



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

**Lämminvesivaraajan ohjaus automaatiolla  
aurinkosähköä tuottavassa kotitaloudessa**  
**Automation of domestic water heater in  
household with solar photovoltaic system**

Kimmo Huoman

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Kimmo Huoman

**Lämminvesivaraajan ohjaus automaatiolla aurinkosähköä tuottavassa kotitaloudessa**

2015

Kandidaatintyö.

27 s.

Tarkastaja: tutkijaopettaja Antti Kosonen

Hajautettu sähköntuotanto aurinkopaneeleilla on Suomessa kasvussa. Kotitalouksiin asennettujen aurinkopaneelijärjestelmien määrä kasvaa jatkuvasti, mutta suuri osa tuotetusta sähköenergiasta syötetään sähköverkkoon. Tämä johtuu aurinkosähkön tuotannon painottumisesta kesäpäiviin, jolloin kotitalouksien kulutus on pienimmillään. Suurin hyöty itse tuotetusta energiasta saadaan kuitenkin käyttämällä se tuotantokohteessa, jolla minimoidaan energiansiirto sähköverkon ja kotitalouden rajapinnassa. Siirtämällä kotitalouden suurimpia kuormia aurinkosähkön mukaan ohjatuksi, voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia tuotetun sähkön omakäyttöasteessa. Helpoimmillaan tämä onnistuu kellokytkimellä, joka ajoittaa kulutuksen parhaimman tuotannon ajalle. Tämä ei kuitenkaan poista ongelmaa tilanteissa, jossa aurinkosähkön tuotanto on häiriintynyt esimerkiksi pilvisyyden takia aamupäivällä ja huipputuotanto saavutetaan vasta iltapäivän puolella. Saatavilla on jo useita järjestelmiä, jotka ohjaavat kodin laitteita tuotannon mukaisesti. Suuri osa näistä järjestelmistä on kuitenkin suunniteltu toimimaan vain tuotetun energiamäärän mukaisesti, ottamatta huomioon kotitaloudessa olevaa muuta, automaation piiriin kuulumatonta kulutusta.

Tässä kandidaatin työssä vertaillaan sähköenergian eri mittaustapoja ja niiden vaikutusta siirretyn energian laskennalliseen määrään. Lisäksi työssä tutkitaan lämminvesivaraajan kuormanohjausta käyttäen termostaatti-, kellokytkin- ja logiikkaohjausta. Työssä esiteltä logiikkaohjaus hyödyntää siirretyn energian mittausta sähköverkon ja kotitalouden rajapinnassa, ottaen automaattisesti huomioon myös talouden muun kulutuksen. Työssä esitellään myös esimerkkilaitteisto, jolla suunniteltu logiikka voidaan toteuttaa.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Kimmo Huoman

**Automation of domestic water heater in household with solar photovoltaic system**

2015

Bachelor's Thesis.

27 p.

Examiner: associate professor Antti Kosonen

Distributed energy production using solar photovoltaic panels is on a rapid growth in Finland. Photovoltaic systems installed to households are becoming more common every day, yet most of the produced energy is exported to the grid. This is because of the intermittent nature of solar energy production, which is at its peak during summer days, when consumption at households is at its lowest. However, the greatest profits are made when utilising the produced energy within the household, minimising energy transfer between the grid and the household. By using automation to better optimise the power consumption to fit the production of solar panel system, major reductions to both energy imported from grid and exported to grid can be achieved. There are multiple systems for controlling consumer devices according to solar energy productions available. However these systems typically do not account the electricity use of devices not connected to the automation system.

In this bachelor's thesis, a comparison between different energy measurement methods and their affects to the amount of energy transferred between grid and household is done. In addition, control of domestic water heater is looked into with thermostat, time-relay and logic controls. The logic control introduced in this bachelor's thesis utilises energy measurement between the grid and the household to automatically take into account consumption not controlled by the automation system. An example hardware for implementation of the logic is introduced.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	6
2.	SÄHKÖENERGIAN MITTAUS.....	8
2.1	Staattinen menetelmä.....	8
2.2	Ferraris-menetelmä.....	9
2.3	Nettolaskutus.....	10
2.4	Mittaustapojen vertailu .....	12
3.	ESIMERKKIKOHDE .....	14
4.	LÄMMINVESIVARAAN KÄYTTÖ ENERGIAVARASTONA .....	16
4.1	Termostaattiohjaus .....	16
4.2	Aikareleohjaus.....	18
4.3	Logiikkaohjaus .....	19
4.3.1	Logiikan kuvaus .....	20
4.3.2	Logiikan toiminta esimerkkipäivinä .....	21
4.4	Vertailu pidemmällä aikavälillä .....	22
5.	LOGIikkaOHJauksen TOTEUTUS .....	24
6.	YHTEENVETO.....	27
	LÄHTEET .....	28

