän antama suora ohjauspyyntö tai sähkön hinta. Erilaisia säätötapoja ovat esimerkiksi on / off-ohjaus, suora teho-ohjaus, toiminnan viivästys tai kauko-ohjaus. Kuormanohjauksen säätäminen ulkoisen signaalin mukaan yhdistettynä taloautomaation tarjoamiin mahdollisuuksiin voi mahdollistaa lämmityksen, ilmastoinnin ja muiden ohjat-

tavien kuormien entistä energiatehokkaamman käytön. Tällainen järjestelmä voi mahdollistaa esimerkiksi lämmityksen ohjauksen sähkön hintaan perustuen.

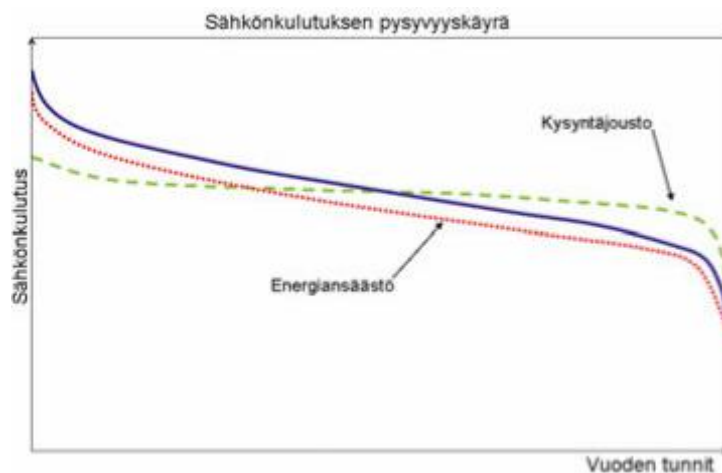
Tehokas kuormanohjaus kilpailuilla sähkömarkkinoilla vaatii vähintään tuntitason mittauksia ja ohjaussignaalien välittämistä. Mikäli kuormanohjaukset halutaan optimoida sähkömarkkinoiden hintojen perusteella, tulee käytössä olla tuntitason aikaresoluutiota tarkempia kulutusmittauksia, vähintään minuuttitason mittauksia (Koponen 08). Kuormanohjauksen toteuttavan automaation tarpeisiin tarvitaan yleensä vähintään 3-15 minuutin aikaerotellulla olevia mittaustietoja. Mikäli mittauksen aikaerotellu on liian huono, on toimenpiteiden ja ohjausten vasteita ja toimintajaksoja vaikea erottaa toisistaan ja satunnaisista kuormituksen vaihteluista. Mittausviive myös hidastaa reagointia muutoksiin ja lisää epävarmuutta vallitsevasta nykytilasta. Monia kulutuskohteita on kuitenkin mahdollista ohjata ilman, että siitä aiheutuu merkittäviä haittoja (Koponen 08).

Hyvin lämpöeristetyssä talossa lämmityksen pienentäminen tai sammuttaminen muutamman tunnin ajaksi on mahdollista ilman, että siitä aiheutuu kovin merkittävää muutosta sisälämpötilaan. Mikäli käytössä on dynaaminen tariffi, jossa sähkön hinta noudattaa lähes reaaliajassa sähkömarkkinoiden hintatasoa, on lämmitystä mahdollista säätää sähkön hintaan perustuen. Lämmitystä voidaan pienentää kun sähkön hinta nousee korkealle ja lisätä kun sähkön hinta laskee. Näin saavutetaan säästöä energiakustannuksissa ja parannetaan sähkön kysyntäjouaston toimivuutta.

Kuormanohjausta on mahdollista hyödyntää monin tavoin energiatehokkuutta tukevana toimintona. Tällä hetkellä laitteistojen hinta ja yhteisten yleisten toimintamallien ja sääntöjen puute ovat suurimmat rajoittavat tekijät. Tulevaisuudessa laitekustannusten odotetaan laskevan nopeasti, mikäli tuotantoerät saadaan suhteellisen suuriksi. Yhteisiä toimintamalleja ja rajapintavaatimuksia täytyy saada luotua riittävästi, jotta kuormanohjauksen laajamittainen käyttö energiatehokkuutta tukevana toimintona on mahdollista. (Nissinen 08)

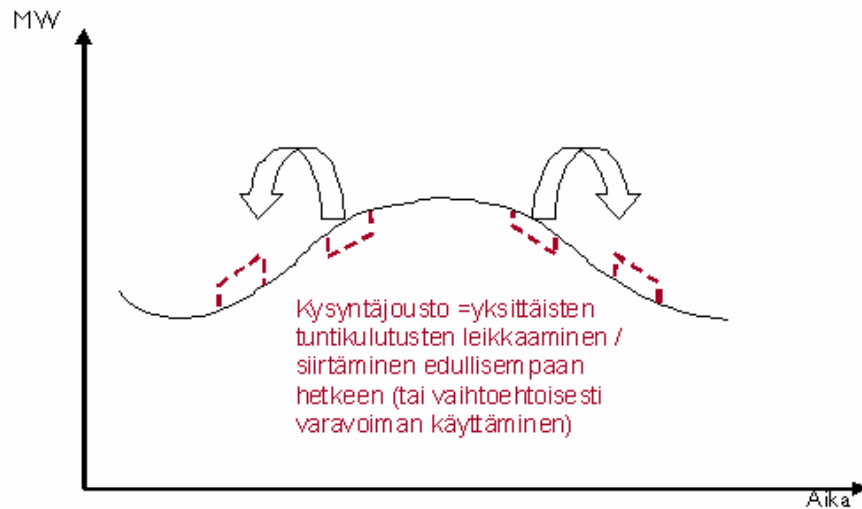
5.2 Kysyntäjousto ja hintaohjaus

”Sähkön kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön rajoittamista ja käytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan.” (EIFi 09) Kulutusajankohdan siirron lisäksi myös kulutuksen hetkittäinen poisjääminen kokonaan voidaan katsoa sähkön kysyntäjoustoksi. Kysyntäjouston avulla voidaan vaikuttaa positiivisesti sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrään, jota havainnollistaa kuva 5.1.



Kuva 5.1. Kysyntäjouston ja energiansäästön vaikutus Suomen sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrään (KJT 08)

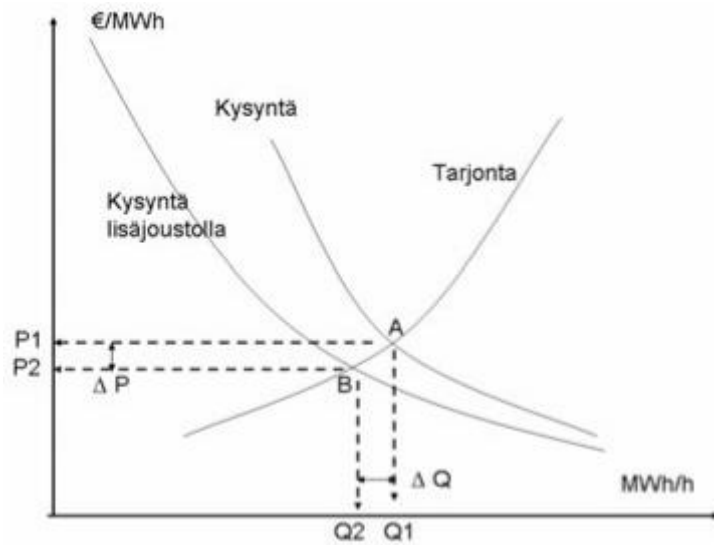
Kysyntäjouston pääasiallisena kohteena ovat kulutushuiput, mutta sähkömarkkinoilla voi tulla myös muita hetkiä, jolloin sähkömarkkinoiden eri toimijat voivat hyötyä kulutuksen siirrosta tai poistosta. Sähkön markkinahinta kohoaa korkeimmilleen tyypillisesti kulutuksen ollessa suurta ja vastaavasti laskee alhaisimmilleen kulutuksen ollessa pientä. Kysyntäjoustolla pyritään ennen kaikkea kulutushuippujen vähentämiseen, koska silloin saadaan paras taloudellinen hyöty käyttämättä jäävästä sähköstä. Lisäksi tämä helpottaa valtakunnallisen tehotasapainon ylläpitoa. Sähkön hinta voi olla hetkittäin korkea myös alhaisemmilla kulutuksilla, jolloin kysyntäjoustosta on myös hyötyä. (KJT 08) Kuva 5.2 havainnollistaa kysyntäjouston toimintaa sähkön kulutushuipun leikkaamisessa.



Kuva 5.2. Kysyntäjouston toiminta sähkön kulutushuipun aikana (EIFi 09)

Sähkön vähittäismyyjälle ja loppukäyttäjälle kysyntäjousto on yksi keino suojautua hintojen vaihteluihin liittyviltä riskeiltä. Se myös parantaa sähkömarkkinoiden ja sähköjärjestelmän toimivuutta, luotettavuutta ja käyttövarmuutta. Kysyntäjousto avulla voidaan lisäksi parantaa energiatehokkuutta ja korvata investointeja huippu- ja reservivoiman tuotantoon. (Koponen 08)

Kysyntäjousto vaikuttaa sähkömarkkinoiden toimintaan ja sähkön hintaan. Kysyntäjouston vaikutusta sähkön hintaan havainnollistaa kuva 5.3, jossa alkuperäiset kysyntä- ja tarjontakäyrät kohtaavat pisteessä A. Tällöin hinta kyseiselle tunnille on P1 sähköntuotannolla Q1. Kysyntäjouston lisääntyessä laskee tarvittava tuotanto arvoon Q2 ja sähkön hinta arvoon P2, jolloin kysyntä ja tarjonta kohtaavat pisteessä B.



Kuva 5.3. Sähkön hinnan muodostuminen ELSPOT-markkinoilla ja kysyntäjouston vaikutus sähkön hintaan. (KJT08)

Nykyisillä sähkömarkkinoilla kysynnänjousto on kuitenkin suhteellisen heikkoa korkean markkinahinnan aikaan. Vähäisen sähkönkäytön hintajouston seurauksena aiheutuu hintatapiikkejä, jotka voivat aiheuttaa suuria kustannuksia sähkömarkkinoiden toimijoille. (EIFi 09)

Sähkön hintaohjauksella tarkoitetaan sitä, että sähkönkuluttaja ohjaa itse sähkön käyttöönsä muuttuvien hintasignaaleiden perusteella. Tämä eroaa siis kuormanohjauksesta oleellisesti, koska siinä sähköyhtiö ohjaa suoraan asiakkaan kulutusta, riippumatta siitä miten asiakkaan sähkötarve muuttuu. (Koponen et al. 06a)

Hintaohjaus perustuu siihen, että kuluttaja voi säästää energiaa silloin kun se on kalleinta tai siirtää kulutusta hetkeen jolloin se on halvempaa. Hintaojauksen toteutukseen on monia eri tapoja, mutta tehokkaimpiin ratkaisuihin päästään hyödyntämällä siihen soveltuvia tekniikoita kuten kuormanohjausta ja taloautomaatiota. Kuluttajat voivat hyödyntää hintaohjausta myös omilla toimenpiteillä, vaikkapa lämmittämällä taloa varaavalla takalla kalliin sähkön aikaan tai lykkäämällä sähkösaunan lämmitystä parilla tunnilla ajankohtaan jolloin sähkö on halvempaa.

Sähkön markkinahinnat voivat vaihdella paljon ja hintojen huiput ovat usein satunnaisia. Kelloon perustuva hintojen ohjaus eli aikaohjaus ei siksi useimmiten vastaa todellisia markkinahintojen muutoksia, eikä siten myöskään todellista ohjaustarvetta. Kiinteästi aikaan sidotut kaksi- ja kolmiaikatariffit ovatkin nykyisin melko tehottomia välittämään sähkömarkkinoiden hinnanvaihteluita. (Koponen et al. 06a)

Hintaohjauksen kannalta on tärkeää, että kuluttajalle pystytään välittämään riittävän reaaliaikaiset hintatiedot. Tämä määrääkin pitkälti miten tehokkaasti hintaohjausta voidaan toteuttaa nopeasti muuttuvilla markkinoilla. Muita tärkeitä tekijöitä hintaohjauksen tehokkaan toteutuksen kannalta ovat mittauksien ja automatiikan tarkkuus, nopeus sekä ohjattavuus. Nykyisillä älykkäillä mittaus- ja ohjausjärjestelmillä on mahdollista toteuttaa tehokasta hintaohjausta, mutta niiden korkeat kiinteät kustannukset muodostuvat vielä nykyisin usein kynnyskysymykseksi. Monia kulutuskohteita on kuitenkin mahdollista ohjata nopeasti ilman, että siitä aiheutuu merkittäviä haittoja tai muuttuvia kustannuksia.

5.2.1 *Sähkömarkkinoiden Spot-hintoihin perustuva hintaohjaus*

Yksi potentiaalinen hintaohjausmenetelmä on sähköpörssin spot-kaupan hintoihin perustuva hintaohjaus. Siinä jokaiselle tunnille määräytyy oma sähkönhinta tarkasteluhetkeä edeltävän päivän hintojen perusteella. Asiakas maksaa sähköenergiasta spot-kaupassa määritellyn hinnan johon on lisätty myyjän ottama marginaali. Koska hinnat muodostuvat edellisen päivän hintojen perusteella, jää asiakkaalle noin vuorokausi aikaa reagoida muutoksiin.

Spot-hintaohjauksen etuna on, että päivittäin määräytyvät spot-hinnat ovat periaatteessa neutraalisti muodostuvia referenssihintoja ja näin ollen soveltuvat hyvin tariffien pohjaksi. Samankaltaista hintaohjausta voidaan tietysti soveltaa myös spot-markkinoita nopeammilla tai hitaammilla markkinoilla. (Koponen et al. 06a)

Spot-ohjausta nopeamman hintaohjauksen toteutus on mahdollista, mutta vaatii järjestelmältä paljon enemmän. Ensimmäinen edellytys on nopea tiedonsiirtoyhteys, jotta hin-

tasignaalin muutoksen saadaan välitettyä asiakkaalle riittävän reaaliaikaisesti. Hintasignaalien nopeiden muutosten hyödyntäminen vaatii kuluttajalta entistä nopeampaa reagointia, mittauksilta riittävän hyvää aikaresoluutiota ja talo-ohjaukselta sekä muulta automatiikalta riittävän nopeita vasteita. Käytännössä kuluttaja pystyy reagoimaan helposti vielä seuraavan päivän spot-hintoihin. Yleensä hintajoustop toteuttaminen vaatii kuitenkin automaattisen vasteen, etenkin jos ohjauksignaalien muutokset ovat nopeita. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä reaaliaikaisempien hintatietojen perusteella ohjaus toimii, sitä suuremmat vaikutukset sillä on kysyntäjoustop toimivuuteen, mutta sitä suuremmat vaatimukset se asettaa tiedonsiirrolle, ohjaus- ja mittausjärjestelmille tai kuluttajan toimille.

5.2.2 *Hintaohjauksen vaikutukset sähkömarkkinoiden toimijoihin*

Sähkömarkkinoiden eri toimijat, kuten järjestelmän tehotasapainosta vastaavat operaattorit toivovat lisää nopean kysynnän hintajoustop. Nopeasti teholtaan vaihtelevan tuotannon lisääntyminen sekä entistä suuremmat voimallitokset ja siirtoyhteydet vaativat vastapainoksi nopeasti ohjattavia säätöresursseja. Niiden riittämättömyys voi johtaa vakaviin sähkömarkkinoiden häiriöihin ja sähköjärjestelmän käyttövarmuuden huononemiseen. Tällaisia tilanteita voivat aiheuttaa vaikkapa äkillinen häiriö isossa voimallitoksessa tai siirtoyhteydessä, tuonnin rajoitus, äärisäätötilan vahvistama kulutusuhippu tai näiden yhdistelmä. Markkinoiden suuri keskittyminen tietyille alueille voi myös aiheuttaa tilanteita, joissa markkinoita hallitsevat toimijat hyötyvät korkeista hinnoista ja saavat taloudellista lisähyötyä pahentamalla tilannetta entisestään. Sähköpörssissä oleville toimijoille tällaiset korkeat hinnat aiheuttavat suuren taloudellisen riskin, jolta suojautuminen on kallista. (Koponen et al. 06a)

Kuormanohjaus on suurelta osin käytössä suurteollisuuden parissa joko hintaohjauksen muodossa tai esimerkiksi järjestelmävastaavan häiriöreservinä. Hintaohjaukselle voi kuitenkin vielä löytyä huomattavaa lisäpotentiaalia pienemmistä kohteista. Hintaohjaus onkin monesti sähkökuluttajille suoraa kuormanohjausta mieleisempi vaihtoehto. Suorassa kuormanohjauksessa on usein ongelmana se, että siinä on hankala varmistua etteivät asiakkaan muut kuormat kumoja ohjauksen vaikutusta tehoon. Hintaohjauksen etuna verrat-

tuna kuormaohjaukseen on myös sen selkeä ja suoraviivainen liitettävyyden osaksi sähkömarkkinoita. (Koponen et al. 06a)

Järjestelmätason kannalta kysynnän hintajousto on hyvin potentiaalinen vaihtoehto lyhytaikaiselle ja satunnaiselle nopeasti ohjattavalle huippuvoimalle ja pyörivälle varakapasiteetille. Se voi tuoda merkittävää hyötyä, etenkin kun sähköhinta on riittävän korkea tehokkaan kysynnänjouston toteuttamisen kannalta. Kysynnänjoustolla voidaan korvata korkeintaan sama määrä korvattavaa resurssia, kuin kysyntäjoustoa on korvaushetkellä käytettävissä.

5.3 Hajautettu tuotanto ja energiavarastot

Hajautettu tuotanto ja energiavarastot voivat tarjota tulevaisuudessa hyviä mahdollisuuksia energiatehokkuuden ja sitä tukevien toimintojen kehittämiseen. Niiden tehokas hyödyntäminen edellyttää kuitenkin interaktiivista asiakasliityntää, joka mahdollistaa kaksisuuntaisen joustavan tehonsiirron, tarkat ja reaaliaikaiset energiamittaukset sekä luotettavat tiedonsiirtoyhteydet.