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

$E$  energia

$P$  teho

$t$  aika

### Alaindeksit

$L_n$   $n$ . vaihe

$p$  peak, aurinkopaneelin huipputeho

## 1. JOHDANTO

Aurinkoenergian hyödyntäminen sähköä tuottavien aurinkopaneelien avulla on kasvussa Suomessa. Tämä johtuu suurelta osin vuoden 2013 alkupuolella voimaan tulleesta säädöksestä, jonka mukaan nimellisteholtaan alle 50 kVA sähköntuotantolaitokset saadaan liittää sähköverkkoon Saksan VDE-AR-N-4105 -standardin mukaisilla laitteilla (Energiateollisuus Ry, 2014). Tämä selkeytti aurinkopaneelien verkkoliityntälaitteiden hankintaa ja asennusta, jonka johdosta verkkoon kytkettyjen aurinkopaneelijärjestelmien hankinta yksinkertaistui. Tämän ansiosta järjestelmien kokonaishinta laski merkittävästi, aurinkopaneelien hintojen jatkaessa samanaikaisesti laskuaan.

Sähköenergian hajautetun pientuotannon yleistymisestä huolimatta sähköverkkoon syötetystä energiasta saatava korvaus vaihtelee sopimuskohtaisesti (Juuti & Ala-Mettälä, 2012). Käytännössä sopimukset ovat usein sähkön markkinahintaan sidottuja, jolloin syötetystä sähköstä hyvitetään tuntikohtaisesti vaihtuva hinta (Helen Oy, 2015; Lappeenrannan Energia Oy, 2015; Fortum Oyj, 2015). Toinen yleinen vaihtoehto on kiinteä korvaus, jolloin verkkoon syötetystä tehosta hyvitetään aina saman verran, vuorokauden ajasta riippumatta.

Sopimusten lisäksi myös energian mittaustapa vaikuttaa saatavan korvauksen suuruuteen. Siirretyn energian mittaukseen on käytössä kaksi mittaustapaa, Ferraris- ja staattinen menetelmä. Näiden lisäksi käytetään nettolaskutusta, jonka käyttöönotto on suunniteltu lakialoitteen muodossa (Juuti & Ala-Mettälä, 2012). Mittaustapojen eroilla ei ole ennen mikrotuotannon yleistymistä ollut merkitystä, jonka vuoksi käytännöt vaihtelevat yhtiö- ja mittari-kohtaisesti.

Sopimuksesta ja käytetystä energian mittaustavasta huolimatta saavutetaan suurin etu tuotetusta energiasta käyttämällä se itse. Sähköä ostaessa asiakas maksaa energiamaksun lisäksi sähkönsiirrosta ja veroista, kun taas sähkön myynnissä huomioidaan pelkästään energian hinta. Lisäämällä tuotetun energian omakäyttöä kulutustottumuksia muokkaamalla saadaan vähennettyä sekä verkosta ostetun että sinne myydyin energian määrää. Johtuen aurinkosähkön jaksottaisesta luonteesta tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista; päivisin paikallaolo on harvinaisempaa. (Huoman, et al., 2015)

Omakäytön lisääminen automaation avulla lisää sekä järjestelmästä saatavaa hyötyä että asu-  
mismukavuutta. Automaation ohjatessa kulutusta ei sähköntuottajan tarvitse tietoisesti  
muuttaa kulutustottumuksiaan tuotannon mukaisesti. Saatavilla on useita aurinkopaneelijär-  
jestelmien tueksi tarkoitettuja automaatiojärjestelmiä, jotka kuitenkin usein ohjaavat tuotan-  
toa vain tuotetun energian mukaan (Energeno Ltd, 2015). Tämän vuoksi järjestelmät eivät  
ota huomioon käyttökohteessa olevaa muuta, automaation piiriin kuulumatonta kulutusta.  
Siirtämällä energian mittaus käyttökohteen ja sähköverkon liityntärajaan voidaan ottaa  
huomioon myös taustakulutus, johon ei voida automaatiolla vaikuttaa. Myös käyttökohteen  
ja sähköverkon liityntärajaa tarkkailevia järjestelmiä on saatavilla (SMA, 2015).