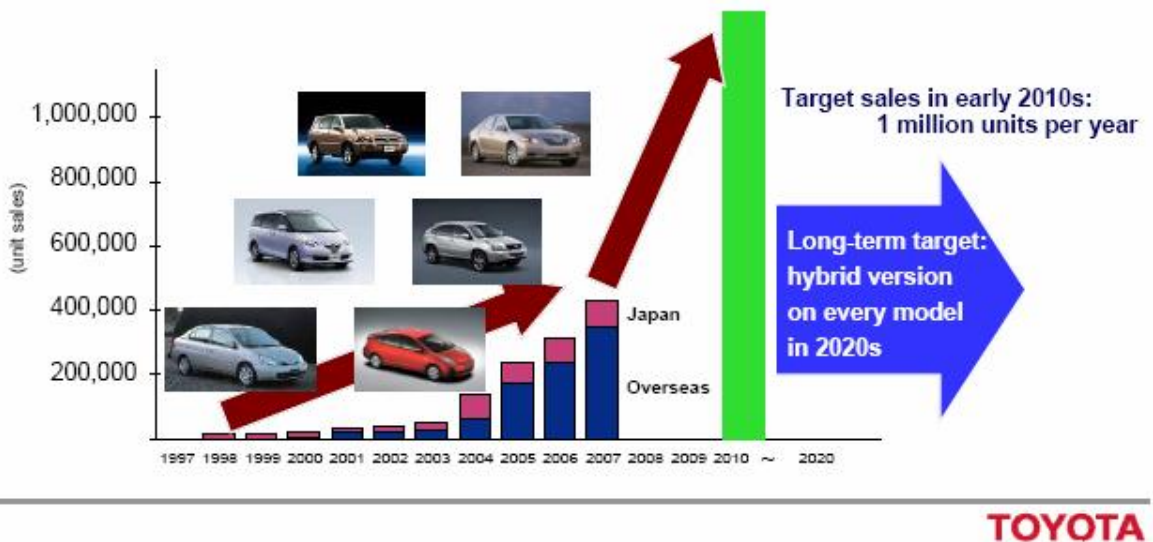
Hajautettua tuotantoa on usein vaikea ennustaa. Hajautetun tuotannon lisääntyminen voi aiheuttaa paljon vaikeasti ennustettavia kuormituksen vaihteluita sähkönjakeluverkkoihin. Tästä syystä reaaliaikaiset ja tarkat energiamittaukset sekä hajautetun tuotannon tehokas hallinta on tärkeää. Hyvin suunniteltuna ja hallittuna se voi parantaa sähkönjakeluverkkojen käyttövarmuutta, edistää sähkömarkkinoiden toimintaa sekä parantaa yleistä energiatehokkuutta.

Interaktiivisen asiakasliitynnän sekä automaatiojärjestelmien kehittäminen voi tulevaisuudessa mahdollistaa erilaisten energiavarastojen tehokkaan hyödyntämisen varavoimana tai hintaohjattavana kapasiteettina. Erilaiset staattiset ja mobiilit energiavarastot kuten aurinkopaneelijärjestelmien tai sähköautojen akut voivat tarjota tulevaisuudessa huomattavan suuren energiavarastokapasiteetin. Erilaisten energiavarastojen tehokas hyödyntäminen vaatii kuitenkin akkujen ja asiakasliityntöjen kehittämistä sekä uusien toimintamal-

lien suunnittelua. Tulevaisuudessa etenkin sähköautojen yleistyminen voi tarjota huomattavan määrän hyödynnettävissä olevaa akkukapasiteettia energian varastointiin.

5.3.1 Sähköautot

Sähköautot (EV), hybridit (HEV), ja näiden erilaiset muunnelmat kuten ladattavat hybridit (PHEV) ovat kehittyneet viime vuosina nopeasti, jonka seurauksena niiden suosio myös kuluttajien keskuudessa on kasvanut. Tulevaisuudessa tämän suuntaisen trendin odotetaan jatkuvan ja jopa kiihtyvän entisestään. Kuvassa 5.4 on esitetty hybridien kysynnän kehitystä Japanissa, jossa sähköautoja on käytössä jo huomattava määrä.

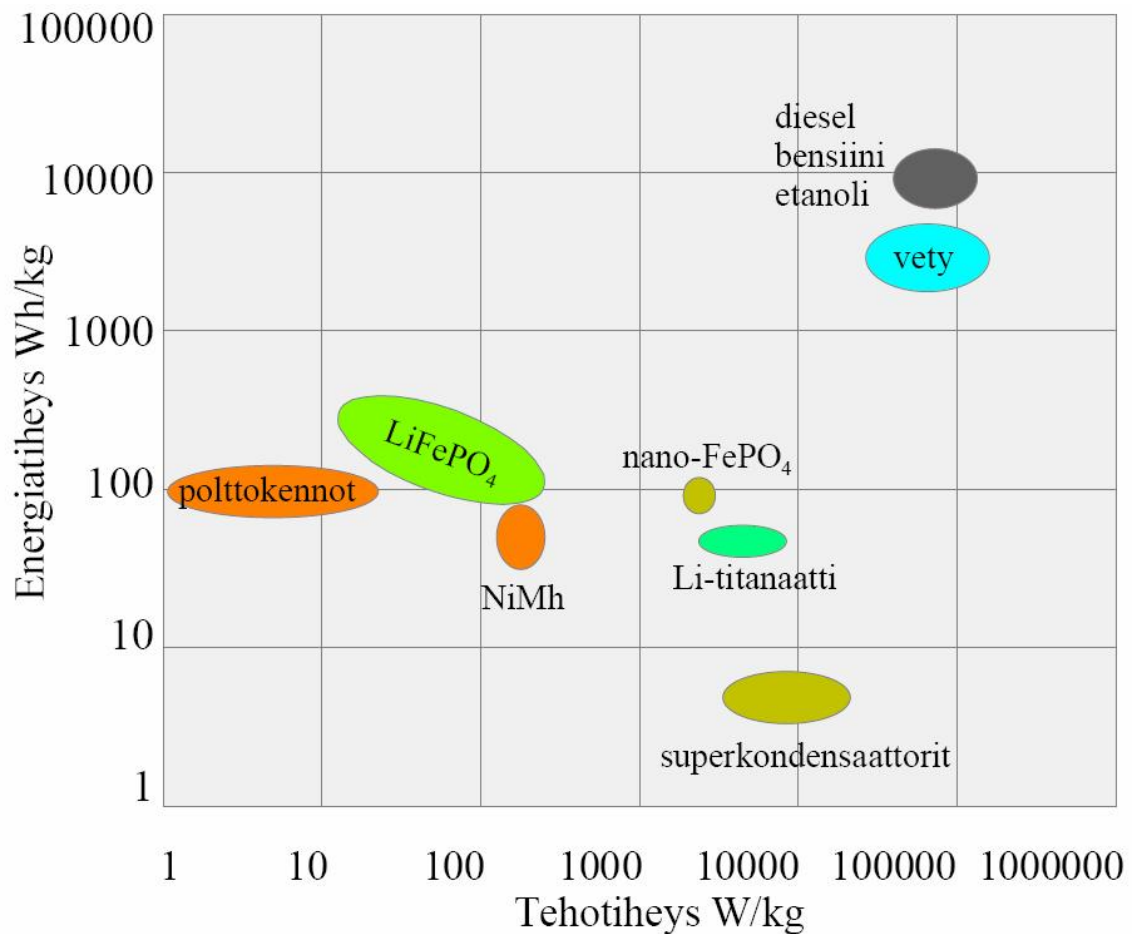


Kuva 5.4 Hybridien kysynnän kehitys Japanissa (Anon 09b)

Tässä yhteydessä sähköautoista puhuttaessa tarkoitetaan kaikkia sähköautoja ja hybridejä, jotka sisältävät huomattavan energianvarastointikapasiteetin. Sähköautoissa on useita selkeitä etuja verrattuna polttomoottorilla varustettuihin autoihin kuten niiden ympäristöystävällisyys, hyvä hyötysuhde (vähintään 85 %), suuri liikkeellelähtövääntömomentti, jarrutusenergian talteenottomahdollisuus ja yksinkertainen tekniikka. Sähköenergian talteenoton ja hyvän hyötysuhteen ansiosta sähköauton energiankulutus on varsin pieni 10-20 kWh/100km, mikä vastaa energiamäärältään 1-2 litraa bensiiniä. Sähköautojen yleistyminen voi edesauttaa fossiilisten polttoaineiden korvaamista uusiutuvilla. (Anon 09b) Sähköautot tarjoavat useita parannuksia polttomoottorilla varustettuihin autoihin verrat-

tuna. Sähköautojen kehitystyö on kiivasta ja niiden voidaankin odottaa yleistyvän nopeasti tulevaisuudessa, jos muutama kynnyksymys niiden kehityksessä saadaan ratkaistua.

Suurin ongelma sähköautojen yleistymiselle on ollut akkuteknologian ”riittämättömyys”. Akkuteknologian kehitys on viime vuosina ollut nopeaa ja tutkimustulosten perusteella sen voidaan olettaa jatkuvan ainakin yhtä nopeana.



Kuva 5.5. Eri energianlähteiden ja energiavarojen tarjoamat teho- ja energiatiheydet (Anon 09b)

Tällä hetkellä käytettävät kehittyneimmät akkutekniikat (LiFePO₄) mahdollistanevat käytännössä noin 150 Wh/kg energiatiheyden ja teoriassa jopa 450 Wh/kg energiatiheyden. Kuvassa 5.5 on esitetty eri energianlähteiden ja -varastojen energia- ja tehotiheyksiä. Arviot akkujen tällä hetkellä tarjoamista ominaisuuksista ja akkujen käytön kustannuksista vaihtelevat jonkin verran. Alle koottu yksi arvio tämän hetken akkuteknologian käyttökustannuksista esimerkkiakun muodossa.

Esimerkkiakun tiedot:

- Energiamäärä: 24 kWh
- Nimellisjännite: 269 V
- Hinta: 15 000 €
- Käyttöikä: 4000 lataus/purku sykliä
- Kustannus: n. 0,15 €/sykli/kWh

Tämän hetken akkujen käyttökustannukset ovat suhteellisen korkeita, mistä johtuen niiden käyttö energiavarastona ei ole kannattavaa (Anon 09b). Akkuteknologian kehittyminen on nopeaa ja voi tulevaisuudessa muuttaa tilannetta ja mahdollistaa akkujen kustannustehokkaan käytön energiavarastoina. Tämä avaisi uusia mahdollisuuksia niiden laajamittaiselle hyödyntämisille sähkömarkkinoilla. Niitä voitaisiin käyttää vaikkapa hajaute- tun tuotannon varastointiin, sähkön laadun ylläpitoon ja kuormien tasaamiseen. Tämä edellyttää kuitenkin akkuteknologian kehittymistä sekä joustavaa liityntää asiakkaan ja sähköverkon välille, mikä mahdollistaa joustavan kaksisuuntaisen tehonsiirron.

Sähköautojen yleistyminen ja niiden laajamittainen käyttö aiheuttaisi huomattavia muutoksia sähköverkkojen kuormitusprofiileihin ja energian tarpeisiin. Se miten sähköautojen lataukset vaikuttavat energiantuotantokapasiteetin tarpeisiin ja sähkönjakeluverkkojen kuormitukseen, riippuu siitä miten lataus toteutetaan. Jos latausta ei kontrolloida sen vaikutukset sähkönjakeluverkkoihin voivat olla dramaattiset. Sen sijaan älykkäästi toteutettu lataus voi tasoittaa kuormituksia, jolloin vaikutuksen sähkönjakeluverkkoihin ovat siedettävät. Parhaimmassa tapauksessa kuormitusten vaihtelut jopa tasoittuvat, eivätkä huippuheat juurikaan nouse. (Lassila 09)

Tarkastellaan sähköautojen latausta asiakkaan kiinteistön sähköliittymästä eli kotilatausta. Yksivaiheisen 230 V ja 16 A sulakkeella varustetun pistorasian maksimiteho on 3,68 kW. Huomioidaan lataukseen jätettävä 20 % turvamarginaali, jolloin latausteho on 3 kW. Lisäksi laturin sekä akun hyötysuhde on noin 90 %, jolloin akkuun varastoituvaksi tehoksi jää 2,4 kW. Taulukkoon 5.1 on esitetty tietoja Tesla Roadster ja Chevrolet Volt

sähköautojen lataamisesta erilaisissa sähköliittymissä yllä mainituin oletuksin. (Mutanen 09)

Taulukko 5.1. Sähköautojen lataustehot ja lataamisen kuluva aika (Mutanen 09)

| Sähköliittymä | Nimellisteho | Akkuun varastoituva teho | Latausaika | |
|---------------|--------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | Tesla Roadster (53 kWh akku) | Chevloret Volt (16 kWh akku) |
| 230 V / 10 A | 2,3 kW | 1,5 kW | 35 h | 11 h |
| 230 V / 16 A | 3,7 kW | 2,4 kW | 22 h | 7 h |
| 3*400V / 16 A | 11,1 kW | 7,2 kW | 7 h 23 min | 2h 14 min |

Taulukosta 5.1 havaitaan, että sähköautojen latausajat ovat normaalissa kotilatauksessa useita tunteja. Mikäli esimerkiksi Chevrolet Voltin 16 kWh akku haluttuaan saada ladattua pikalatauksella 10 minuutissa, SOC (State Of Charge, lataustaso) 0-80 %, vaatii se 95 kW tehoa.

Sähköautojen yleistyminen tarkoittaisi käytännössä myös tarkempaa perehtymistä sen vaikutuksiin sähköverkkoihin ja energiantuotannon tarpeisiin. Yksi suurimmista haasteista on latausten toteuttamien älykkäästi siten, että niistä ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia eikä sähköverkkojen toimintavarmuus heikenny. Sähköautot voivat joka tapauksessa tarjota huomattavia hyödyntämismahdollisuuksia, mutta voivat aiheuttaa myös suuria ongelmia mikäli niiden aiheuttamiin vaikutuksiin ei varauduta ajoissa. Sähköautojen laajamittaisten latausten älykäs toteuttaminen tulee ratkaista ennen sähköautojen laajaan käyttöön leviämistä, jotta vältetään kalliilta investoinneilta. Sähköautojen nopean yleistymisen vaikutuksien pohtiminen ja mahdollisten ongelmien ratkaiseminen ajoissa on tärkeää kaikkien sähkömarkkinoiden osapuolien kannalta.

5.3.2 Hajautettu sähköntuotanto

Hajautetun tuotannon uskotaan tulevaisuudessa saavuttavan entistä tärkeämmän roolin voimajärjestelmissä. Hajautetulla tuotannolla (DG, Distributed Generation) tarkoitetaan pienimuotoista energiantuotantoa, (yleensä alle 10 MW) mikä on kytketty jakeluverkkoon tai sijaitsee lähellä energiankulutusta. (Triggianese 07)

Hajautetussa tuotannossa tuotantoteknologiaa tai energianlähdettä ei ole rajattu. Usein hajautetun tuotannon energianlähteinä käytetään kuitenkin uusiutuvia energianlähteitä kuten tuulivoimaa, vesivoimaa ja aurinkoenergiaa. Näiden lisäksi hajautettuun tuotantoon käytetään kaasuturbiineja, diesel-generaattoreita, mikroturbiineja, biomassapolttimia ja polttokennoja. (Paatero 01)

Hajautetun tuotannon lisääntymisellä on hyvin moninaisia vaikutuksia sähkönjakeluverkoihin, mikä luo monia haasteita niiden suunnittelun ja käytön näkökulmasta katsottuna. Tuotannon lisääminen verkkoon voi muuttaa tehojen kulkusuuntia osissa verkkoa päinvastaiseksi, mikä täytyy huomioida suunnittelussa. Se vaikuttaa myös verkon jänniteprofiiliin. Etenkin tuotantotekniikat joiden teho on vaihtelevaa, kuten tuulivoima ja aurinkosähkö, voivat aiheuttaa jännitetasojen vaihteluita. Hajautettu tuotanto voi aiheuttaa myös jännitteen nousuja tai erilaisia yliaaltoja verkkoon. Aiheuttamistaan ongelmista huolimatta hajautettu tuotanto voi parantaa verkon käyttövarmuutta, luotettavuutta ja asiakkaiden sähkönlaatua. Jakeluverkon suojauksen kannalta hajautettu tuotanto on usein ongelmallista, sillä se vaikeuttaa lähes aina suojauksen toteutusta. (Rautiainen 07)

Hajautetulla tuotannolla on myös taloudellisia vaikutuksia. Jakeluverkkoon liitettyjen hajautetun tuotannon yksiköiden tuottama teho voi vähentää kantaverkosta otettavaa tehoa ja näin ollen pienentää kantaverkkomaksuja. Kantaverkkomaksut voivat kuitenkin myös nousta mikäli jakeluverkosta siirtyy merkittävä määrä tehoa kantaverkkoon päin. Hajautetulla tuotannolla on vaikutusta myös sähköverkon häviöihin. Tapauksesta riippuen se voi joko kasvattaa tai pienentää häviöitä. (Rautiainen 07)

Verkon suunnittelu ja käyttö monimutkaistuu olennaisesti, jos siihen liitetään huomattavia määriä hajautettua tuotantoa. Monimutkaisen kokonaisuuden hallinta on vaikeaa ja vaatii edistyksellisten säätö- ja hallintajärjestelmien hyödyntämistä. Tällaista aktiivista verkon hallintaa varten onkin kehitetty konsepti jota kutsutaan virtuaalivoimalaksi (VPP-Virtual Power Plant). (Rautiainen 07)

Hajautetun tuotannon lisäksi virtuaalivoimalaitokseen voidaan liittää energiavarastoja ja ohjattavaa kuormitusta. VPP mahdollistaa näin sekä hajautetun tuotannon kuin erilaisten energiavarastojen ja säätöpotentiaalin kaupallisen hyödyntämisen energiamarkkinoilla.

6 TOIMINTOJEN KANNATTAVUUS JA KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

Tässä luvussa tutkitaan eräitä energiatehokkuutta tukevia toimintoja. Tarkoituksena on pyrkiä analysoimaan niiden kannattavuutta, käytännön hyötyjä ja ongelmia. Lisäksi pohditaan miten näiden toimintojen yleistymistä voitaisiin edistää ja kannattavuutta parantaa.

6.1 Energiayhtiön AMR-pohjainen tasehallinta

Tässä luvussa tutkitaan energiayhtiön tai sähkömarkkinoiden muun toimijan mahdollisuuksia käyttää etäluettavia AMR-mittareita ja niillä saatavia tuntienenergietietoja apuna tasehallinnan tarkentamisessa. AMR-mittarit pystytään haluttaessa kaukolukemaan erillisestä käskystä tai ennalta määrätyn ohjelman mukaisesti. Niistä saadaan tarvittaessa reaaliaikaisia mittaustietoja, joiden avulla kulutusennustetta voidaan tarkentaa ja näin pyrkiä pienentämään energiayhtiön tasevirhettä ja saavuttamaan säästöjä tasesähkökustannuksissa. Tässä yhteydessä reaaliaikaisilla mittaustiedoilla tarkoitetaan etäluennalla saatuja (tuntienenergia) mittaustietoja, jotka sisältävät huomattavan viiveen, mutta ovat reaaliaikaisia verrattuna perinteisellä mittareidenluvulla saatuihin tietoihin.