Tässä kandidaatintyössä vertaillaan sähköenergian mittaukseen käytettyjä mittaustapoja ja  
niiden vaikutusta energian tuotannon ja kulutuksen laskennalliseen määrään käyttökoh-  
teessa. Lisäksi työssä tutkitaan lämminvesivaraajan ohjausta aurinkoenergian omakäytön li-  
säämiseksi, vertailemalla varaajan ohjausta termostaatti- ja kellokytkinohjauksin. Työssä  
esitellään nettolaskutukseen pohjaava lämminvesivaraajan ohjauslogiikka ja verrataan logii-  
kan toimintaa termostaatti- ja kellokytkinohjauksiin. Lopuksi luodaan katsaus jo saatavilla  
oleviin aurinkosähkölle tarkoitettuihin automaatiojärjestelmiin ja esitetään esimerkki ko-  
koonpano laitteiden ohjaukseen soveltuvasta järjestelmästä käyttäen saksalaista Smart Grid  
Ready -standardia.

## 2. SÄHKÖENERGIAN MITTAUS

Siirretyn sähköenergian mittaamisessa on käytössä kaksi menetelmää, staattinen ja Ferraris-menetelmä (Edison Electric Institute, 2002). Asiakkaalle, jolla on vain kulutusta, ei mittausmenetelmien erolla ole merkitystä. Jos kohteessa on myös tuotantoa, menetelmien ero kuitenkin vaikuttaa suuresti verkkoon syötetyn ja sieltä ostetun sähkön laskennalliseen määrään. Varsinaisten mittausmenetelmien lisäksi käytössä on nettolaskutus, jossa kaikki siirretty energia netotetaan sovitun ajanjakson aikana.

### 2.1 Staattinen menetelmä

Staattinen menetelmä perustuu energian mittaukseen mikroprosessoriohjatusti. Mittariin integroidut analogia-digitaalimuuntimet muuntavat mitatun jännitteen ja virran digitaaliseksi signaaliksi, jonka mikroprosessori tulkitsee. Staattisessa menetelmässä vaihekohtaiset tehot mitataan erillisinä kokonaisuuksina (Edison Electric Institute, 2002). Myyty ja ostettu energia voidaan laskea yhtälöistä

$$E_{\text{myynti}} = \int_0^t (P_{L1+} + P_{L2+} + P_{L3+}) dt \quad (1)$$

$$E_{\text{osto}} = \int_0^t (P_{L1-} + P_{L2-} + P_{L3-}) dt \quad (2)$$

joissa  $E_{\text{myynti}}$  on verkkoon myyty energia,  $E_{\text{osto}}$  verkosta ostettu energia,  $t$  on mittausaika ja  $P_{Ln+}$  on myydyin ja  $P_{Ln-}$  ostetun sähkön vaiheteho.

Staattinen menetelmä on yleistynyt laskutusperusteena etäluettavien mittarien myötä. Asiakkaalle, jolla omaa tuotantoa ei ole, menetelmän vaihtuminen ei näy, koska jokaisella kolmivaihejärjestelmän vaiheella on sama hinta. Tilanne kuitenkin muuttuu, jos käyttökohdteessa on myös sähköntuotantoa. Tällöin esimerkiksi yksi vaihe voi syöttää energiaa verkkoon, kahden muun kuluttaessa verkosta ostettua energiaa. Kuvassa 2.1 on esitetty verkkoon myyty ja sieltä ostettu teho yhden päivän aikana staattisella menetelmällä mitattuna.





Kuva 2.1 Sähkönkulutus ja -tuotanto yhden päivän aikana staattisella menetelmällä mitattuna.

Kuvasta huomataan useita ajanjaksoja, jolloin järjestelmässä on samanaikaisesti sekä tuotantoa että kulutusta, johtuen eri vaiheissa olevista erisuuruista kuormista. Käytännön tasolla asiakkaalle tämä näkyy siirretyn sähkön määrässä, ostetun sähköenergian määrän ollessa 11,0 kWh ja myyntiin menevän 13,0 kWh.