Tässä luvussa käydään ensin läpi sähkömarkkinoiden ja sähkökaupan yleisiä toimintamalleja, jotta käsiteltävään asiaan saadaan parempi ymmärrys. Sen jälkeen tarkastellaan taseennusteen tarkentamista reaaliaikaisilla energiankulutustiedoilla. Tämän jälkeen lasketaan toiminnasta mahdollisesti saatava rahallinen hyöty ja arvioidaan kustannukset sekä analysoidaan tasehallinnan kannattavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

6.1.1 *Energiayhtiön tasehallinta*

Sähkömarkkinoilla toimivat osapuolet jakautuvat tasesähköyksikköön (Fingrid System OY), tasevastaaviin, loppukäyttäjiiin ja muihin sähkömarkkinoiden toimijoihin, kuten sähkön myyntiyhtiöihin tai suuriin sähkönkäyttäjiiin ja tuotantoyhtiöihin. Sähkökaupan tekninen toteutus perustuu avoimiin toimituksiin, jotka ovat mittauksilla todennettavissa olevaa kulutusta tai tuotantoa. (Gillberg 04) Jokaisella toimijalla on yksi avoin toimittaja.

Avoimien toimitusten ketju päättyy tasevastaavan kautta tasesähköyksikköön, joka vastaa valtakunnallisen tehotasapainon säilymisestä. Muu toimijan käymä kauppa on kiinteää toimitusta, joka sovitaan ja raportoidaan etukäteen ennakkoilmoitusmenettelyn mukaisesti (VN 09).

Sähkömarkkinoilla toimivien yritysten (energiayhtiöt) tavoitteena on pyrkiä mahdollisimman kustannustehokkaaseen toimintaan. Tärkeä osa tätä on sähkön hankintojen ja toimituksien optimointi. Yksittäisen toimijan sähkönhankinta voi tapahtua hankintasopimusten kautta, joista yksi on avoin, tai sähköpörssin Elspot- ja Elbas-markkinoilla. Elspot-markkinoilla kauppaa käydään kerran vuorokaudessa huutokauppa periaatteella seuraavan vuorokauden sähkötoimitustunneista. Elbas-markkinoilla on käytössä jatkuva kaupankäynti ja kaupankäynnin kohteena ovat yhden tunnin sähkötoimitukset. Tarjoukset on jätettävä Elbas kaupankäynnissä viimeistään tuntia ennen kohdetunnin alkua. (Nordpool 09)

Elbas-markkinoiden sulkeuduttua energiayhtiö ei voi enää käydä kauppaa sähkömarkkinoilla, jolloin käytössä on mahdollisen oman tuotannon tai kulutuksen ohjaus. Mahdollisista kaupoista ja säätötoimenpiteistä huolimatta energiayhtiön sähkönhankinta ja toimitus eivät yleensä vastaa tarkasti toisiaan, josta syntyy tasepoikkeama. Energiayhtiön on hankittava tasepoikkeaman verran tasesähköä, jonka hinnoittelu perustuu sähkömarkkinoiden hintatasoon.

Vuoden 2009 alussa astui voimaan uusi yhteispohjoismainen tasepalvelumalli, jonka mukaan tasesähkön hinta määräytyy. Tasevastaava maksaa tasepalvelusta tasepalvelumaksuja, jotka ovat olleet 1.1.2009 alkaen ovat seuraavanlaiset:

- Kiinteä kuukausimaksu 200 €kk
- Tuotantomaksu 0,035 €/MWh (toteutunut tuotanto)
- Kulutusmaksu 0,075 €/MWh (toteutunut kulutus)
- Kulutustaseen tasepoikkeaman volyyymimaksu 0,5 €/MWh

Uuden tasepalvelumallin mukaisesti tase jaetaan kahteen osaan, tuotantotaseeseen ja kulutustaseeseen. Tuotanto käsitellään yhdessä taseessa ja ostot, myynnit sekä kulutus toisessa taseessa. Tuotanto- ja kulutustaseille sovelletaan eri hintoja. Tuotantotase noudattaa kaksihintamallia ja kulutustase yksihintamallia, jossa tasesähkön osto- ja myyntihinta on sama. Kuvassa 6.1 on esitetty eri hintajärjestelmien toiminta. (Fingrid 09)

| | | 2 - hinta | | | 1 - hinta | | | |
|--------------------------------------|--|----------------|------------|----------------|----------------|------------|----------------|-------|
| | | Ylössäätötunti | Ei säätöjä | Alassaätötunti | Ylössäätötunti | Ei säätöjä | Alassaätötunti | |
| Ylössäätöhinta | | 100 | 50 | 50 | 100 | 50 | 50 | €/MWh |
| Spotihinta | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | - |
| Alassaätöhinta | | 50 | 50 | 20 | 50 | 50 | 20 | - |
| Tasevastaavan tasesähkön ostohinta | | 100 | 50 | 50 | 100 | 50 | 20 | - |
| Tasevastaavan tasesähkön myyntihinta | | 50 | 50 | 20 | 100 | 50 | 20 | - |

Kuva 6.1 Tasesähkökaupan eri hintajärjestelmien toiminta. (Fingrid 09)

Tasevastaavan näkökulmasta yksihintajärjestelmä on pitkällä aikavälillä halvempi, ja sen arvioidaan lisäävän tasesähkön määrää aktivoimalla pieniä toimijoita ryhtymään tasevastaaviksi. Uuden mallin yksi kulmakivi on raportointi lähellä käyttötuntia, mikä antaa mahdollisuuden sähkömarkkinoiden toimijoille käydä kauppaa Elbas-markkinoilla aina tuntiin ennen käyttötuntia. Tuotantosuunnitelmat ja säätösähkötarjoukset on toimitettava kantaverkkoyhtiölle viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia. (Fingrid 09) Tämän ansiosta sähkömarkkinoiden toimijat pystyvät käymään kauppaa tai tekemään säätötoimenpiteitä tase-ennusteen tarkentamiseksi suhteellisen lähellä käyttötuntia.

Perinteisesti energiayhtiöiden sähkönhankinta on suoritettu kuormitusmallien pohjalta laadittujen kulutusennusteiden perusteella. Sähkönhankinnan ennustamisessa voidaan käyttää ennustemallien lisäksi apuna sähkönjakelualueelta saatavissa olevia mittaustietoja, joiden perusteella voidaan kulutusennustetta tarvittaessa pyrkiä tarkentamaan. Tasealueelle kuuluvista sähkönjakeluverkoista saadaan mittaustietoja verkkojen rajapisteistä, joiden perusteella voidaan laskea alueen jakeluverkkojen kokonaisenergiankulutukset.

Nämä tiedot on yleensä mahdollista saada tasehallinnan käyttöön muutaman minuutin viiveellä mittauksista. Pidemmällä viiveellä (muutama päivä) saadaan tasevastaavalta myös tarkat tiedot alueen jakeluverkkojen sisään ja ulos myynneistä (Anon 09a). Ulos myynneillä tarkoitetaan paikallisen energiayhtiön toimituksia oman jakeluverkkoalueen ulkopuolelle ja sisään myynnillä muiden toimijoiden toimituksia paikallisen energiayhtiön jakeluverkon alueelle.

Valtioneuvoston mittausasetuksen (VN 09) seurauksena entistä enemmän sähkönkulutuskohteista tulee tulevaisuudessa kaukoluettavan AMR-mittauksen piiriin. Tämä mahdollistaa reaaliaikaisten energiankulutustietojen saannin yhä useammilta sähkönkuluttajilta. Tulevaisuudessa todennäköisesti lähes kaikki sähkön loppukäyttäjät tulevat olemaan AMR-mittauksien piirissä. Tutkitaankin seuraavana reaaliaikaisten energiankulutustietojen hyödyntämismahdollisuuksia energiayhtiön tasehallinnan tarkentamisessa.

6.1.2 *Kulutusennusteen tarkentaminen reaaliaikaisilla energiankulutustiedoilla*

Tiedonsiirtoyhteyksien kapasiteetin täytyy mahdollistaa riittävän nopean tuntien energiatietojen siirto, jos halutaan reaaliaikaisia energiankulutustietoja tasehallinnan tarpeisiin. Tuntien energiatietojen ajantasaisuus ja kulutusennusteen päivityksen tiheys vaikuttavat kulutusennusteen tarkkuuteen. Mitä ajantasaisemmilla energiatiedoilla ja mitä tiheämmin kulutusennustetta tarkennetaan, sitä tarkempi kulutusennusteen voidaan olettaa olevan.

Lähteen (Gillberg 04) tietojen perusteella jakeluennusteen tarkentaminen kerran kuudessa tunnissa tuotti 4,3 % keskimääräisen suhteellisen virheen (MAPE, Mean Absolute Percentage Error), eikä merkittävästi parantanut kulutusennusteen tarkkuutta. Kun jakeluennusteen päivitys tapahtui kerran tunnissa, tunti ennen käyttötunnin alkua, pienentyi virhe 1,7 % tasolle. Tämän perusteella voidaan sanoa, että kulutusennusteen tarkentamiseen käytettyjen kulutustietojen reaaliaikaisuudella on huomattava merkitys kulutusennusteen tarkkuuteen.

Se miten nopeasti kulutustiedot asiakkailta saadaan luettua vaikuttaa siihen, miten reaaliaikaisilla kulutustiedoilla ja miten nopeasti tarkennettu kulutusennuste pystytään laatimaan. Jokainen tunti joka kuluu kulutustietojen luentaan ja ennustetietojen tarkentamiseen, myöhästyttää tunnilla tarkennetun tasehallinnan aloittamista ja todennäköisesti lisää myös kulutusennusteen virhettä. Se kuluuko kulutustietojen luentaan yksi vai kaksi tuntia, ei vielä välttämättä vaikuta paljon kulutusennusteen tarkkuuteen, mutta jos viive kasvaa useiksi tunneiksi kasvaa myös virheen suuruus olennaisesti. Viiveen vaikutus virheen suuruuteen riippuu paljon myös siitä, millainen energiayhtiön asiakasrakenne on ja millainen on asiakkaiden energiankulutuksen vaihtelu. Mutta mitä reaaliaikaisemmilla tiedoilla ja mitä nopeammin ennuste voidaan päivittää, sen parempaan ennustetarkkuuteen päästään.

Kulutusennusteen tarkentamisen kannalta on olennaista miettiä mistä kulutusennusteen virheet aiheutuvat. Energiayhtiön asiakkaista tyypillisesti suurin osa on pienkuluttajia. Yksittäisien pienkuluttajien kulutuksen vaihtelulla ei ole juurikaan vaikutusta kulutukseen kokonaisvirheeseen. Pienkuluttajien suuren määrän takia niiden pienet kulutuksenvaihtelut kompensoivat toisiaan melko paljon. Lisäksi pienkuluttajien kokonaiskulutuksessa on harvoin suuria ja nopeita vaihteluita, joten se pystytään ennustamaan suhteellisen helposti. Näin ollen pienkuluttajien vaikutus tasevirheen suuruuteen on usein pieni (Anon 09a). Pienkuluttajien kulutusta voikin olla helpompi ja järkevämpi ennustaa yhtenä suurena kokonaisuutena, kuin pyrkiä ennustamaan jokaisen kulutusta erikseen.

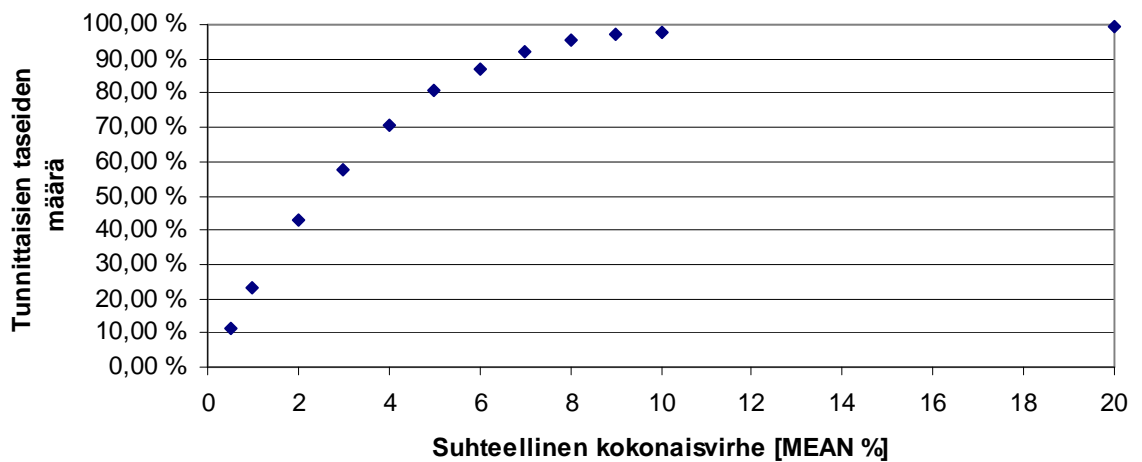
Suurimmat virheet kulutusennusteisiin aiheutuvat tyypillisesti suurien teollisuusasiakkaiden kulutuksen vaihteluista. Niiden kulutuksen ennustaminen on myös haasteellisempaa kuin pienkuluttajien, sillä teollisuuden parissa voi tapahtua hyvin nopeita ja volatilitetteja ja energiankulutuksen vaihteluita. Erittäin vaikeasti ennustettavia kohteita voivat olla esimerkiksi valimot tai metallin sulattomat.

Lähteessä (Gillberg 04) tutkittiin teollisuusasiakkaiden kulutusennusteiden tarkentamista erilaisilla ennustemalleilla ja reaaliaikaisilla energiankulutustiedoilla. Teollisuuden kulutusennusteiden suhteellinen keskivirhe (MAPE) oli huonoimmalla ennustemallilla (kerran vuorokaudessa tarkennettu) 13,1 %. Parhaimmalla ennustemallilla, jossa ennustetta kor-

jättiin tunnin välein käyttötunnille asti, päästiin 8,9 % virheeseen. Tämän perusteella voidaan todeta, että teollisuusasiakkaiden kulutusennusteen tarkkuutta voidaan parantaa merkittävästi reaaliaikaisilla energiankulutustiedoilla.

6.1.3 Esimerkkienergiayhtiön tasevirheen tarkastelua

Tarkastellaan esimerkkienergiayhtiön tunnittaisia suhteellisia tasevirheitä (MAPE) ajanjaksolla 1.1.2009 – 30.4.2009, josta laadittu kuvaaja on esitetty kuvassa 6.2. Kuvaajan pystyakselilla on tunnittaisten taseiden kokonaismäärä ja vaaka-akselilla suhteellinen kokonaisvirhe. Kuvaaja kuvaa kuinka suuressa osassa tunnittaista taseista suhteellisen kokonaisvirheen osuus on ollut alle x-prosenttia.



Kuva 6.2. Esimerkkienergiayhtiön tunnittaisten tasevirheiden jakauma.

Tutkimalla kuvaajaa tarkemmin, saadaan siitä poimittua taulukon 6.1 osoittamat arvot.

Taulukko 6.1. Tasevirhejakaumasta poimittuja arvoja

| Tunnittaisten taseiden osuus [%] | MAPE [%] |
|----------------------------------|----------|
| 99,50 | 20 |
| 98,00 | 10 |
| 80,80 | 5 |
| 70,80 | 4 |
| 57,90 | 3 |
| 42,70 | 2 |
| 22,90 | 1 |

98 prosentissa tunnitaisista taseista virheen suuruus on alle 10 %. Näin suuret virheet ovat olleet melko harvinaisia. Ne johtuivat kyseisen energiayhtiön kohdalla pääasiassa voimalaitoksen tuotannon häiriöistä (myyntitase vaikuttaa myös kulutustaseeseen) ja ELBAS-kaupan samanhetkisestä poikkeuksellisesta kiinnioloista. Tämän seurauksena ELBAS-kauppoja ei pystytty tekemään eikä tasevirhettä pienentämään, vaikka voimalaitoksen ongelmat tiedettiin. Suuret virheet johtuvat tyypillisimmin suurelta osin yksittäisen suuren tuotantolaitoksen tms. toimintahäiriöstä ja ne saadaan suhteellisen nopeasti energiayhtiön tietoon. (Anon 09a)

Yli 80 tapauksista tunnitaisen tasevirheen suuruus oli alle 5 prosenttia. Tyypillinen tasevirheen suuruus kyseisellä energiayhtiöllä liikkuu 1-5 prosentin välillä, ollen keskiarvoltaan 3,3 %. Tämän perusteella voidaan arvioida, että AMR-pohjaisella tasehallinnalla voitaisiin pienentää kyseisen energiayhtiön tasevirhettä tyypillisesti 1 - 4 %-yksikköä. Tärkeää on myös huomioida, että 23 % tapauksista suhteellinen tasevirhe on ollut korkeintaan 1 %, ja 43 % prosentissa tapauksista korkeintaan 2 %. All 2 %-yksikön suuruisia tasevirheitä ei normaalioloissa ole järkevää pyrkiä tarkentamaan, jollei virhe esiinny systemaattisesti.

6.1.4 *Energiayhtiön tasehallinnan tarkentaminen AMR-mittauksilla*

Kulutuseennusteen tarkentamisella saavutettavien säästöjen suuruuteen vaikuttavat tasesähkön ja spot-sähkön hintojen välinen erotus sekä tase-ennusteen virheen suuruus. Tämän työn laajuuden puitteissa tarkastelussa joudutaan käyttämään eräitä yksinkertaisuuksia ja oletuksia. Tehtyjen laskelmien perusteella saadaan kuitenkin hyvä arvio, onko reaaliaikaisista kulutustiedoista hyötyä ja arvoa niistä aiheutuviin kustannuksiin nähden. Alla on listattu tärkeitä huomioitavia asioita tarkastelussa käytetyistä lähtötiedoista ja olettamuksista:

- Tasehallinnan oletetaan olevan lisäpalvelu, joten sille ei jakaudu mittareiden asennus ja ylläpitokustannuksia vaan ainoastaan tiedonsiirrosta aiheutuvat kustannukset.

- Alkuperäisen kulutusennusteen keskimääräinen virhe suhteessa kokonaiskulutukseen on laskettu erään energiayhtiön tasetiedoista ajalta 1.1.2009-30.4.2009.
- AMR-ennusteen oletetaan pienentävän kulutusennusteen virhettä X-%. Laskuissa käytetyt arvot on muodostettu lähteessä (Gillberg 04) esitettyjen simulointi- ja mittaustuloksien perusteella.
- Tässä tarkastelussa ei huomioida energiayhtiön mahdollista omaa tuotantoa eikä oteta kantaa tuotantotaseen tarkentamiseen, vaan keskitytään ainoastaan kulutusennusteen ja sitä kautta kulutustaseen tarkentamiseen.

Taulukossa 6.2 on esitetty tietoja laskuissa käytetystä kuvitteellisesta energiayhtiöstä. Jokaisella energiayhtiön asiakkaalla oletetaan olevan etäluettava AMR-mittari, josta on tarvittaessa mahdollista lukea tuntienenergiatiedot.