## 2.2 Ferraris-menetelmä

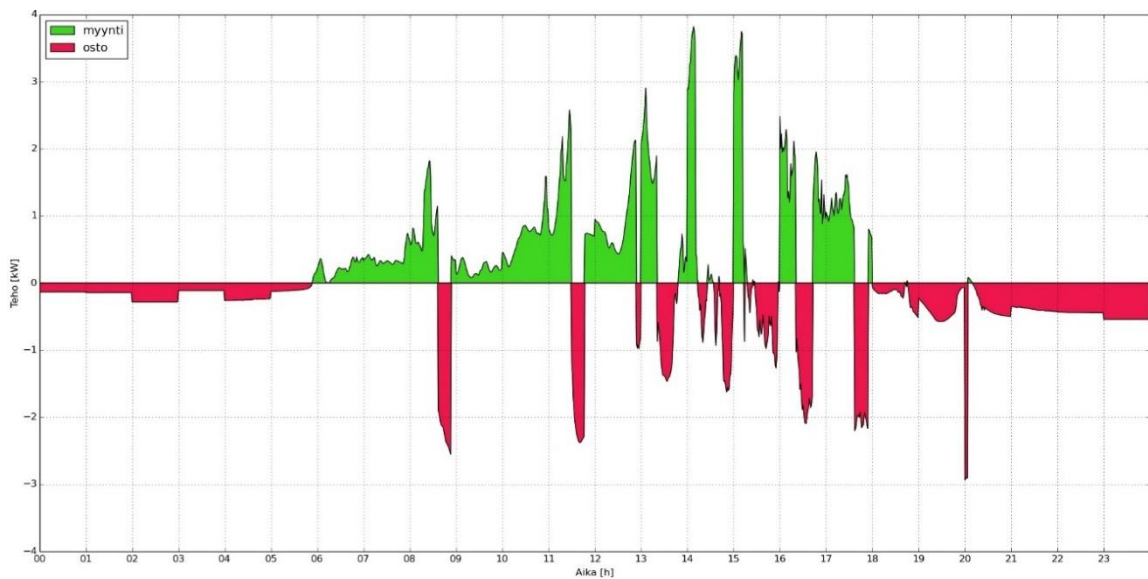
Ferraris-menetelmä perustuu pohjimmiltaan pyörrevirtojen alumiiniekkkoon aiheuttamaan voimavaikutukseen. Yksivaiheinen, mekaaninen kilowattituntimittari koostuu kahdesta käämityksestä, alumiiniekosta ja kestopagneetista. Ensimmäisen käämityksen läpi kulkee jännite ja toisen läpi virta, jotka ovat verrannollisia mitattavaan tehoon. Käämit indusoivat alumiiniekkkoon virran suuntaisia pyörrevirtoja, jotka pyörittävät kiekkoa. Kiekkoa jarrutetaan kestopagneetilla, jolloin kierrosnopeus on verrannollinen mitattuun tehoon. Kiekon pyörähdysten määrä aikayksikköä kohden on täten verrattavissa siirretyn energian määrään. (Edison Electric Institute, 2002)

Perinteisissä kolmivaihekilowattituntimittareissa jokaiselle vaiheelle on oma kiekkonsa, jotka on asetettu samalle akselille, jolloin eri vaiheiden tehot summautuvat yhteen (Edison Electric Institute, 2002). Summaamisen tuloksena on yhdeltä ajanhetkeltä vain yksi luku, joten asiakas voi yhdellä ajanhetkellä olla vain sähkönostaja tai -myyjä yhtälön

$$E = \int_0^t (P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}) dt \quad (3)$$

mukaisesti, missä  $E$  on siirretty energia ja  $P_{L_n}$  on vaiheteho.

Vaikka mekaaniset kilowattituntimittarit ovatkin suurelta osin poistuneet, menetelmää käytetään laskutusperusteena myös useissa mikroprosessoriohjatuissa mittareissa. Kuvassa 2.1 esitetty staattisen menetelmän teho on esitetty kuvassa 2.2 Ferraris-menetelmällä mitattuna.



Kuva 2.2 Sähkönkulutus ja -tuotanto yhden päivän aikana Ferraris-menetelmällä mitattuna.

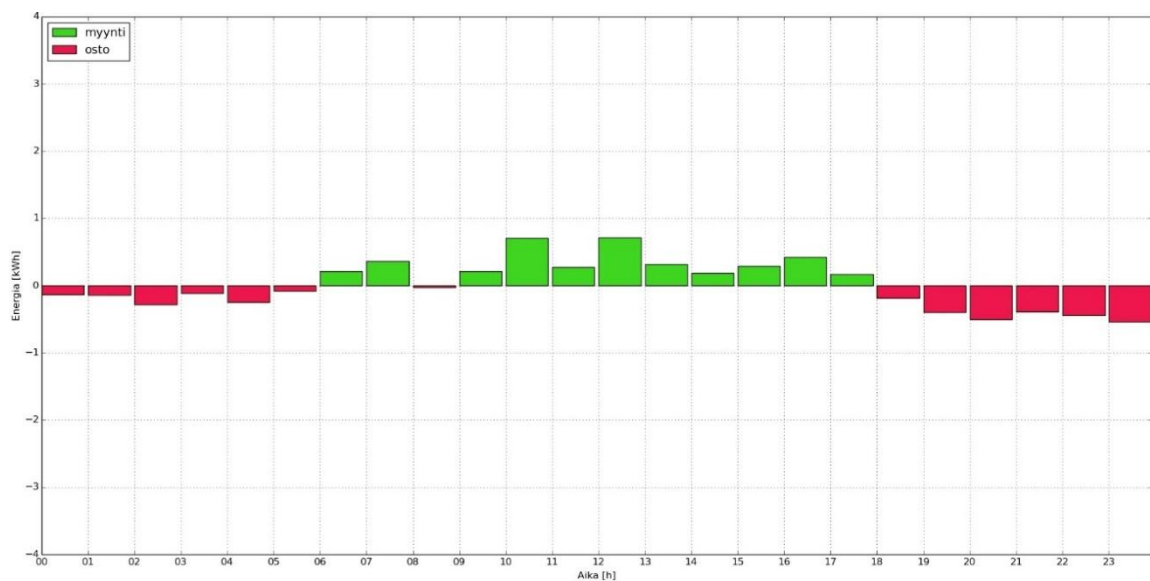
Kuvaa tutkimalla huomataan staattiseen menetelmään (kuva 2.1) verrattuna yhtaikaisen oston ja myynnin poistuminen, jonka johdosta asiakas on yhdellä ajanhetkellä vain sähkönsotaja tai -myyjä. Siirretyn energian määrässä tämä näkyy kokonaissiirron laskuna, ostoenergian määrän ollessa 8,8 kWh ja myyntienergian 10,8 kWh. Koska kokonaisenergian määrä järjestelmässä ei muutu, eroa staattiseen menetelmään verrattuna syntyy sekä osto- että myyntienergiassa 2,2 kWh.