Taulukko 6.2. Tietoja tarkasteltavasta energiayhtiöstä

| | Yksikkö | Arvo |
|--------------|----------------|-------------|
| Asiakkaita | Kpl. | 80 000 |
| Sähkönmyynti | GWh/a | 1 200 |

Tarkastellaan AMR-pohjaisen tasehallinnan kannattavuutta kahden case esimerkin avulla.

6.1.5 Case 2, Jatkuva AMR-pohjainen tasehallinta

Selvitetään jatkuvan AMR-pohjaisen tasehallinnan taloudellinen kannattavuus. Jatkuvalle tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että tase-ennustetta pyritään tarkentamaan joka tunti ja sitä varten luetaan uudet tuntienenergiatiedot kaikilta asiakkailta tunneittain. Oletetaan, että AMR-pohjaisella tarkennetulla kulutusennusteella saadaan puolitettyä alkuperäisen kulutusennusteen suhteellinen keskimääräinen virheen itseisarvo (MAPE) 4 % tasolta 2 % tasolle. Energiayhtiön sähkönmyynti on 1200GWh/a, mikä tekee $(1200 \text{ GWh/a} / 365 / 24) 0,137 \text{ GWh/h}$. Laskuissa käytetään alla esitettyjä vuoden 2008 keskimääräisiä tasesähkön ja spotsähkön Suomen markkina-alueen keskihintoja.

- Keskimääräinen tasesähkön hinta suomessa vuonna 2008: 54,8 €/MWh

- Keskimääräinen spot-sähkön Suomen-aluehinta vuonna 2008: 51,0 €/MWh

Tasevirheen pienenemisestä tunnissa syntyvä keskimääräinen säästö c_t saadaan laskettua seuraavasti

$$c_t = |\varepsilon_t| \left(|p_{spot} - p_{reg,t}| + V_{Fee} \right) \quad (6.1)$$

missä ε_t on tunnin t tasevirhe, p_{spot} on sähkön spot-hinta, $p_{reg,t}$ on tasesähkön hinta ja V_{Fee} on tasesähkön volyymimaksu. Sijoittamalla arvot kaavaan 6.1 saadaan tunnissa saavutettavaksi keskimääräiseksi säästökksi

$$c_t = |137 \text{ MWh/h} \cdot 0,02| \cdot (|51,0 - 54,8| + 0,5) \text{ €/MWh} = 11,8 \text{ €/h}.$$

Tässä tapauksessa tasehallinnan tarkentumisesta keskimäärin kertyvä säästö on kuukaudessa $11,8 \text{ €} \cdot 24 \cdot 30 \approx 8500 \text{ €}$ ja vuodessa $11,8 \text{ €} \cdot 24 \cdot 365 \approx 103\,400 \text{ €}$. Sähkøyhtiöllä on asiakkaita kaikkiaan 80 000 kpl, joten asiakasta kohden kertyvä säästö on $8500 \text{ €/kk} / 80\,000 \approx 0,11 \text{ €/kk}$. AMR-pohjainen tasehallinta on siis kannattavaa, mikäli siitä aiheutuvat kustannukset ovat alle $0,11 \text{ €/kk}$ asiakasta kohden. Taulukoissa 6.3 ja 6.4 on esitetty herkkyystarkastelut, joista selviää miten tasesähkön ja spot-sähkön hintojen ero ja kulutusennusteen suhteellisen virheen pieneneminen vaikuttavat jatkuvalla AMR-pohjaisella tasehallinnalla saavutettavaan euromääräiseen säästöön ja siitä riippuvaan suurimpaan sallittuun mittareiden luennasta aiheutuvaan kustannukseen.

Taulukko 6.3. Tase- ja spot-sähkön hintaerojen ja tasehallinnan tarkkuuden paranemisen vaikutus siihen, kuinka suurina euromääräisiä säästöjä tasehallinnassa kuukaudessa saavutetaan.

| | Tasesähkön ja spot-sähkön hinnan erotus [€/MWh] | | | | |
|---|--|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Tasevirheen pieneneminen suhteessa kokonaiskulutukseen [%] | 2,8 | 5,0 | 8,0 | 10,0 | 15,0 |
| 2 | 8 630 €/kk | 10 997 €/kk | 16 915 €/kk | 20 860 €/kk | 30 723 €/kk |
| 5 | 21 575 €/kk | 27 493 €/kk | 42 288 €/kk | 52 151 €/kk | 76 808 €/kk |
| 8 | 34 521 €/kk | 43 989 €/kk | 67 660 €/kk | 83 441 €/kk | 122 893 €/kk |
| 10 | 43 151 €/kk | 54 986 €/kk | 84 575 €/kk | 104 301 €/kk | 153 616 €/kk |

Taulukko 6.4. Sähkön hintaerojen ja tasehallinnan tarkkuuden paranemisen vaikutus siihen, mikä on suurin sallittu yhden mittarin luentakustannus kuukaudessa.

| | Tasesähkön ja spot-sähkön hinnan erotus [€/MWh] | | | | |
|---|--|------------|------------|-------------|-------------|
| Tasevirheen pieneneminen suhteessa kokonaiskulutukseen [%] | 2,8 | 5,0 | 8,0 | 10,0 | 15,0 |
| 2 | 0,11 € | 0,14 € | 0,21 € | 0,26 € | 0,38 € |
| 5 | 0,27 € | 0,34 € | 0,53 € | 0,65 € | 0,96 € |
| 8 | 0,43 € | 0,55 € | 0,85 € | 1,04 € | 1,54 € |
| 10 | 0,54 € | 0,69 € | 1,06 € | 1,30 € | 1,92 € |

Lasketaan kuinka paljon yhden mittarin luenta saa maksaa luentakertaa kohden, kun energiatietojen lukeminen mittarilta tapahtuu kerran tunnissa. Luentakertoja tulee $24 \cdot 30 = 720$ kuukaudessa. Mittarinluennan kiinteäksi kertahinnaksi tulee tällöin $0,11 \text{ €} / 720 = 0,0153 \text{ snt}$.

AMR-mittareiden tiedonsiirtokustannukset riippuvat pääasiassa käytetystä tekniikasta, mittareiden sijaintitiheydestä ja siirrettävän tiedon määrästä. Tiedonsiirtokustannusten tarkastelu on ongelmallista, koska tarkkoja ja ajantasaisia tietoja tiedonsiirron hinnoista on vaikea saada. Tiedonsiirtotekniikoiden nopean kehittymisen, alalla vallitsevan kovan kilpailun ja eri operaattoreista johtuvien erojen seurauksena tiedonsiirtokustannukset voivat vaihdella hyvin nopeasti. Luvussa 4.8 on määritelty GPRS- ja PLC-tekniikoilla

toteutetulle tiedonsiirrolle suuntaa antavia tiedonsiirtokustannuksia, joita on koottu alle taulukkoon 6.5.

Taulukko 6.5. GPRS- ja PLC- tekniikoiden tiedonsiirtokustannukset AMR-mittareiden luennassa

| AMR-mittareiden lkm. (PLC:n tapauksessa yhden keskittimen alla olevien AMR-mittareiden lkm.) | Tiedonsiirtokustannukset GPRS-tekniikalla [€/kk] | Tiedonsiirtokustannukset PLC-tekniikalla [€/kk] |
|---|---|--|
| 5 | 7,5 | 1,5 |
| 20 | 30 | 2 |
| 50 | 75 | 4 |
| 100 | 150 | 6 |
| 300 | 450 | 15 |

Vertaamalla taulukon 6.5 tiedonsiirtokustannuksia edellä laskettuun toiminnan taloudellisen kannattavuuden kannalta suurimpaan sallittuun tiedonsiirtokustannukseen (0,11 €/kk) yhtä mittaria kohden, voidaan todeta että jatkuvalla AMR-pohjaisella tasehallinnalla ei päästä kannattaviin taloudellisiin tuloksiin GRPS-tiedonsiirtoa käytettäessä. Jos AMR-tiedonsiirto on toteutettu PLC-tekniikalla ja yhden keskittimen alla on paljon mittareita, voidaan päästä pienempiin tiedonsiirtokustannuksiin kuin 0,11 €/kk mittaria kohden, jolloin jatkuva tasehallinta olisi kannattavaa pelkkien AMR-tiedonsiirrosta aiheutuvien kustannuksien valossa. Tällöin saavutettavat voitot ovat kuitenkin niin pieniä, että käytännössä jatkuvan tasehallinnan suunnittelu ja toteuttaminen ei liene kannattavaa. On huomioitava, että tiedonsiirtokustannukset on eri lähteiden perusteella muodostettuja arvioita ja niihin liittyy epävarmuutta. Ne voivat riippua huomattavasti esimerkiksi siirrettävän tiedon määrästä. Täten toiminnan kannattavuus voi muuttua olennaisesti, jos tiedonsiirtokustannukset muuttuvat. Lisäksi tulee huomioida, että kaikkien asiakkaiden tiedonsiirto PLC-tekniikalla ei yleensä ole mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa kuin kaupunki-alueilla.

Yhdeltä asiakkaalta siirrettävät tuntienergiatiedot eivät vaadi paljon tiedonsiirtokapasiteettia, mutta on huomioitava, että tuntienergiatietojen siirto energiayhtiön kaikilta asiakailta joka tunti aiheuttaa huomattavan lisäkuormituksen tiedonsiirtoyhteysille. Täytyy

siis muistaa, että kaikkien asiakkaiden tuntien energiatietojen etäluenta ei välttämättä onnistu nykyisillä tiedonsiirtotekniikoilla riittävän nopeasti tasehallinnan toteutuksen kannalta. Etenkin kaikkein suurimpien tietoliikennesolujen asiakkaiden tuntien energiatietojen siirron onnistuminen PLC-tekniikalla on epävarmaa. Tiedonsiirtoon kuluva aika riippuu mm. käytettävästä PLC-tekniikasta, tiedonsiirto-protokollasta ja kyseisestä PJ-verkosta.

Haastattelun (Pinomaa 09) mukaan nykyisin käytetyllä PLC-tekniikalla laboratorio oloissa tehdyissä mittauksissa 5 mittarin tuntien energia- ja tariffitietojen lukuun kului noin 2 minuuttia. Tällöin 300 mittarin solun tunti- ja tariffitietojen luentaan keskittimelle kuluu $300 / 5 \cdot 2 \text{ min} = 120 \text{ min}$. Tämän jälkeen keskittimellä olevat tiedot on siirrettävä vielä luentajärjestelmään. Näin ollen edellisen tai sitä edellisen tunnin tietoja ei saada luentajärjestelmään riittävän nopeasti jatkuvan AMR-pohjaisen tasehallinnan toteuttamisen kannalta. Tulee kuitenkin huomioda, että tämän esimerkin mittareista luettiin tariffitiedot sekä tuntien energiatiedot, mikä tekee siirrettävästä tietomäärästä huomattavasti suuremman, kuin mitä tasehallintaa varten tarvitaan.

Tiedonsiirtotekniikat kehittyvät tällä hetkellä nopeaa vauhtia ja jo lähitulevaisuudessa on odotettavissa nopeampia ja edullisempia tekniikoita mittareiden, keskittimien ja luentajärjestelmien väliseen tiedonsiirtoon. Tämä voi mahdollistaa myös jatkuvan AMR-pohjaisen tasehallinnan kannattavuuden. Pohdittaessa sen taloudellista kannattavuutta on tärkeä muistaa, että mittauksista saatavaa tietoa voidaan hyödyntää myös muualla, mikä voi lisätä reaaliaikaisien energiatietojen luennan kannattavuutta.

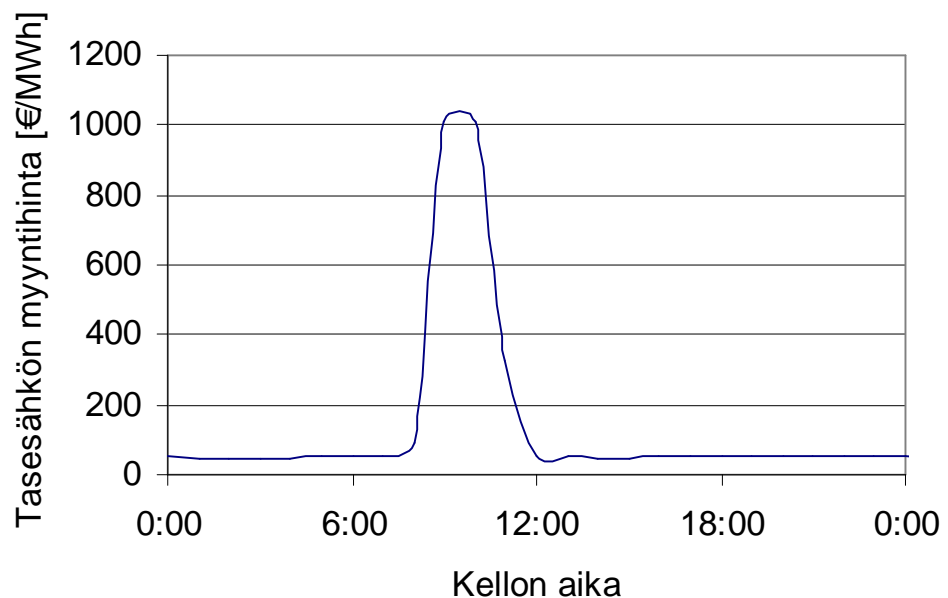
6.1.6 Case 3. Kohdistettu AMR-pohjainen tasehallinta

Jatkuva tasehallinnan tarkentaminen ei nykyisillä tiedonsiirtokustannuksilla osoittautunut kannattavaksi, joten tutkitaan muita tapoja hyödyntää reaaliaikaisia energiankulutustietoja tasehallinnassa. Tasesähköstä voi ajoittain aiheutua sähköyhtiölle suuria kustannuksia. Näin käy etenkin ajankohtina jolloin tasesähkön ja spot-sähkön hintaero on suuri tai energiayhtiön tasevirhe on normaalia suurempi. Jos tasehallinnan tarkentaminen onnistutaan kohdentamaan oikein, voidaan sillä saavuttaa huomattavia säästöjä tasesähkökustannuksissa lyhyelläkin aikavälillä. Mitä korkeammalle tasesähkön hinta suhteessa spot-

sähkön hintaan nousee, sitä suurempia säästöjä AMR-pohjaisella tasehallinnalla saavutetaan.

Kohdistetun AMR-pohjaisen tasehallinnan tapauksessa pyritään kulutusennustetta tarkentamaan AMR-mittauksilla saatavien energiatietojen perusteella sellaisilla ajanjaksoilla, jolloin tasesähkön ja spot-sähkön hintaero on suuri tai energiayhtiön tasevirhe on normaalia suurempi. Esimerkiksi korkeiden pakkasten, suurten tuotantohäiriöiden tms. aikana tasesähkön hinta voi hetkellisesti kohota hyvinkin nopeasti. Ero tasesähkön ja spot-sähkön hinnoissa voi tällöin olla jopa satoja euroja megawattitunnilta. Tällöin on mahdollista saavuttaa huomattavia säästöjä lyhyessä ajassa, jos kulutusennustetta saadaan tarkennettua vastaamaan paremmin todellista kulutusta.

Otetaan kohdistetun tasehallinnan esimerkkitarkastelun ajankohdaksi 5.1.2009. Kyseisen ajan tasesähkön myyntihinta on esitetty kuvassa 6.3.



Kuva 6.3 Kuvaaja tasesähkön myyntihinnasta Suomessa 5.1.2009

Tasesähkön hinta lähti huomattavaan nousuun aamulla 5.1.2009 ja oli kahden tunnin ajan yli 1000 €/MWh, ja yhden tunnin ajan yli 300 €/MWh. Vastaavan ajankohdan suomen

aluehinnan spot-sähkön hinta liikkui 47 €/MWh tienoilla. Taulukossa 6.6. on esitetty kyseisen tasesähkön hintapiikin aikaisien tuntien sähköhinnat pyöristettynä tarkastelun kannalta järkevään tarkkuuteen.

Taulukko 6.6. Tasesähkön ja spot-sähkön myyntihinnat suomessa 5.1.2009 klo. 07:00-13:00 (Suomen aikaa)

| Tunti | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tasesähkön hinta [€/MWh] | 53 | 93 | 1007 | 1007 | 325 | 51 | 51 |
| Spot-sähkön hinta [€/MWh] | 43 | 44 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |

Oletetaan, että energiayhtiössä on pystytty havaitsemaan aamulla 5.1.2009 viitteet tasesähkön hinnannoususta ja tämän trendin on oletettu jatkuvan. Tästä syystä klo. 7.00 on aloitettu energiayhtiön asiakkaiden tuntienergiatietojen luenta tasehallinnan tarkentamista varten. Tuntienergiatietojen luentaa ja tasehallinnan tarkentamista jatketaan aina kello 12 asti, jolloin tasesähkön hintapiikin havaitaan loppuneen. Tasehallintaa saadaan tarkennettu tuntienergiatietojen pohjalta laaditulla kulutusennusteella kyseisellä aikavälillä keskimäärin 3 % joka tunti. Käyttötunneilta 9-14 saavutetaan kulutusennusteen tarkentumisen ansiosta tällöin taulukon 6.7 mukaiset säästöt, yhteensä 9079 €

Taulukko 6.7. Tasehallinnan tarkentamisella saavutetut säästöt kohdistetun tasehallinnan aikaisilta käyttötunneilta.

| Käyttötunti | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 |
|--|------|-------|-------|-------|-------|
| Tasehallinnan tarkentumisella saavutettu säästö [€] | 3948 | 3948 | 1145 | 19 | 19 |

Paras tulos olisi saavutettu suorittamalla tasehallinta tunneille 08-12. Kello 8-9 tunnille ei käytännössä kuitenkaan ehditty tekemään ELBAS-kauppoja, koska energiati tietojen luenta ja uuden kulutusennusteen laadintaan kului aikaa lähes 1 tunti. Elbas-kauppoja päästiin tekemään hieman ennen klo. 8, jolloin oli mahdollista käydä kauppaa käyttötunnille 9-10. Tunneille 12-14 ei olisi kannattanut enää laatia tuntienergiatietojen pohjalta tarkennettua kulutusennustetta. Tunnin 11-12 lopulla havaittiin tasesähkön ja spot-sähkön hintaerojen tasoittuvan, joten tällöin päätettiin lopettaa tasehallinnan tarkentaminen. Kulutusennustetta tarkennettiin kuitenkin myös tunnille 13 -14, koska tuntienergiatiedot oli jo luettu tunnilta 11-12.

Lasketaan yhden mittarinluentakerran maksimikustannus 5.1.2009 tapahtuneelle kohdennetulle tasehallinnalle. Tuntienergiatiedot luettiin kaikilta asiakkailta viiden tunnin ajan, eli 5 kertaa jokaiselta asiakkaalta. Yhden mittarinluentakerran maksimikustannukseksi asiakasta kohden saadaan $9079 \text{ €} / 80\,000 * 5 \approx 2,25 \text{ snt}$. Jos tätä verrataan jatkuvan tasehallinnan yhteydessä saatuun vastaavaan kustannukseen (0,0153 snt.), havaitaan eron olevan huomattavan suuri. Tämän luentakustannuksen perusteella voidaan päätellä, että reaaliaikaisien energiatietojen käyttäminen kohdennettuun tasehallinnan tarkentamiseen voi olla kannattavaa.