### 2.3 Nettolaskutus

Sähköenergian nettolaskutuksella tarkoitetaan sitä, että pientuottaja maksaa ainoastaan kulltamastaan energiasta, joka ylittää vastaavalla ajanjaksolla verkkoon syötetyn energian.

Nettolaskutusmallien yleisenä lähtökohtana on, että netotusjaksolla tuotannon ylittäessä kulutuksen sähköyhtiöllä ei ole ostovelvoitetta. Netotusjakson pituudeksi on yleisesti suunniteltu yhtä tuntia, joka on myös verkkoyhtiöiden välisessä sähköenergiakaupassa käytetty aikaväli. (KPMG Oy, 2014)

Nettolaskutuksessa voidaan käyttää mittausmenetelmänä sekä staattista että Ferraris-menetelmää. Saatu mittaustulos summataan netotusjakson ajalta, jolloin saadaan tulokseksi yksi luku netotusjaksolta. Kuvassa 2.3 on esitetty yhden päivän sähkönkulutus ja -tuotanto käyttäen tuntinetotusta laskentaperusteena.



Kuva 2.3 Sähkönkulutus ja -tuotanto yhden päivän aikana tuntinetotuksella.

Kuvasta nähdään tuntinetotuksen tuomat hyödyt. Netotuksen ansiosta laskutettavat energiamäärät pysyvät pieninä huolimatta kuvissa 2.1 ja 2.2 nähdystä huomattavasta tehonvaihtelusta. Netotuksen ansiosta päivän ostoenergian määräksi tulee ostoenergian osalta 6,6 kWh ja myyntienergian osalta 8,6 kWh. Eroa staattiseen menetelmään syntyy 4,4 kWh ja Ferraris-menetelmään 2,2 kWh.

## 2.4 Mittaustapojen vertailu

Mittaustapojen vertailussa käytettiin Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston tasakattoaurinkovoimalan tuotantoa heinäkuun 2014 ajalta. Aurinkovoimala on asennettu 15 asteen kallistuskulmaan ja suunnattu suoraan etelään. Voimalan vaihetehot skaalattiin vastaamaan nimellisteholtaan 5 kW<sub>p</sub> asennusta. (LUT, 2015)

Kulutuksen estimointiin käytettiin simuloitua nelihenkisen perheen asuttamaa omakotitaloa, jonka käyttövesi lämmitetään sähköllä. Teho jaettiin kolmeen vaiheeseen satunnaisesti, jotta mittaustapojen erot saadaan esitettyä. Taulukossa 2.1 on esitetty saadut tulokset.

Taulukko 2.1 Mittaustapojen vertailu siirretyn energian määränä heinäkuussa 2014.

Mittaustapa	Ostoenergia [kWh]	Myyntienergia [kWh]
Staattinen menetelmä	340,03	404,12
Ferraris-menetelmä	271,55	335,64
Tuntinetotus	203,20	267,29

Mittaustapojen vertailusta huomataan staattisen menetelmän olevan loppukäyttäjän kannalta huonoin ja tuntinetotuksen vastaavasti paras. Ferraris-menetelmä sijoittuu kahden edellisen välimaastoon. Eroa staattisen menetelmän ja tuntinetotuksen välille tulee ostoenergiassa 40 % ja myyntienergiassa 33 %.