Ongelmana on tasehallinnan kohdentaminen niille tunneilla, joiden aikana voidaan saavuttaa säästöjä. Tasesähkön ja spot-sähkön hintaeron ollessa pieni, voi tarkennettu tasehallinta olla kannattamatonta tai jopa tappiollista, riippuen pitkälti tiedonsiirtokustannuksien suuruudesta. Sitä varten on tärkeää pyrkiä ennustamaan ja havainnoimaan nopeasti mahdolliset tasesähkön hintapiikit, joiden aikana voidaan saavuttaa suurimmat säästöt.

Tasehallinnan kannattavuus saadaan sitä paremmaksi, mitä paremmin tasehallinta saadaan kohdennettua. Tasehallinnan kohdentamisessa tulee huomioida sähkön hintojen ja tasevirheen suuruuden lisäksi eri kuluttajien vaikutus kulutusennusteen virheen muodostumiseen. Yksittäisien pienkuluttajien vaikutus kulutusennusteen virheen suuruuteen on lähes olematon. Energiayhtiön pienkuluttajien määrä on tyypillisesti hyvin suuri, jolloin pienkuluttajia voi olla järkevää tarkastella yhtenä suurena tilastollisena joukkona. Suuren asiakasjoukon yksittäiset pienet virheet kompensoivat paljon toisiaan, jolloin voi olla helppoa käsitellä pienkuluttajia yhtenä suurena joukkona. Tällöin voidaan kulutusta ennustetaan pienkuluttajien ryhmällä vaikkapa tilastollisten menetelmien avulla, eikä tarvitse pyrkiä ennustamaan erikseen jokaisen pienkuluttajan yksittäistä pientä virhettä. Kulutusennusteen tarkentamisessa päästäisiin todennäköisesti lähes yhtä hyvin tuloksiin lukemalla vain suurempien kuluttajien, kuten teollisuusasiakkaiden tuntienergia- tai tehotiedot. Tällöin mittarinluentojen määrät putoaisivat murto-osaan, samoin kuin mittarinluennasta aiheutuvat kustannukset, mikä vaikuttaisi positiivisesti koko tasehallinnan kannattavuuteen.

6.1.7 *Yhteenveto AMR-pohjaisesta tasehallinnasta*

Reaaliaikaisien energiankulutustietojen avulla on mahdollista tarkentaa kulutusennustetta ja pienentää näin energiayhtiön tasevirheen suuruutta. Se miten paljon kulutusennusteen virhettä voidaan pienentää riippuu enimmäkseen alkuperäisen kulutusennusteen virheen suuruudesta, kulutuskohteiden kulutuksenvaihteluiden määrästä ja nopeudesta, etäluettujen energiatietojen ajantasaisuudesta sekä etäluennasta ja ennusteen laadinnasta aiheutuvasta viiveestä.

AMR-pohjaisesta tasehallinnasta syntyvät kustannukset riippuvat pääasiassa käytetystä tiedonsiirtotekniikasta ja mahdollisesta tietojen käsittelystä, kun AMR-pohjaisen tasehallinnan oletetaan olevan lisäpalvelu eikä sille aiheudu kustannuksia AMR-järjestelmän laitteiden asennuksesta tai ylläpidosta. Tiedonsiirtokustannuksien tarkempi tarkastelu on ongelmallista, johtuen mm. eri tiedonsiirtotekniikoiden erilaisista kustannuksista, eri verkko-operaattoreiden välisistä eroista ja alan nopeasta kehitymisestä. Nykyisillä tiedonsiirtokustannuksilla on kuitenkin mahdollista toteuttaa taloudellisesti kannattavaa AMR-pohjaista tasehallintaa halvimmillä tiedonsiirtotekniikoilla. Tällöin tasehallinnan täytynee olla järkevästi kohdennettua ja suunniteltua.

AMR-pohjaisella tasehallinnalla saavutetaan suurimmat säästöt ajanjaksoilla jolloin tasesähkön ja spot-sähkön hintojen erotus on suuri. Tasehallinnan kohdentaminen optimaalisimmille ajanjaksoille on kuitenkin vaikeaa. Tasehallinnan kannalta otollisia ajanjaksoja voi pyrkiä ennustamaan esimerkiksi seuraamalla sähköjärjestelmän raja-alueiden siirtokapasiteetin käyttöä, lämpötilanmuutoksia, sääennusteita, tasesähkön viimeisimpiä saatavilla olevia hintatietoja ja uutisointia.

Tasesähkön hintatiedot päivittyvät kerran tunnissa, joten tasesähkön hinnan ennustaminen pelkästään toteutuneiden hintojen perusteella on vaikeaa. Koska sähköä siirretään myös Pohjoismaiden välillä, vaikuttaa tasesähkön hinnan muodostumiseen myös muissa Pohjoismaissa tarjolla olevan sähkön määrä. Maiden väliset siirtokapasiteetit ovat kuitenkin rajallisia, mikä rajoittaa muista maista siirrettävän sähkön määrää. Jos esimerkiksi Suomen ja Ruotsin välillä oleva siirtokapasiteetti ylittyy, eroaa Suomi muusta Pohjolasta

ja muodostaa oman säätöalueen. Tällöin voidaan joutua käyttämään kaikki Suomessa käytettävissä olevat säätötarjoukset, myös kalleimmat, jonka seurauksena tasesähkön hinta voi kohota korkealle. Seuraamalla maiden välillä käytettävissä olevaa siirtokapasiteettia ja siirretyn tehon määriä, voi pyrkiä ennustamaan hetkiä jolloin tasesähkön hinta on normaalia korkeampi.

Minkään yksittäisen tekijän perusteella tasesähkön hinnan muutoksia on vaikeaa ennakoita. Useamman ennustetekijän yhdistäminen lienee paras keino pyrkiä ennakoimaan tasesähkön korkeita hintoja. Esimerkiksi kovien pakkasien aikana havaittu maiden välisen siirtokapasiteetin loppuminen voi antaa viitteitä tasesähkön hinnan kohoamisesta.

Tasesähkön ja spot-sähkön hintojen erotuksen lisäksi energiayhtiön tasevirheen suuruus vaikuttaa tasesähköstä aiheutuvan lisäkustannuksen suuruuteen. Energiayhtiön tasevirheen hetkellinen kasvaminen voi johtua vaikkapa yksittäisien suurien teollisuusyritysten tuotannon vaihteluista. Tästä syystä yhden tunnin hieman normaalia suuremman tasevirheen perusteella, ei välttämättä kannata muuttaa tulevien tuntien tase-ennusteita (Anon 09a). Systemaattisen virheen ilmetessä kannattaa tase-ennustetta pyrkiä tarkentamaan. Systemaattisten virheiden pienentämisessä ja ennen kaikkea virhelähteiden selvittämisessä reaaliaikaisista energiankulutustiedoista voi olla suuri apu.

Tase-ennusteen virhe voi johtua pääosin esimerkiksi suurten teollisuusyritysten kulutuksen vaihteluista. Pienkuluttajien vaikutus tase-ennusteen virheeseen on tyypillisesti melko pieni. Tästä syystä kannattaakin miettiä ainoastaan suuriin kuluttajiin kohdistettua AMR-pohjaista tasehallintaa. Kulutusennustetta saataisiin tarkennettua todennäköisesti lähes yhtä paljon pelkästään suurimpien kuluttajien energiatiedoilla, jolloin tiedonsiirron kustannukset tippuisivat parhaimmillaan murto-osaan. Tämä parantaisi AMR-pohjaisen tasehallinnan kannattavuutta olennaisesti.

Energiankulutuksen ennustaminen voi olla erityisen vaikeaa erikoispäivinä, joita ovat esimerkiksi juhlapyhät kuten joulukuusi, juhannus ja pääsiäinen, koulujen loppumis- ja alkamisajankohdat sekä kesä- ja talviaikaan siirtymiset. Myös erikoispäivien välittömässä läheisyydessä olevat päivät ovat joskus vaikeita ennustettavia. Nopeat lämpötilanvaihtelut

tms. ilmiöt voivat myös aiheuttaa suuria heittoja normaaliin kulutusprofiiliin. AMR-pohjaisella tasehallinnalla voisi olla normaalia suurempi hyöty tällaisten vaikeasti ennustettavien ajanjaksojen aikaisessa tasehallinnassa.

AMR-pohjaisen tasehallinnan kannattavuus voi muuttua nopeasti, esimerkiksi sähkömarkkinoiden tai lainsäädännöllisten uudistusten myötä. Lähteen (Päivinen 09) mukaan tasesähkön hintatietojen reaaliaikaista seurantomahdollisuutta on toivottu. Sen toteutusta on myös mietitty, mutta ainakaan toistaiseksi siitä ei ole tehty päätöstä. Myös taseselvityksen ajanjakson muuttamista 15 minuutin mittaiseksi on mietitty. (Päivinen 09) Tällaisien muutoksien toteutuminen voi oleellisesti muuttaa tasesähkömarkkinoiden luonnetta ja vaikuttaa myös AMR-pohjaisen tasehallinnan kannattavuuteen.

Tiivistetysti voidaan sanoa, että jatkuva AMR-pohjainen tasehallinta ei ole kannattavaa nykyisillä tiedonsiirtokustannuksilla ja sähkön hintarakenteella. AMR-pohjainen tasehallinta voi kuitenkin olla kannattavaa, jos se onnistutaan kohdistamaan oikein. Sen onnistunut kohdistaminen hetkiin jolloin tasesähkön ja spot-sähkön hintaero on suuri, voi auttaa säästämään huomattavan suuria summia tasesähkökustannuksissa. AMR-pohjaisesta tasehallinnasta voi olla huomattavaa hyötyä myös vaikeasti ennustettavien erikoispäivien taseen hallinnassa. AMR-pohjaisen tasehallinnan kohdentaminen vain suurimpiin kuluttajiin voi myös parantaa sen kannattavuutta. Tulee myös muistaa, että reaaliaikaisia energiankulutustietoja voidaan käyttää myös muihin tarkoituksiin, mikä tuo niille lisäarvoa. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi tase-ennusteen virhelähteiden tarkempaan analysointiin.

6.2 Sähkön hintaohjaustoiminnot

Laajassa mittakaavassa toteutettuna sähkön hintaohjaus voi hyödyntää useita eri sähkömarkkinoiden toimijoita. Se voi auttaa suojautumaan sähkömarkkinoiden hintojen vaihteluilta, parantaa sähkömarkkinoiden ja sähköjärjestelmän toimivuutta sekä auttaa energiatehokkuuden parantamisessa. Jotta hintaohjaus voi toimia tehokkaasti täytyy hintaohjattavaa kapasiteettia olla riittävästi käytössä.

Suomen suurteollisuuden ohjauspotentialia on jo pitkälti hintajoustopiirissä, mutta pienkulutusasiakkaiden piirissä ohjauspotentialia on vielä runsaasti. Suomen yli 600 000 sähkölämmitteisestä asuintalosta arvioidaan löytyvän kustakin noin 1-2 kW joustopotentialia, mikä tarkoittaa yhteensä noin 600-1200 MW. (VTT 07) Vuonna 2008 vallinneella sähkön hinnalla (verollinen nimellinen Suomen sähköenergian keskihinta, sähköpörssi Nordpoolin SPOT-hinta, pientalolle 18 000 kWh/a) (EMV 09) 6,24 snt/kWh laskettuna, tarkoittaa se 37000-75000 €/h arvosta energiaa. Todellisuudessa euromääräinen luku lienee vielä suurempi, sillä kulutuksen leikkautuminen tapahtuu huippukulutuksesta, jolloin sähköenergian hinta on keskimääräistä kalliimpaa. Pienkuluttajien ohjauspotentialin hyödyntäminen onkin hyvin varteenotettava vaihtoehto pääasiassa vesivoimaan ja kaasuturbiineihin perustuvalla huipputehotuotannolle (VTT 07).

Tässä luvussa tutkitaan hintaohjaukseen perustuvien toimintojen ja palvelujen käytännön toteutusmahdollisuuksia sähkön pienkuluttajien keskuudessa. Tarkastellaan ensin eräitä hankkeita joissa on tutkittu ja testattu tähän tarkoitukseen soveltuvaa tekniikkaa, menetelmiä ja toimintamalleja. Näiden hankkeiden ja omien laskelmien perusteella voidaan sen jälkeen arvioida sähkön hintaohjaukseen perustuvien toimintojen käytännön sovellusmahdollisuuksia ja kannattavuutta nyt ja tulevaisuudessa.

6.2.1 *Case 4, Heat – hanke*

Heat-hankkeen tarkoituksena oli edistää energiatehokkuuden paranemista ja ilmastonmuutoksen hillintää sekä tätä tukevia tuotteita. Hanke oli lyhyt ja luonteeltaan pilottityyppinen. Pääasiallisesti siinä kokeiltiin tekniikka ja kehitettiin käyttöliittymää kymmenen eri kotitalouden kanssa. Hankkeen päätavoitteena oli testata reaaliaikaisen mittaamisen ja havainnollistamisen teknologiaa, kehittää kotitalouskohtaisia sähkönkulutustietoja esittävää internetsivustoa ja tehdä johtopäätöksiä mitkä ovat järjestelmän todelliset mahdollisuudet edistää sähkön säästöä kodeissa. (Nissinen 08)

Hankkeessa käytetty järjestelmä osoittautui toimivaksi tavallisen käyttäjän näkökulmasta, sillä kohteena olleet pilottikodit pystyivät käyttämään internetsivuja ja saivat niiden kautta tietoa kotiensa energiankulutuksesta. Kulutustietojen reaaliaikaisuudesta havaittiin

olevan jonkin verran hyötyä energiankäytön tehostamisessa. Kohteena olleet kodit eivät kuitenkaan olleet juurikaan halukkaita maksamaan tämäntyyppisestä palvelusta. (Nissinen 08)

Palvelun kustannukset muodostuivat laitteiden asennus- ja hankintakustannuksesta sekä tiedonsiirron kustannuksista. Hankkeen aikana huomattiin tuotekehityksen näkökulmasta laitteiden kustannusten alentamisen, laitteiston asennusten nopeuttamisen, laitteiden ulkonäön parantamisen ja laitteiden virransyötön kehittämisen olevan oleellisen tärkeää. Myös toimintamallissa havaittiin kehittämisen tarpeita. Etenkin laitteiden asennuksen ja kunnossapidon järjestäminen sähköyhtiön ja palvelun tarjoajan välillä tulee saada toimivammaksi. Taulukossa 6.8 on esitetty kustannusten muodostuminen hankkeen aikana sekä arvio kustannusten kehittymisestä tulevaisuudessa.

Taulukko 6.8. Heat-hankkeessa käytetyn järjestelmän kustannusten muodostuminen ja arvio kustannusten kehittymisestä tulevaisuudessa. (Nissinen 08)

| Kustannustekijät | Arvioitu kustannustaso kotia kohti | | |
|--|---------------------------------------|---|---|
| | - yksittäiskohteessa hankkeen aikana | - yksittäiskohteessa vuoden päästä (BaseN Oy:n arvio) | - 10 asunnon kerrostalokohteessa vuoden päästä (BaseN Oy:n arvio) |
| Kertaluontoiset kustannukset | | | |
| Laitteet -GPRS-moduuli -Virtalähde | 300 € (Aplicom AI) 90 € (Mascot) | 100 € (Aplicom AI) 20 € (pienlaitelaturi) | 10 € (Aplicom AI) 10 € (pulssikeskitin) 2 € (pienlaitelaturi) |
| Laitteiston konfigurointi ja testaus - BaseN Oy | 125 € (4 h) | 31 € (1 h) | 6 € (2 h yhteensä) |
| Laitteiden asennus - Sähköverkkoyhtiö | 125 € (4 h + pistorasia) | 125 € (4 h + pistorasia) | 13 € (4 h yhteensä) |
| Tiedonsiirron asennus - BaseN Oy | 63 € (2 h) | 3 € (6 min) | 3 € (6 min per koti) |
| Yhteensä | 703 € | 279 € | 44 € |
| Yhteensä kuukautta kohti ² | 7,35 €/kk | 2,90 €/kk | 0,45 €/kk |
| Muut kustannukset | | | |
| Tiedonsiirto | 10 €/kk | 2 €/kk | 0,2 €/kk |
| Huollot | 0,50 €/kk (2 h kerran 10 vuodessa) | 0,50 €/kk | |
| | 0,05 €/kk | | |
| Yhteensä | 10,50 €/kk | 2,50 €/kk | 0,25 €/kk |
| Kustannukset yhteensä | 17,85 €/kk | 5,40 €/kk | 0,70 €/kk |
| | 214 €/v | 65 €/v | 8,40 €/v |

Sähköntuottajan, -myyjän tai sähköverkkoyhtiön näkökulmasta minuuttipohjaisen reaaliaikaisen mittauksen ei havaittu tuovan lisäarvoa tuntipohjaiseen järjestelmään verrattuna. Reaaliaikaisen kulutustiedon tarjoaminen voi kuitenkin olla tulevaisuudessa lisäpalvelu, jota odotetaan tai jopa edellytetään energiayhtiöiltä. Tällöin minuuttimittauksen kehittäminen olisi energiayhtiöiden intressien mukaista. Hanke kuitenkin osoitti, että minuuttitaso mittaustiedon välittäminen kuluttajalle on mahdollista nykyisellä tekniikalla. Minuuttitaso tieto on myös jossain määrin hyödyllisempää kuin tuntitaso tieto, mutta tämän hankkeen yhteydessä hyödyllisyyden havaittiin liittyvän lähinnä yksittäisten laitteiden sähkönkulutuksen erottamiseen kokonaiskulutuksesta. (Nissinen 08)

Laitteiden kustannukset olivat suhteellisen korkeat, mutta oletettavasti ne laskevat suhteellisen nopeasti kohtuullisen tasolle. Vastaavia järjestelmiä kehitetään monissa maissa ja voidaan olettaa, että testatulle teknologialle tulee nopeasti lisää kilpailijoita. Palvelun kustannuksien arvioitiin laskevan laajamittaisen käyttöönoton myötä omakotitaloissa noin 60-70 €/asunto ja kerrostalokohteissa noin 10 €/asunto vuodessa. Mikäli järjestelmän avulla pystyttäisiin kotitalouden sähkönkulutusta laskemaan vähintään 10 % niin sähkölaskun alenemisesta syntyvä säästö olisi yli kaksinkertainen kustannukseen verrattuna kaksioissa ja sitä suuremmissa kerrostalokohteissa sekä sähkölämmitteisissä omakotitaloissa. (Nissinen 08)

Tunti- ja minuuttitaso mittausten lisääntyminen ja selkeästi esitetyn kuluttajakohtaisen tiedon tarjoaminen parantaa kuluttajan energiankäyttö- ja kustannustietoutta. Sen uskotaan johtavan entistä järkevämpään ja tehokkaampaan energian käyttöön. Energiamittausten kehittyminen minuuttiperustaiseksi mahdollistaisi nykyistä kustannusvastaavamman energian hinnoittelun. Tällä voidaan olettaa olevan ohjausvaikutusta ihmisten energiankäyttöön, mikä voi parantaa kysyntäjouston toimivuutta ja auttaa pienentämään energiankäytön ympäristövaikutuksia.