Taulukossa 2.2 on laskettu menetelmien erot sähkölaskun loppusummana. Loppusumman laskemisessa ei ole otettu huomioon kiinteää perusmaksua, koska se on kaikissa vaihtoehtoisissa sama. Verkosta ostetun energian hinnaksi on oletettu heinäkuun 2014 pientalouksien keskihinta 12,9 c/kWh, joka sisältää sähkönsiirron ja verot (Energiavirasto, 2015). Verkkoon myydystä energiasta saatavaksi korvaukseksi on oletettu Elspot-pörssin heinäkuun 2014 keskihinta 3,68 c/kWh (Nord Pool Spot, 2014).

Taulukko 2.2 Mittaustapojen vertailu laskun loppusummana heinäkuussa 2014.

Mittaustapa	Ostetun energian hinta [€]	Myydyn energian arvo [€]	Loppusumma [€]
Staattinen menetelmä	43,87	14,87	29,00
Ferraris-menetelmä	35,04	12,35	22,69
Tuntinetotus	26,22	9,84	16,38

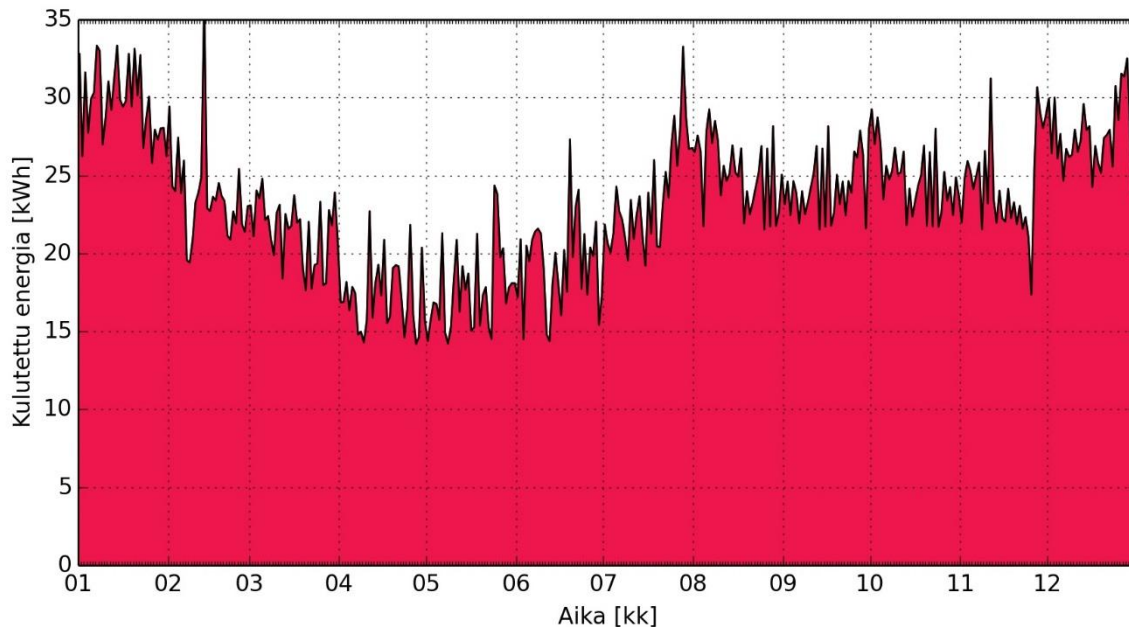
Taulukosta huomataan mittaustapojen vaikutus laskun loppusummaan. Staattisella menetelmällä siirretyn energian määrä oli laskennallisesti suurimmillaan, jonka vuoksi myös laskun loppusumma on suurin. Tuntinetotusta käytettäessä laskun loppusumma on pienimmillään, Ferraris-menetelmän sijoituessa kahden muun puoliväliin.

Eri mittaustapojen välinen ero on laskun loppusummana tarkasteltuna merkittävä, eron halvimman ja kalleimman välillä ollessa 43,5 %. Ero kuitenkin pieneni hieman, jos laskennoissa käytettäisiin sähkön pörssihintoja myös ostetun sähkön osalta ja tarkastelu tehtäisiin tuntitasolla. Elspot pörssissä tyypillisesti kalleinta on päivällä, jolloin myös aurinkosähkön tuotanto on suurimmillaan. Vastaavasti yöaika on yleensä pörssissä halvinta. Tämä johtaisi kalleimpien tuntien kulutuksen korvaamiseen itse tuotetulla aurinkosähköllä sekä lisäksi myydystä sähköstä saatua korvausta, johtaen pienempään laskun loppusummaan.

### 3. ESIMERKKIKOHDE

Esimerkkikohteen simulointiin valittiin nelihenkisen perheen asuttama omakotitalo, jonka koko on noin 120 m<sup>2</sup>. Talon käyttövesi lämmitetään lämminvesivaraajalla ja lämmitys toteutetaan ilman sähköä, esimerkiksi puulla tai öljyllä. Sähköenergian kulutus vaihtelee esimerkkikohteen kaltaisessa taloudessa välillä 7800 – 13800 kWh/a, josta lämpimän käyttöveden osuus on noin 4000 kWh/a. (Adato Energia Oy, 2013; Valkeakosken Energia Oy, 2015)

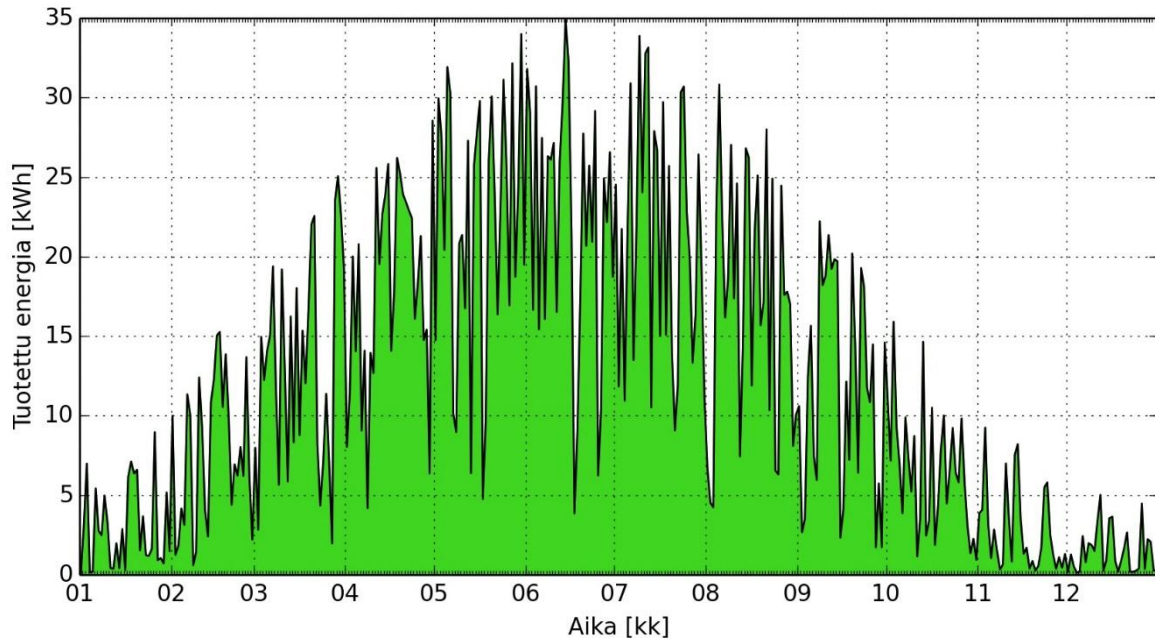
Esimerkkikohteen vuosikulutuksen laskemiseksi käytettiin mitattua pohjakuormaa kohteesta, jossa sekä lämmitys että lämmin käyttövesi tuotetaan ilman sähköä. Pohjakuorman osuudeksi sähkönkulutuksesta saatiin noin 4500 kWh/a. Kun kulutukseen lisätään lämminvesivaraajan kuorma, saadaan vuosikulutukseksi noin 8500 kWh/a. Päiväkohtainen sähkönkulutus vuoden aikana on esitetty kuvassa 3.1. Kuvasta nähdään sähkönkulutuksen pysyvän suhteellisen tasaisena vuoden aikana, joka suurelta osin johtuu lämpimän käyttöveden kulutuksen tasaisuudesta.



Kuva 3.1 Esimerkkikohteen päiväkohtainen sähkönkulutus vuoden aikana.

Simuloidussa esimerkkikohteessa on lisäksi nimellisteholtaan 5 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmä, joka on asennettu 15° tasokulmaan ja suunnattu etelään. Aurinkopaneelijärjestelmän vuosituotto simuloitiin käyttäen Yhdysvaltain uusiutuvan energian laboratorion kehittämää

HOMER-ohjelmistoa. Lappeenrannan alueella tuotannoksi saatiin 4500 kWh/a. Kuvassa 3.2 on esitetty aurinkopaneelijärjestelmän simuloitu tuotanto vuoden aikana.



Kuva 3.2 Esimerkkikohteen aurinkopaneelijärjestelmän päiväkohtainen tuotanto vuoden aikana.

Kuvasta 3.2 huomataan tuotannon olevan merkittävästi kesään painottuvaa. Kuvaan 3.1 vertaamalla voidaan todeta aurinkopaneelijärjestelmän päiväkohtaisen energiantuotannon ylittävän kulutuksen jo huhtikuun aikana. Vastaavasti kulutus ylittää tuotannon syyskuun kohdalla.