6.2.2 *Case 5, Markkinahintasiinaaliin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus*

Markkinahintasiinaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus on VTT:n toteuttama projekti, joka tutkii markkinasiinaaleihin perustuvaa pienkuluttajien sähkönkäy-

tön ohjausta. Tutkimushanke pohjautui Turku Energia Oy:n tuntipohjaiseen hinnoitteluun, jota yhtiö tarjoaa myös pienasiakkaille. Hankkeessa seurattiin kahden lämmityskauden ajan 10 sähkölämmityskuluttajaa sekä muutamaa kerrostalokiinteistöä, joissa ei ollut sähkölämmitystä. (Koponen et al. 06a)

Projekti antaa eräitä tuloksia hintaohjauksella mahdollisesti saavutettavista hyödyistä. Tulokset on saatu mittauksien ja simulointien perusteella, joten ne eivät ole tarkkoja todellisia arvoja, mutta antavat suuntaa hintaohjauksella saavutettavista säästöistä. Tuloksia tarkasteltaessa on tärkeää huomioida, että simulointien pohjana käytettävät mittaukset ovat talvelta 2005 – 2006, jolloin oli normaalia leudompi talvi. Siitä johtuen talojen lämmityskustannukset ovat normaalia pienempiä. (Koponen et al. 06a)

Taulukkoon 6.9 on koottu projektista eräitä simulointien perusteella saatuja tuloksia sähkönkulutuksessa saavutettavista säästöistä eri toimenpiteillä.

Taulukko 6.9. Simuloinneilla saatuja tuloksia sähkönkulutuksessa saavutettavista säästöistä eri toimenpiteillä

| Toimenpide | Alkuperäinen tilanne | Ohjattavat kohteet | Saavutettu säästö |
|--|--|---|--------------------------|
| Sähkösaunan lämmityksen ajoittaminen sähkön keskimääräisen hinnan aikaan | Sähkösaunan lämmitys sähkön hintapiikin aikana | Sähkökiuas | 1 €/ lämmityskerta |
| Automaattinen hintaohjaus rivitalo-ohoneistolle 16 talviviikon aikana | Kaksiaikaohjaus | Varaava lämmitys, suora sähkölämmitys, käyttöveden lämmitys | 50 €/ 16 vko. (n.6-7 %) |

| | | | |
|---|-------------|---|---------------------------|
| Automaattinen hinta-ohjaus rivitalo-ohjeis- tolle 16 talviviikon aikana | Ei ohjausta | Varaava lämmitys, suora sähkölämmitys, käyttöveden lämmitys | 90 € /16 vko. (n.11 %) |
|---|-------------|---|---------------------------|

Taulukosta 6.9 nähdään, että pienkohteiden hintaohjauksella voidaan saavuttaa pienkuluttajan kannalta merkittäviä säästöjä. Sen hyödyt eivät kuitenkaan ole vielä riittävän suuria, jotta pelkästään sitä varten kannattaisi tehdä erillisiä järjestelmiä. (Koponen et al. 06a) Hintaohjaus voi kuitenkin tulevaisuudessa olla esimerkiksi osa suurempaa palvelukokonaisuutta, jolloin siihen kohdistuvat kustannukset pienenevät merkittävästi.

Projektissa löytyi monia esteitä, jotka tulee ratkaista ennen kuin hintaohjauksen järkevä toteutus on mahdollista. Menetelmä ja laitekustannukset näyttävät olevan ratkaistavissa massatuotannon ja riittävän tuotekehityksen avulla. Myös tarvittavat optimointimenetelmät laitekustannuksineen ovat jo nykyisin toteutettavissa riittävän taloudellisesti. (Koponen et al. 06a)

Suurimpia hintaohjauksen yleistymisen esteitä aiheuttavat pienkulutuskohteiden kuormituskäyriin perustuva taselaskenta, asiakkaan verraten suuret energianmittauskustannukset ja verkkoyhtiöiden toisistaan merkittävästi eroava tekniikka. Ongelmia aiheuttaa myös se, ettei jakeluverkkoyhtiöiden ole tarvinnut huomioida aidosti muiden osapuolten mittarointitarpeita. (Koponen et al. 06a)

6.2.3 *Laskelmia hintaohjauksella saavutettavista säästöistä*

Tarkastellaan seuraavana minkä suuruisia säästöjä keskimääräiseltä vuosikulutukseltaan 18000 kWh:n sähkölämmitteinen talous voi saavuttaa, jos sen on mahdollista hyödyntää sähkön hintaohjausta. Tällä hetkellä ainakin Turku Energia tarjoaa jo pienkuluttajasiakkailleen mahdollisuutta ostaa energiaa markkinasähkö-tuotteella, jonka hinnat perustuvat Pohjoismaisen sähköpörssin Nord-Poolin spot-hintoihin. Markkinasähköasiakkaat maksavat sähköstään sähköpörssin spot-sähkön hinnan, johon on lisätty myyjän asettama välityspalkkio sekä perusmaksu (Markkinasähkö 09a). Oletetaan asiakkaalla

olevan käytössä tämä kyseinen markkinasähkö tuote, jossa sähkön hinta muuttuu sähköpörssin spot-hinnan mukaan tunneittain.

Markkinasähkö-tuotteella sähköenergian myyntihinta määräytyy seuraavasti; kaukoluenan piirissä oleva asiakas maksaa perusmaksua 4,88 euroa/kk (4,00 euroa/kk, alv 0) ja sähköenergiasta spot-hinnan + välityspalkkion 0,26 c/kWh (0,21c/kWh, alv 0). Tässä yhteydessä spot-hinnalla tarkoitetaan sähkön hintaa Nord Pool-sähköpörssissä ostettuna kyseiselle käyttötunnille ELSPOT-tuotteella Suomen hinta-alueella. (Markkinasähkö 09b)

Lasketaan kuinka paljon kuluttaja pystyy säästämään sähkölaskussa, jos kulutusta saadaan siirrettyä esimerkiksi kuormanohjauksen ja taloautomaation avulla halvemmän sähkönhinnan aikaan. Lasketaan myös kuinka paljon säästöä syntyy jos vastaavat määrät energiaa saadaan säästettyä vastaavina ajankohtina. Oletetaan, että kokonaiskulutuksesta saadaan siirrettyä a-tapauksessa 10 % ja b-tapauksessa 5 % hinnaltaan kalleimmista kulu-
tustunneista keskimääräiseen sähkön hintaan. Laskuissa on käytetty vuoden 2008 keskimääräisiä verollisia nimellisiä sähkönhintoja; sähköpörssi Nordpoolin Spot-hintoja (EMV 09). Kuvassa RTR on esitetty, miten vuosikulutukseltaan 18 000 kWh pienkuluttajien keskimääräiset verolliset nimelliset sähköenergianhinnat ovat vaihdelleet Suomessa vuonna 2008 erilaisilla sähkön hinnoittelumalleilla (EMV 09).



Kuva 6.4. Kuvaaja 18 000 kWh vuosikulutuksen omaavan kuluttajan keskimääräisistä sähköhintojen vaihteluista erilaisilla hinnoittelumalleilla (EMV 09)

Kuvasta 6.4 nähdään, että NordPoolin spot-hintaan perustuva sähkön hinta on vaihdellut hieman alle 2 snt/kWh hieman yli 10 snt/kWh asti. Kuvaajan perusteella voidaan päätellä, että tällaisella tariffilla voidaan toteuttaa suhteellisen hyvin toimivaa hintaohjausta, kun kuluttajalta löytyy siihen tarvittavat järjestelmät.

Taulukossa 6.10 on esitetty laskuissa käytetyt arvot ja saadut tulokset.

Taulukko 6.10. 18 000 kWh pienkuluttajan sähkön hintaohjauksen vaikutukset eri tapauksissa

| | | |
|--|-------------------------|------------------------|
| Vuotuinen kokonaiskulutus (sähkölämmitteinen talous) [kWh] | 18 000 | |
| Sähköenergian kuluttajahinta (keskiarvo) [snt/kWh] | 6,3 | |
| | Tapaus a) (10 %) | Tapaus b) (5 %) |
| Ohjattu/säästetty kulutus [kWh] | 1800 | 900 |
| Siirrettävän kulutuksen keskimääräinen Spot-hinta [snt/kWh] | 9,11 | 9,47 |
| Hintaohjauksella saavutettu säästö [€] | 50,58 | 28,53 |
| Energiankulutuksen pienenemisellä saavutettu säästö [€] | 163,98 | 85,23 |

Taulukosta nähdään, että jos hintaohjauksella onnistutaan siirtämään 10 % kalleimman sähkönhinnan aikana tapahtuvasta kulutuksesta sähkön keskimääräisen hinnan aikaan, voidaan spot-hintaan perustuvalla hintaohjauksella säästää tällöin noin 50 €/a. Jos energiaa pystyttäisiin säästämään vastaavina ajankohtina vastaava määrä saavutettaisiin 164 € vuotuinen säästö. On kuitenkin tärkeää huomioida, että nämä tulokset perustuvat pelkkiin laskelmiin eikä niiden tukena ole käytetty optimointimenetelmiä tms., joita hyödyntämällä sähkön hintaohjauksen toteutuksessa päästäisiin parempiin tuloksiin.

Kulutusta on todellisuudessa mahdollista ohjata tehokkaammin kuin mitä näissä laskelmissa on oletettu, jos käytössä on siihen soveltuvat kehittyneet automaattiset järjestelmät ja optimointimenetelmät. Kulutusta pyritään siirtämään aina mahdollisimman halvan sähkönhinnan aikaan ja jos tässä onnistutaan hyvin, voidaan hintaohjauksella saavuttaa selvästi parempia tuloksia kuin mitä näiden laskelmien perusteella voidaan olettaa. Näillä laskelmilla saatua n. 50 € vuosittaista säästöä voidaan sanoa hyvin maltilliseksi odotukseksi hintaohjauksella saavutettavista säästöistä.

Energian säästäminen kalliin sähkön aikaan ei käytännössä ole aina mahdollista. Kuluttajalla voi olla tarve pitää päällä paljonkin sähkölaitteita, vaikka sähkön hinta on korkealla. Tästä syystä laskelmilla saatua 164 € säästöä ei käytännössä pystyttäne saavuttamaan 10 % energiankulutuksen leikkauksella kalleimman sähkön aikaan. Se kuitenkin osoittaa, että esimerkiksi leikkaamalla energiankulutusta 5 prosenttia kalleimpien sähkönkäyttötuntien aikana, voidaan saavuttaa yli 80 € vuotuinen säästö.

Mikäli kulutuksen ajoitus onnistuu hyvin, sähkön hinnanvaihtelu on kohtalaista ja etenkin jos osa huippukulutustunteina käytetystä energiasta saadaan säästettyä, päästäneen hintaohjauksella yli 100 € vuosittaisiin säästöihin. Tämä ei liene yhtään liioiteltu arvio kun huomioidaan, että jo hyvin ajoitetulla 5 % energiansäästöllä voidaan saavuttaa 80 € vuosittainen säästö. Hyvin optimoitu sähkön hintaohjaus ja hetkittäiset energiansäästöt sähkönkulutuksessa sähkönhinnaltaan kalleimmilla sähkönkulutustunneilla voivat tarjota potentiaalisen mahdollisuuden energiatehokkuutta tukevaksi toiminnoksi, mikäli siihen tarvittavien laitteistojen ja tiedonsiirron kustannukset saadaan riittävän alhaisiksi.

6.2.4 Case 6. Sähköautojen laajamittaisen leviämisen hyödyntämismahdollisuudet hintaohjattavana kapasiteettina

Mikäli akkuteknologian kehitys jatkuu yhtä nopeana kuin se on tähän asti ollut, voi se mahdollistaa sähköautojen käytön nopean lisääntymisen. Tulevaisuudessa sähköautot voivat tarjota merkittävän mobiilin energianvarastointimahdollisuuden, jota sähkömarkkinoiden eri osapuolet voisivat hyödyntää. Tutkitaan tässä yhteydessä sen käyttömahdollisuutta hintaohjattavana kapasiteettina. Tällöin sähköauton akun lataus toteutetaan älykkäästi dynaamisten tariffien mukaan, eli akkuja ladataan kun sähkön hinta on alhainen ja sähköä myydään akuista verkkoon päin kun sähkön hinta on korkea. Tutkitaan tällaisen toiminnan kannattavuutta esimerkkilaskelman avulla.

Tarkastellaan esimerkkiakkua ja käytetään sen arvoja laskuissa. Alle on koottu laskuissa tarvittavat tiedot akusta.

- Akun purku/lataus kustannus: 0,15 €/kWh
- Akun kokonaiskapasiteetti: 24 kWh
- Käytössä oleva akun kapasiteetti 50 % purkutasolla: 12 kWh

Sähköauton lataus tapahtuu 230 V/16 A latauksen mukaisesti. Oletetaan akun purku/lataus hyötysuhteeksi 90 prosenttia ja latauksen turvamarginaaliksi 20 prosenttia. Tällöin akkuja ladataan keskimäärin 3 kW teholla ja akkuun varastoituu tunnin latauksessa 2,7 kWh energiaa. Sähköauton vuorokautinen latausaika on 12 h, josta lataukseen kuluu keskimäärin 4 h. Lopun latausajan akkuja voidaan käyttää hintaohjattavana kapasiteettina. Oletetaan, että päivittäin onnistutaan myymään keskimäärin kolmen tunnin latauksesta akkuun varastoituneen energian määrä. Lasketaan millainen tulos akun käytöllä hintaohjattavana kapasiteettina tällöin saavutetaan. Laskuissa käytetään taulukossa 6.11 esitettyjä sähkön keskimääräisiä hintoja ja energiamääriä.

Taulukko 6.11. Laskuissa käytetyt sähkön hinnat ja energiamäärät

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Sähkön keskimääräisen ostohinta | 5 snt/kWh |
|---------------------------------|-----------|

| | |
|-----------------------------------|--|
| Sähkön keskimääräinen myyntihinta | 7 snt/kwh |
| Ostetun sähköenergian määrä | $3 * 3,0 \text{ kW} = 9,0 \text{ kWh/d}$ |
| Myydyn sähköenergian määrä | $3 * 2,7 \text{ kW} = 8,1 \text{ kWh/d}$ |

Lasketaan seuraavana sähkö myynnistä saatu tuotto, akun käytöstä ja sähköenergian ostosta aiheutuvat kustannukset sekä akun lataus/purku hukkaenergian aiheuttamat kustannukset.

Kustannukset ja tuotot:

- Sähköenergian ostokustannus: $9,0 \text{ kWh/d} * 5 \text{ snt/kWh} = 45 \text{ snt/d}$
- Akun käyttökustannus: $9,0 \text{ kWh/d} * 15 \text{ snt/kWh} = 135 \text{ snt/kWh}$
- Akun lataus/purku hukkaenergian kustannus: $0,9 \text{ kWh/d} * 5 \text{ snt/kWh} = 4,5 \text{ snt}$
- Sähköenergian myyntitulo: $8,1 \text{ kWh/d} * 7,0 \text{ snt/kWh} = 56,7 \text{ snt}$
- Sähköenergian (myynti – osto) myyntivoitto: $56,7 \text{ snt} - 45 \text{ snt} = 11,7 \text{ snt}$

Tuottoja ja kustannuksia vertailemalla voidaan päätellä, että akun käyttö energiavarastona ei kyseisellä kustannusrakenteella ole kannattavaa. Pelkät akun käyttökustannukset ovat moninkertaiset verrattuna energian myynnistä saatavaan voittoon. Sähköenergian ostohinnan ollessa 5 snt/kWh tulisi myyntihinnan olla noin 22 snt/kWh, jotta toiminnalla saavutettaisiin edes nollatulot. Näin suuria sähkön hinnanvaihteluita ei nykyisissä pienkuluttajien sähkötariffeissa normaalisti ole, joten toiminnalla ei voida saavuttaa tuottoa. Olennaista on myös huomioda, että akun lataus/purku hyötysuhde vaikuttaa toiminnan tuottomahdollisuuksiin. Tässä esimerkissä hukkaenergiasta aiheutuva kustannus on yli kolmasosan saavutetusta energian myyntivoitosta.

Tulee kuitenkin muistaa, että akkuteknologia kehittyy nopeasti, jonka seurauksena myös akkujen käyttökustannukset alenevat jatkuvasti. Tämä yhdistettynä nykyistä keskimäärin suurempiin ja nopeampiin sähkön hinnanvaihteluihin voi tehdä kannattavaa akun käytöstä hintaohjattavana kapasiteettina. Tämä vaatii kuitenkin akkujen käyttökustannusten suurta

pudotusta nykytasolta. Lisäksi on tärkeää saada akkujen lataus/purku hyötysuhde mahdollisimman hyväksi, jotta hukkaenergiasta syntyvät kustannukset saadaan minimoitua.

Sähköautojen akkujen tarjoaman kapasiteetin käyttö varavoimana, sähkön laadun ylläpidossa tms. tarkoitukseen voi siitä huolimatta tarjota hyviä mahdollisuuksia hyötyä sähköautojen energianvarastointikapasiteetista. Tällaisten toimintojen toteuttamista varten täytyy kuitenkin kehittää uusia hinnoittelumalleja, joissa asiakas saa riittävän korvauksen akkujensa tarjoamisesta ”yleiseen” käyttöön. Pelkkä sähköenergian hinnanvaihtelujen tarjoama voittomahdollisuus ei kannusta sähköautojen energianvarastointikapasiteetin yleiseen hyödyntämiseen, ainakaan nykyisillä sähkön hintarakenteella ja akkujen käyttökustannuksilla. Kannattaa kuitenkin muistaa, että akuille voi löytyä monia potentiaalisia sovellusmahdollisuuksia joissa akun lataus/purku kustannuksilla ei ole niin suurta merkitystä. Akkuja voidaan käyttää vaikkapa asiakkaan oman kiinteistön varavoimana häiriötilanteiden aikana. Tällaisessa käytössä muutamien senttien lataus/purku kustannus ei aiheuta ongelmia toiminnan kannattavuudelle, kun mietitään varavoimasta saatua hyötyä. Moni kuluttaja on todennäköisesti valmis maksamaan tämän lisäkustannuksen jos huomattava varavoimanlähde on käytössä sähkökatkon varalle.

6.2.5 *Yhteenveto hintaohjaustoiminnoista*

Sähkön hintaohjausta voidaan toteuttaa monella eri tavalla, mutta tehokkaimpiin ratkaisuihin päästäneen hyödyntämällä siihen soveltuvia tekniikoita, kuten kuormanohjausta ja automaattioratkaisuja. Kuormanohjaus on suurelta osin käytössä suurteollisuuden parissa joko hintaohjauksen muodossa tai esimerkiksi järjestelmävaraavan häiriöreservinä. Energiansäätö- ja hintaohjauspotentiaalia löytyy kuitenkin vielä erityisesti sähkölämmityksestä, mikä soveltuu nopeaan ohjaukseen ilman mitään haittaa tai kuluja sähkön käyttäjälle. Nykyisin sähkölämmityksessä hyödynnetään lähinnä vain kiinteäaikaisia kaksi- tai kolmiaikatariffeja. Tulevaisuudessa myös mahdollinen energiavarastojen hajautetun tuotannon lisääntyminen voinee tarjota lisää helposti hintaohjattavaa kapasiteettia.

Jos kuormanohjauspotentiaalia halutaan lisätä, rakennusten sähkö- ja automaattiosuunnittelussa tulisi huomioida sähkökuormien ohjaus sekä siihen liittyvä tiedonsiirto ja sen yh-

teensopivuus. Myös säädettävien lämmityskuormien oikea ryhmittely ja valmiit kytkennät kuormanohjauksille tulisi tehdä jo talojen rakennusvaiheessa. Rakennusten varaavuus ja lämmöneritys luovat edellytykset kuormien ohjaamiselle. Mitään yleispätevää sääntöä ei ole olemassa siihen, miten pitkän katkon omakotiasuja sietää sähkölämmityksessä kylmällä ilmalla, sillä asuntokanta on hyvin erilaista.

Hintaohjauksen tehokkaan toteutuksen kannalta on tärkeää, että kuluttajalle saadaan välitettyä sähkön markkinahinnan vaihtelut nopeasti. Hintaohjauksen tehokkaan toiminnan kannalta automaattoratkaisujen toteutuksessa on tärkeä muistaa, että mittausviive hidastaa reagointia muutoksiin sekä lisää epävarmuutta nykytilasta. Kuluttajan mittauksilta vaadittu aikaresoluutio riippuu siitä, miten nopeille markkinoille kyseinen resurssi halutaan saada hyödynnettyä. Jos ohjattavuutta halutaan hyödyntää sähköpörssin spot-markkinoilla, periaatteessa tuntitason mittaukset ovat riittäviä. Tällöinkin kuormanohjaus ja automaatio voivat vaatia tarkempaa aikaerottelua. Niiden tarpeisiin tarvitaan tyypillisesti 3-15 minuutin aikaerottelulla olevia mittaustietoja.

Ohjattavuuden toteutuksen kannalta kiinteät kustannukset ovat usein kynnyksysymys. Tästä syystä kannattaa miettiä muiden palvelujen toteuttamista ohessa, jolloin kustannukset saataisiin pienemmiksi, koska ne kohdentuisivat useammalle palvelulle. Tällä tavoin voisi olla mahdollista hyödyntää ohjattavia kuormia paremmin myös spot-markkinoita nopeammilla markkinoilla. Toimintojen ja palveluiden kustannustehokkuutta voidaan saada parannettua myös integroimalla tarvittavat ohjaukset muuhun talotekniikkaan ja standardoimalla tuotteita, mikä mahdollistaa massatuotannon. Taulukkoon 6.12 on koottu kustannusarvioita omakotitalon hintaohjauksen toteuttamiseen tarvittavan laitteiston, tiedonsiirron sekä niiden asennuksen ja huollon osalta. Kustannusarviot perustuvat lähteessä (Nissinen 08) esitellyn Heat-hankkeen toteutuskustannuksiin, sekä luvussa 4.8 muodostettuihin arvioihin GPRS-tekniikalla toteutetun AMR-järjestelmän kustannuksista.

Taulukko 6.12. Yhteenveto hintaohjauksen kustannustekijöistä

| Kustannustekijä | Toteutus yksittäiskohteessa (Heat-hanke) | Toteutus laajassa mittakaavassa lähitulevaisuudessa (Heat -hanke) | Toteutus laajassa mittakaavassa lähitulevaisuudessa (AMR-järjestelmän kustannusten pohjalta laadittu Arvio) |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Kertaluontoiset kustannukset | | | |
| Laitekustannukset | 390 € | 120 € | 130 € |
| Laitteiston asennus ja testaus | 313 € | 158 € | 160 € |
| Yhteensä | 703 € | 279 € | 290 € |
| Yhteensä kuukautta kohti * | 7,6 €/kk | 3,0 €/kk | 3,1 €/kk |
| Muut kustannukset | | | |
| Tiedonsiirto | 10 €/kk | 2 €/kk | 1,5 €/kk |
| Huolto | 0,50 €/kk | 0,50 €/kk | 0,8 €/kk |
| Yhteensä | 10,50 €/kk | 2,5 €/kk | 2,3 €/kk |
| Kustannukset yhteensä | 18,1 €/kk | 5,5 €/kk | 5,4 €/kk |
| Kustannukset yhteensä | 217 €a | 66 €a | 65 €a |

* Kuoletus kuukausittaisilla tasaerälyhennyksillä 10 vuoden kuluessa, koroksi oletettu 5 % ja jäännösarvoksi 0 €

Taulukosta 6.12 havaitaan, että AMR-järjestelmän kustannusten pohjalta laadittu arvio hintaohjauksen kustannuksista laajassa mittakaavassa on samaa tasoa kuin Heat-hankkeessa arvioidut laajan mittakaavan toteutuskustannukset. Kustannukset riippuvat olennaisesti käytetystä tekniikasta, laitteistojen tuotantomääristä ja tiedonsiirron toteutustavasta. Esimerkiksi vanhojen laitteistojen yhteensopimattomuus uusien kanssa voi aiheuttaa ongelmia ja nostaa kustannuksia olennaisesti. On kuitenkin oletettavaa, että jos

laitteistot ovat yhteensopivia ja tuotantoerät suuria, on laitekustannukset mahdollista saada siedettävälle tasolle hintaohjauksen laajamittaisen toteutuksen kannalta.

Tiedonsiirtokustannukset riippuvat olennaisesti käytettävästä tiedonsiirtotekniikasta. Taulukon 6.12 tiedonsiirtokustannukset ovat GPRS-tiedonsiirtoa käyttävälle järjestelmälle. Laajassa mittakaavassa ja tiedonsiirtojärjestelmien kehittyessä, voidaan olettaa tiedonsiirtokustannuksissakin päästävän siedettävälle tasolle. Heat-hankkeessa yksittäiskoh-teessa toteutunut yli 10 €/kk kustannus on liian korkea hintaohjauksen kannattavan toteutuksen kannalta. Mikäli päästään laajamittaisen toteutuksen arvioon tiedonsiirtokustannuksista (noin 2,5 €/kk), on hintaohjauspalvelun tiedonsiirron vuositason kustannus (noin 30 €/a) siedettävä.

Tiheämpään asutuilla alueilla myös PLC-tekniikan käyttämistä tiedonsiirrossa kannattaa tutkia, vaikka siinä ongelmia voivat aiheuttaa viiveet joita syntyy kun tiedot kulkevat keskittimen kautta. Tyypillisesti *master*-asema suorittaa kyselyitä joihin *slave*-asemat vastaavat. *Slave*-asema ei siis lähetä tietoa ilman *master*-aseman kyselyä. Tämä voi johtaa tehokkaan hintaohjauksen kannalta liian pitkiin tiedonsiirron viiveisiin, etenkin jos kaistalla on paljon muuta liikennettä. PLC-tekniikkaa käytettäessä tiedonsiirtoprotokollan täytyy soveltua hintaohjauksen signaalien riittävän nopeaan välittämiseen. PLC-tekniikan käyttöä kannattaa kuitenkin tutkia, sillä se voinee tarjota GPRS-tekniikkaa edullisemmän vaihtoehdon. PLC- ja muiden tiedonsiirtotekniikoiden kehittyminen voinee mahdollistaa myös hintaohjaustoimintojen entistä kustannustehokkaampaan toteutuksen.

Hintaohjauksella saavutettava taloudellinen hyöty riippuu pitkälti sähkönhinnan vaihteluista. Tehokasta hintaohjausta varten tarvitaan tariffi, jossa sähkön hinta muuttuu vähintään tunneittain. Eräät sähköyhtiöt tarjoavat jo tähän tarkoitukseen soveltuvia sähkömarkkinoiden spot-hintaan perustuvia tariffeja, eikä uusien tariffien kehittäminen ole ylivoimainen este hintaohjauksen toteutukselle.

Hintaohjauksella saavutettavaan taloudelliseen hyötyyn vaikuttaa sähkönhinnan vaihteluiden lisäksi asiakkaan kulutuksen määrä ja sen ajoittuminen. Tästä johtuen taloudellisen hyödyn tarkka määrittäminen on vaikeaa. Sitä voidaan kuitenkin arvioida sähkön hinta-

tietojen ja oletetun- tai toteutuneen asiakkaan kulutuksen perusteella. Taulukkoon 6.13 on koottu yhteenveto hintaohjauksella saavutettavista hyödyistä kohtien 6.2.1 – 6.2.4 tarkastelujen perusteella.

Taulukko 6.13. Yhteenveto hintaohjauksella saavutettavista taloudellisista hyödyistä.

| Toimenpide ja kohde | Toimenpiteen kuvaus | Saavutettu säästö | Tutkimus |
|--|--|---|--|
| Sähkösaunan lämmityksen ajoittaminen | Sähkösaunan lämmitys siirretään sähkön keskimääräisen hinnan aikaan sähkön hintapiikin ajalta | 1 €/ lämmityskerta | Markkinasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus. (Simulointi) |
| Siirrytään kaksiaikaohjauksesta automaattiseen hintaohjaukseen (rivitalohuoneisto) | Ohjataan varaavaa lämmitystä, suoraa sähkölämmitystä ja käyttöveden lämmitystä automatiikan avulla | 50 €/ 16 vko. (n.6-7 %) | Markkinasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus. (Simulointi) |
| Siirrytään ohjaamattomasta tapauksesta automaattiseen hintaohjaukseen (rivitalohuoneisto) | Ohjataan varaavaa lämmitystä, suoraa sähkölämmitystä ja käyttöveden lämmitystä automatiikan avulla | 90 € /16 vko. (n.11 %) | Markkinasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus. (Simulointi) |
| Siirrytään ohjaamattomasta tapauksesta automaattiseen hintaohjauksen (18 000 kWh/a kuluttava sähkölämmitteinen kiinteistö) | Ohjataan suoraa sähkölämmitystä. | n. 100 €/a | Luvun 6.2.3 laskelma |
| Energian säästö (18 000 kWh/a kuluttava sähkölämmitteinen kiinteistö) | Säästetään 5 % energian kokonaiskulutuksesta sähkönhinnaltaan kalleimpien kulutustuntien aikaan | 80 €/a | Luvun 6.2.3 laskelma |
| 10 % energian säästö, (kaksiota suuremmat kerrostalot ja omakotitalot) | Saavutetaan 10 % vuotuinen energiansäästö | Yli 2-kertainen kustannuksiin verrattuna | Heat-hanke |
| Sähköauton akun käyttö hintaohjattavana energiavarastona | Akkua ladataan halvan sähkön aikaan, sähköä myydään verkkoon kalliin sähkön aikaan. | Useat tekijät vaikuttavat kannattavuuteen. Ei kuitenkaan kannattavaa pelkän energiamyynnistä saatavan voiton perusteella. | Luvun 6.2.4 laskelma |

Yksittäisillä toiminnoilla saavutettavat säästöt ovat pieniä, mutta pidemmällä aikavälillä voidaan sähkön hintaohjauksen avulla saavuttaa kuluttajan kannalta huomattavia säästöjä. Tulee myös muistaa, että sähkön hintaohjauksen ainoa hyöty ei ole kuluttajan saama säästö sähkölaskussa. Esimerkiksi kulutushuippujen pieneneminen ja huipputehotuotannon tarpeen väheneminen tuovat huomattavia hyötyjä sähkömarkkinoiden eri toimijoille. USA:n kokemusten perusteella viiden prosentin kulutuksen vähentäminen leikkaa hintaa sähköpörssissä jopa 50 prosenttia. (KJT 08) Myös suomessa sähkön markkinahinta on keskimäärin alhaisempi pienen kulutuksen aikana. Sähkön hintapiikit aiheuttavat sähkömarkkinoiden toimijoille vaikeasti hallittavia riskejä, joita voitaisiin vähentää kysyntäjouston ja hintaohjauksen avulla. Näiden hyötyjen osittainen ohjaaminen kuluttajalle tai ylipäätään niille toimijoille joille ne kuuluvat, motivoisi kuluttajia sekä muita toimijoita paremmin hintaohjauksen toteuttamiseen.

Taulukon 6.13 perusteella voidaan päätellä, että sähkölämmitteisessä asuintalossa voitaisiin päästä hyvin toteutetulla sähkön hintaohjauksella noin 100 €vuosittaisiin säästöihin. Mikäli ohjattavia kohteita on lämmityksen lisäksi muita, voivat hyödyt olla jopa suurempia. Tulevaisuudessa esimerkiksi erilaiset energiavarastot voivat tarjota lisää hintaohjattavaa kapasiteettia, vaikkakaan esimerkiksi sähköautojen käyttö hintaohjattavana kapasiteettina, ei vaikuta järkevältä nykyisellä sähkön hintarakenteella ja akkujen käyttökustannuksilla. Tulee kuitenkin muistaa, että uudet hinnoittelumallit, suuremmat sähkön hinnanvaihtelut tai lainsäädännölliset uudistukset voivat hetkessä muuttaa tilanteen. Energiavarastojen hyödyntäminen varavoimana, sähkön laadunvaihtelujen tasoittamiseen, tms. tarjonnee joka tapauksessa hyviä mahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Sähkön hintaohjauksen kustannuksia ja sillä saavutettavia taloudellisia hyötyjä vertailemalla voidaan päätellä, että sähkön hintaohjauksen toteuttaminen yksittäiskohteissa pienkuluttajien keskuudessa ei ole kannattavaa toimintaa nykyisellä kustannusrakenteella. Mikäli kustannukset saadaan esimerkiksi massatuotannon avulla pudotettua taulukon 6.12 laajamittaisen toteutuksen kustannusarvion mukaiseksi, saadaan toiminnasta taloudellisesti kannattavaa. Tällöin vuotuiset hintaohjauksen toteutuskustannukset ovat noin 60-70 € ja vuotuiset saavutetut säästöt n.100 € luokkaa. Tällöinkään hintaohjauksella ei saavuteta kovin suuria voittoja pienkuluttajan näkökulmasta. Täytyy myös huomioida,

että laskelmiin liittyy epävarmuustekijöitä kuten sähkön hinnan, toiseen ajankohtaan siirrettävän kulutuksen määrän tai laitteisto- sekä tiedonsiirtokustannuksien tason muuttuminen oletetusta. Ne voivat muuttaa hintaohjauksen kannattavuutta suuntaan tai toiseen.

Suurimpia ei-tekniisiä esteitä kysyntäjouston ja hintaohjauksen tehokkaan toteutuksen kannalta aiheuttaa tyypikäyrämenettelyyn perustava taseselvitys pienkuluttajien osalta. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä määritellään pienkäyttäjän sähkötase laskettavaksi tyypikuormituskäyrän perusteella, mikäli pienkäyttäjän sähköä ei toimita alueen toimitusvelvollinen sähkömyyjä eikä kulutusta mitata tunnittain. Tyypikäyrämenettelyä sovelletaan vain kilpailtuun sähkömyyntiin, eikä sillä saada tietoa asiakkaiden todellisesta sähkökulutuksesta. Mikäli tyypikuormituskäyttäjä rajoittaa kulutustaan korkean sähkönhinnan aikaan, se ei vähennä sähkön myyjän ja jakelijan välisessä taseselvityksessä kyseisen ajanjakson sähkökulutusta kyseiseltä myyjältä, vaan taseen laskentatavasta johtuen tapahtunut kysyntäjousto kohdistuu toimitusvelvolliseen myyjään. Vaikka kulutuksen vähentäminen helpottaa tilannetta, ei asiakkaan sähkömyyjä saa hyötyä kulutuksen vähentämisestä korkean hinnan aikana. (KJT 08) Tämä ei kannusta sähkömyyjiä kehittämään hintaohjausta ja kysyntäjoustoja tukevia tuotteita. Mikäli pienkuluttajien taseselvitys tehtäisiin todellisen tuntikulutuksen mukaan, kannustaisi se myös sähkön myyjiä kehittämään kysyntäjoustoja ja hintaohjausta tukevia tuotteita.

Lopuksi voidaan vielä tiivistetysti todeta, että sähkön hintaohjauksen laajamittainen toteuttaminen sähkölämmitteisien pienkuluttajien keskuudessa on nykyisellä tekniikalla mahdollista ja sarjatuotannon ja standardoinnin avulla kustannuksetkin voidaan saada riittävän alhaiseksi. Muiden palveluiden toteuttamista ohessa kannattaa miettiä, sillä näin kustannuksia saataisiin pienemmiksi ja hintaohjauksen kannattavuutta paremmaksi. Myös uusia dynaamisia tariffeja ja muita hintaohjaustuotteita tarvitaan lisää, jotta kuluttajia saadaan kannustettua hintaohjauksen piiriin. Lisäksi tarvitaan etukäteissuunnittelua niin rakennusten sähkö- ja automaatio suunnittelussa kuin lakien ja asetusten muokkaamiseksi sellaiseksi, että ne motivoivat eri toimijoita hintaohjauksen toteutukseen. Tulevaisuudessa myös pienimuotoisen tuotannon ja energiavarojen lisääntyminen voivat tarjota uusia mahdollisuuksia hintaohjattavaksi kapasiteetiksi.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Automaattisen mittarinluennan, tehoelektroniikan sovellusten ja kaksisuuntaisen tiedonsiirron kehittyminen ja yleistyminen asiakkaiden verkkoliitynnässä voi mahdollistaa tulevaisuudessa uudentyypin interaktiivisen asiakasrajapinnan, joka edesauttaa energiatehokkuutta tukevien toimintojen toteuttamisessa. Tämän työn tarkoituksena oli tutkia näitä toimintoja ja niiden kannattavuutta. Työ aloitettiin tarkastelemalla interaktiivisen verkko-rajapinnan rakennetta. Sen jälkeen perehdyttiin asiakkaan verkkoliityntään ja mittausjärjestelmän toimintaan sekä tarkasteltiin laitteisto- ja rajapintavaatimuksia. Tätä kautta päästiin asiakkaan mittauksiin ja määriteltiin mittaustiedoille ja niiden tiedonsiirrolle asetettuja vaatimuksia. Niiden pohjalta saatiin arvioita tiedonsiirron kustannuksista sekä eri tiedonsiirtotekniikoiden soveltuvuudesta kyseisten mittaustietojen siirtämiseen.

Työn loppuosassa tutkittiin potentiaalisia interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamia energiatehokkuutta tukevia toimintoja ja niistä lupaavimpiin paneuduttiin tarkemmin. Pääpaino oli sähköyhtiön AMR-pohjaisen tasehallinnan ja pienkuluttajien sähkön hintaohjauksen tarkastelussa. Taulukkoon 7.1 on koottu yhteenveto lupaavimmista tässä diplomityössä käsitellyistä interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamista energiatehokkuutta tukevista toiminnoista. Taulukossa käyvät ilmi toimintojen toteutuksen kannalta oleellimmat asiat, kuten toimintoon tarvittavat mittaustiedot ja toiminnon kannattavuus.

Taulukko 7.1 Yhteenveto interaktiivisen asiakasrajapinnan palveluista

| Toiminto | Tarvittava data | Kannattavuus | Muuta huomioitavaa |
|--|---|--|---|
| Jatkuva AMR-pohjainen tasehallinta | Tuntidata | Ei kannattavaa nykyisillä tiedonsiirtokustannuksilla ja sähkön hintarakenteella. | Tiedonsiirron viive vaikuttaa ennusteen tarkkuuteen ja ajantasaisuuteen → vaikutus kokonaiskannattavuuteen |
| Kohdennettu AMR-pohjainen tasehallinta | Tuntidata | Kannattavaa oikein ajoitettuna (ajankohdat jolloin suuret sähkön hinnanvaihtelut, normaalia suuremmat tase-ennustevirheet) | Tiedonsiirron viive vaikuttaa ennusteen tarkkuuteen ja ajantasaisuuteen → vaikutus kokonaiskannattavuuteen |
| Sähkölämmitteisen pienkuluttajan automaattinen hintaohjaus (yksittäiskohde) | Vähintään tuntidata | Ei kannattavaa | Yksittäiskohteissa kustannukset muodostuvat korkeiksi ja laajan mittakaavan hyödyt jäävät saamatta. |
| Sähkölämmitteisen pienkuluttajan automaattinen hintaohjaus (laajassa mittakaavassa) | Vähintään tuntidata. Kuormanohjaus ja taloautomaatio vaativat tyypillisesti 3-15 min. aikaerotellulla olevia mittaus-tietoja. | Kannattavaa jos laitekustannukset saadaan laskemaan esim. mas-satuotannon avulla oletetulle tasolle | Tarvitaan lisää hintaohjaustuotteita ja toimintamalleja. Laitteistojen yhtenäistäminen ja etukäteissuunnittelu tärkeää kustannustehokkaan toteutuksen kannalta. |
| Sähköauton käyttö hintaohjattavana kapasiteettina | Vähintään tuntidata. (Mitä nopeammin muuttuvilla markkinoilla hintaohjausta toteutetaan, sitä ajantasaisempia mitaustietoja tarvitaan) | Ei kannattavaa nykyisellä sähkön hintarakenteella ja akkujen käyttökustannuksilla. | Uudet hinnoittelumallit ja tekniikan kehittyminen, yms. voivat parantaa kannattavuutta tulevaisuudessa. |

Taulukon 7.1 toimintojen tarkka analysointi oli haastavaa etenkin tiedonsiirron osalta. Verkkoyhtiöillä on käytössä lukuisia erilaisia tiedonsiirtotekniikoita, joiden yhteensopi- vuus ja soveltuvuus eri toiminnoille vaihtelee. Lisäksi tiedonsiirron ominaisuuksiin ja luotettavuuteen vaikuttavat mm. paikallisen tiedonsiirtoverkon ominaisuudet ja verkon häiriöt. Tämän takia eri toimintojen mittaustietojen siirtoon kuluva-aikaa ja tiedonsiirrosta aiheutuvia kustannuksia täytyy tutkia tapauskohtaisesti, mikäli ne halutaan tarkasti määrittää. Työn tarkastelujen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että tällä hetkellä yleisesti käytetyillä GPRS- ja PLC-tiedonsiirtotekniikoilla on mahdollista toteuttaa yleensä tunti-tason ja jossain määrin myös minuuttitason dataa vaativia toimintoja ja palveluita. Näköpiirissä on entistä nopeampia ja kustannustehokkaampia tiedonsiirtoratkaisuja, jotka voivat mahdollistaa kustannustehokkaamman ja luotettavamman tiedonsiirron ja laskea tätä kautta energiatehokkuutta tukevien toimintojen ja palveluiden kustannuksia.

Energiatehokkuutta tukevien toimintojen ja niiden ympärille rakentuvien palveluiden toteutettavuuden kannalta on tärkeää luoda niitä edistäviä yhteisiä toimintamalleja sekä tarvittaessa lakeja ja asetuksia. Tästä hyvä esimerkki on Valtioneuvoston 5.2.2009 antama asetus sähkön toimituksesta ja mittauksesta, joka tulee merkittävästi edistämään AMR-mittareiden leviämistä pienkuluttajien keskuuteen. Tämä luo edellytyksiä AMR-mittareiden laajamittaiseen hyödyntämiseen.

Interaktiivisen asiakasrajapinnan toimintojen edistämiseksi kannattaa miettiä myös mahdollisuutta tehdä pienkuluttajien taseselvitykset reaaliaikaisien AMR-mittauksien perusteella. Tällöin päästäisiin eroon sähkön vähittäismyynnin kuormituskäyriin pohjautuvasta taseselvityksestä ja toimintojen hyödyt saataisiin ohjattua paremmin oikeille toimijoille. Esimerkiksi sähkön hintaohjauksen tapauksessa hyödyt ohjautuisivat paremmin asiakkaan sähkönmyyjälle, mikä kannustaisi uusien hintaohjaustuotteiden kehittämiseen. Tämä edistäisi todennäköisesti myös mittaustietojen saatavuutta muiden toimintojen ja palveluiden käyttöön.

Energiatehokkuutta tukevat toiminnot voivat tulevaisuudessa tarjota uusia liiketoimintamahdollisuuksia, mutta niiden toteuttaminen vaatii niihin soveltuvien liiketoimintamallien

tarkempaa tutkimista ja määrittelyä. Esimerkiksi kohdistetun AMR-pohjaisen tasehallinnan bisnesmallin kehittäminen vaatii tarkempaa analysointia mittaustietojen saatavuudesta ja mittaustietojen luennasta aiheutuvien kustannusten kohdentamisesta sähkönmyyjän ja sähköverkkoyhtiön välillä. Erityisen tärkeää toimivan liiketoimintamallien kannalta on kustannustekijöiden ja tuottojen ohjaaminen toimijoille joille ne kuuluvat.

Interaktiivisen asiakasrajapinnan toimintoja ja palveluita suunniteltaessa kannattaa miettiä myös eri palveluiden yhdistämistä samaan pakettiin. Palveluita on mahdollista toteuttaa samoilla tiedonsiirtoyhteyksillä ja lähes samoilla laitteistoilla, jolloin näistä aiheutuvat kustannukset jakautuvat eri palveluiden kesken. Tämä voi mahdollistaa palveluiden huomattavasti edullisemmän toteutuksen.

Ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja ihmisten halu seurata omaa energiankulutustaan luo tarpeita reaaliaikaiselle energiankulutuksen seurannalle, energiatehokkuutta tukeville toiminnoille ja niihin perustuville palveluille. Ne tarjoavat mahdollisuuksia huomattaviin energiankulutuksen säästöihin ja energiatehokkuuden parantamiseen, minkä takia niiden käytännön toteutuksen tutkiminen jatkossa on tärkeää.

LÄHDELUETTELO

- (Ahola 03) Ahola Jero: Applicability of Power-Line Communications to Data Transfer of On-Line Condition Monitoring of Electrical Drives. Väitöskirja, LUT 2003, ISBN 951-764-783-2
- (Ahola 06) Ahola J., Kosonen A.: Tiedonsiirto moottorikaapelissa esitys kalvot, LUT, Julkaistu 26.4.2006. Saatavissa: http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/digital/research/projects/conditionmonitoring/Documents/Tiedonsiirto_moottorikaapelissa.pdf
- (Anon 09a) Energiayhtiön johtaja: haastattelu 13.5.2009
- (Anon 09b) Sähköautot nykytilanne, esityskalvot: INCA-projektin workshop 26.5.2009.
- (Echelon 09) Echelon yrityksen www-sivujen materiaali, viitattu 5.5.2009. Saatavissa: <http://www.echelon.com/developers/lonworks/protocol/default.htm>
- (Einamo 08) Einamo Juha-Pekka: Mittausvirtoihin liittyvä standartointi- ja kooditusehdotus uusilla energiamarkkinoilla. Diplomityö LUT 2008. Viitattu 16.4.2009. Saatavissa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/42808/nbnfi-fe200810272033.pdf?sequence=3>
- (EIFi 09) Suomen EIFi Oy yrityksen www-sivut: Kysyntäjousto, viitattu 3.6.2009. Saatavissa: <http://www.elfi.fi/fi/kysyntajousto.html>
- (EMV 09) Energiamarkkinaviraston www-sivut: Tietoja sähkön hinnasta, viitattu 8.6.2009. Saatavissa: <http://www.sahkonhinta.fi/>

- (Enease 07) Enease OY: Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin päivitetty tila, raportti, 19.11.2007, viitattu 16.4.2009. Saatavissa: [http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/927C86500EBADA69C22573B700442F0A/\\$file/104642007.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/927C86500EBADA69C22573B700442F0A/$file/104642007.pdf)
- (ET 05) Energiateollisuus ry: Sähkökaupan mittaus ja tiedonvälitys, 2005, viitattu 23.4.2009 saatavissa: <http://www.energia.fifi/ahkosahkokauppa/ielsivut/ohjeetjasuositukset/sahkokaupanmittausjatiedonvalitys.pdf>
- (Fingir 09) Fingrid Oyj yrityksen www-sivut: Tasehallinta, viitattu 26.5.2009. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/palvelut/tasepalvelut/>
- (Gillberg 04) Gillberg Mika: Mittauksiin ja ennusteisiin perustuvien sähkötaseen estimointimallien taloudellisen tehokkuuden vertailu. Diplomityö TKK 2004. Viitattu 10.6.2009. Saatavissa: <http://www.sal.hut.fi/Publications/pdf-files/tgil04.pdf>
- (Goh 09) Chong Hock K Goh: A Current Study of Automatic Meter Reading Solutions via Power Line Communications. Department of Computer Science, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Viitattu 6.5.2009. Saatavissa: http://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/pdfs/CEIC_03_18.pdf
- (Haghgoo 07) Haghgoo S., Monsef H.: Commissioning of an AMR Prototype System by PLC Technology, IEEE PES Power Africa Conference and Exposition, South Africa 07/2007.

- (Heiska 06) Heiska Mikko: Sähköenergian mittaus ja kaukoluenta. Tutkimustyö. TAMK 2006
- (Honkanen 09) Honkanen H.: Lonworks, opetusmateriaali, Kajaanin Ammattikorkeakoulu, viitattu 5.5.2009. Saatavissa: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/KAT_LonWorks.pdf
- (Hrasnica 04) Hrasnica H., Haidine A., Lehnert R.: Broadband Powerline Communications, Network Design, John Wiley & Sons LTD 2004, ISBN 0470857412, 9780470857410.
- (INCA 09) INCA-projektin kokonaiskonseptin määrittely, TTY 2009
- (IT 07) Lehtonen M., Heine P., Kallonen M.: IT-sovellukset ja energiatehokkuuden kehittäminen, Teknillisen korkeakoulun julkaisu: Sähköverkot ja suurjännitetekniikka, TKK 2007
- (Järventausta 07) Järventausta Pertti: Interaktiivinen asiakasrajapinta sähköverkon hallinnan ja sähkömarkkinoiden kehittämiseksi, EU SmartGrids – esimerkki aihealueen puiteohjelmaprojektista, Esityskalvot: ST-poolin tutkimusseminaari 2.10.2007, viitattu 18.3.2009. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkoverkko/st-pooli>
- (Järventausta 08) Järventausta P., Partanen J., Karkkainen S.: Interactive Customer interface for advanced distribution management and electricity market, CIRED Seminar 2008: Smart grids for Distribution, 23.6.2008.

- (Karkkulainen 05) Karkkulainen Toma: Sähkämittareiden kaukoluennan kannattavuus ja käyttöönotto sähköverkkoyhtiöissä. Diplomityö LUT 2005. Viitattu 16.3.2009. Saatavissa: http://www.lut.fi/fi/technology/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6/Diplomityo_Karkkulainen.pdf
- (KJT 08) Kysyntäjousto- työryhmä: Sähkön kysyntäjouston edistäminen; Julkaistu 14.3.2008; Työ ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja Ilmasto 15/2008; ISBN 978-952-227-039-9, viitattu 16.3.2009 Saatavissa: http://www.tem.fi/files/19507/temjul_15_2008_energia_ja_ilmasto.pdf
- (Koponen et al. 06a) Koponen P., Kärkkäinen S., Farin J., Pihala H.: Markkinasignaaleihin perustuva pienkuluttajien sähkönkäytön ohjaus, VTT – tiedotteita 2362, julkaistu 11/2006, ISBN 951-38-6884-2 (pdf), viitattu 22.4.2009. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2362.pdf>
- (Koponen et al. 06b) Koponen P., Kärkkäinen S., Martikainen A., Pihala H.: Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin tila ja luomat mahdollisuudet, julkaistu 10/2006, raportin numero: VTT-R-09048-06, viitattu 22.4.2009. Saatavissa: <http://www.tem.fi/files/16745/Raportti-lopullinen.pdf>
- (Koponen 08) Koponen P., Pykälä M-L., Sipilä K.: Mittaustiedon tarpeet ja saatavuus rakennuskannan automaattisten energia-analyysien näkökulmasta, VTT Tiedotteita 2438, Espoo 2008, viitattu 23.4.2009. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2438.pdf>

- (Kosonen 08) Kosonen Antti: Sähköverkkotiedonsiirto – HomePlug; Tietoliikenne-elektroniikan komponentit kurssin esityskalvot, LUT 24.9.2008, viitattu 13.5.2009. Saatavissa: http://www.ee.lut.fi/courses/Sa2910400/esitykset_2008/Luento_240908.pdf
- (L+GE 09) Landis+Gyr Enermet yhtiön internet sivut, viitattu 25.4.2009. Saatavissa: <http://www.landisgyr.fi>
- (Lassila 09) Lassila J., Kaipia T., Haakana J.: Electric Cars – Challenge or Opportunity for the Electricity Distribution Infrastructure?, European Conference Smart Grids + Mobility, 06/2009
- (Lonix 08) Lonix yrityksen www-sivut. Viitattu 20.7.2008. Saatavissa: http://www.lonix.com/files/tuotedokumentit/selvitys_avoimuudesta_020524.pdf
- (Markkinasähkö 09a) Markkinasähkön www-sivut: markkinasähköstä järkeenkäypää etua. Viitattu 18.2.2009. Saatavissa: http://www.markkinasahko.com/index.cfm?act=fetchbyname&fetch_topic=etua
- (Markkinasähkö 09b) Märkkinasähkön www-sivut: hinnoittelu ja myyntiehdot, viitattu 18.2.2009. Saatavissa: http://www.markkinasahko.com/index.cfm?act=fetchbyname&fetch_topic=hinnoittelu#1
- (Maxim 09) Maxim-yrityksen kotisivut, viitattu 6.5.2009. Saatavissa: <http://www.maxim-ic.com/products/powerline/>

- (Mutanen 09) Mutanen Antti (TTY / Sähköenergiatekniikka): Sähköautojen ja plug-in hybridien vaikutukset sähköverkkoihin, esityskalvot: INCA-projektin workshop 26.5.2009.
- (Nissinen 08) Nissinen A., Alku P., Heiskanen J.: Kotitalouksien reaaliaikainen sähkönkulutuksen mittaaminen ja havainnollistaminen – HEAT'07 projektin tulokset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, julkaistu Helsinki 07/2008, viitattu 21.4.2009. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=81688>
- (Nordpool 09) Nordpool-sähköpörssin www-sivut, viitattu 26.5.2009.
Saatavissa: <http://www.nordpool.com/en/>
- (Paatero 01) Paatero Jukka: Hajautetut Energiantuotantojärjestelmät, tutkimuksen väliraportti, TKK 31.8.2001, viitattu 7.4.2009.
Saatavissa: http://users.tkk.fi/~patte/pub/conf_2001_GSEST_Espoo.pdf
- (Penttinen 01) Penttinen Jyrki: GPRS-tekniikka: Verkon rakenne, toiminta ja mitoitus, TummaVuoren kirjapaino OY, Vantaa 2001, ISBN 951-0-26558-6.
- (Pinomaa 09) Pinomaa Antti (tutkijakoulutettava): Haastattelu 21.4.2009.
- (Power 09) Power Management Europe www-sivut, viitattu 6.5.2009.
Saatavissa: <http://www.powermanagement-europe.com/news/212500010>

- (Päivinen 09) Päivinen Reima: Säätosähkömarkkinat uusien haasteiden edessä. Sähkömarkkinapäivien esitys, Fingrid Oyj, 21.4.2009, viitattu 26.5.2009. Saatavissa: http://www.fingrid.fi/attachments/fi/media/Seminaarit/s-markkinapaiva09/reima_paivinen.pdf
- (Rautiainen 07) Rautiainen Antti: Virtuaalivoimalan tarjoamat lisäpalvelut sähköverkon häiriötilanteiden hallintaan. Diplomityö. TTY 2007, viitattu 12.5.2009. Saatavissa: http://webhotel.tut.fi/units/set/research/inca/tiedostot/aportit/Antti_Rautiainen_diplomityo.pdf
- (Triggianese 09) Triggianese M., Liccardo F., Marino P.: Ancillary Services Performed by Distributed Generation in Grid Integration. Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. International Conference on 21-23 May 2007.
- (T-S 09) Sähköpostikysely Telia-Soneralle
- (VTT 07) VTT:n uutiskirje 02/2007: Pienkuluttajan sähkönkäyttöä voitaisiin ohjata markkinahinnan mukaan, viitattu 15.6.2009. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/uutiskirje/022007art06.jsp>
- (Viinikainen 07) Viinikainen Ari: Langattomat Järjestelmät, opetusmateriaali, Jyväskylän Yliopisto 17.10.2007, viitattu 5.5.2009. Saatavissa: http://users.jyu.fi/~arjuvi/opetus/ties422/TIES422_materiaali.pdf

- (Vähäuski 08) Vähäuski Anne: Älykkäiden energiamittareiden mahdollistamat palvelut. Diplomityö. LUT 2008
- (VN 09) Valtioneuvoston asetus sähkön toimituksesta ja mittauksesta, annettu 5 päivänä Helmikuuta 2009, viitattu 17.3.2009. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>