## 4. LÄMMINVESIVARA AJAN KÄYTTÖ ENERGIAVARASTONA

Lämminvesivaraaja on esimerkkikohteessa selkeästi suurin yksittäinen sähkökuluttaja. Sen kulutus on vuorokausitasolla suhteellisen hyvin ennakoitavaa, koska lämpimän käyttöveden kulutus on päivätasolla suunnilleen saman verran vuodenajasta riippumatta. Lämminvesivaraajat on suomalaisissa kotitalouksissa usein asetettu toimimaan päivä sähköä edullisemmalla yö sähköllä, jonka vuoksi varaaja on mitoitettu suureksi, vähintään yhden vuorokauden lämpimän käyttöveden tarpeen täyttäväksi. Näiden ominaisuuksien ansiosta lämminvesivaraaja soveltuu erinomaisesti aurinkosähkön tuotannon mukaan automatisoitavaksi. Säättöä suunniteltaessa täytyy huolehtia, että käyttöveden lämpötila on ainakin ajoittain yli 55 °C, jotta siihen ei kertyisi haitallista Legionella-bakteeria (Motiva Oy, 2015). Tämä saavutetaan lämmittämällä varaajaa päivittäin, huolimatta tuotetun energian määrästä.

Työn toteuttamiseksi tutkittiin kolmea eri säättövaihtoehtoa aurinkosähkön hyödyntämiseksi lämminvesivaraajassa. Vaihtoehdot olivat termostaattiohjaus kattilan omalla termostaatilla, aikareleellä ohjaus ja nettolaskutukseen pohjaavan logiikan avulla ohjaus. Vertailut tehtiin aikavälillä 1.6.2014 – 31.9.2014 ja tarkempaan vertailuun valittiin aurinkoinen päivä 13.7. sekä pilvinen päivä 3.7.

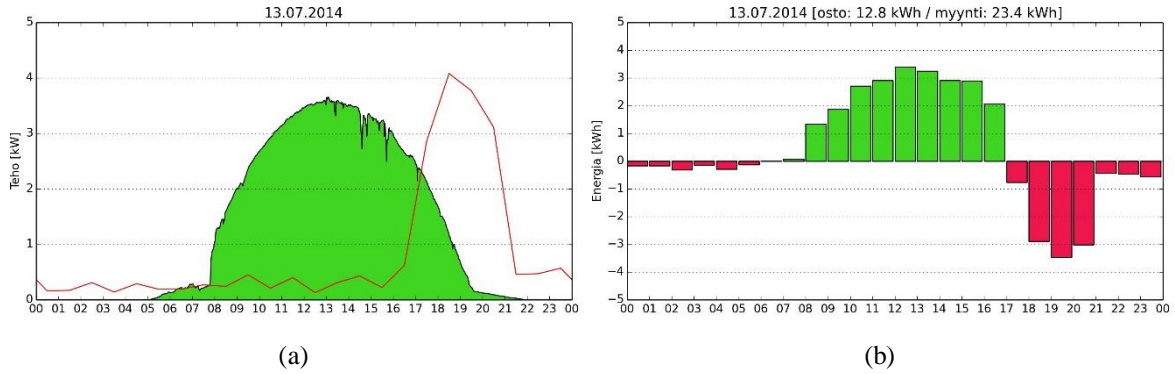
Säättövaihtoehtojen vertailuun käytettiin kappaleessa 0 simuloitua omakotitaloa sekä Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston 5 kW<sub>p</sub> aurinkovoimalaa, joka on asennettu kiinteästi 15 asteen kallistuskulmaan ja suunnattu etelään (LUT, 2015). Lämminvesivaraajan nimellistehoksi oletettiin 3 kW ja päivittäiseksi energiantarpeeksi 11 kWh (Valkeakosken Energia Oy, 2015). Nimellisteholla lämmitettäessä tämä tarkoittaa 3 tuntia ja 40 minuuttia. Lämmityskattilan tilavuudeksi oletetaan 300 litraa, joka on yleinen yö sähköllä lämmityksessä käytetty tilavuus. Talouden pohjakuormaksi valittiin sama päivä kaikkiin tapauksiin, jottei pohjakuorman vaikutus häiritse eri päivien ja säättötapojen vertailua.

### 4.1 Termostaattiohjaus

Perinteisesti lämminvesivaraajien ohjauksessa on käytetty termostaattia. Simuloinneissa lämminvesivaraajan lämmityksen oletettiin ajoittuvan iltaan, jolloin lämpimän käyttöveden kulutus on suurimmillaan. Lämmitysajankohdaksi valittiin satunnainen ajanhetki kello 18 ja

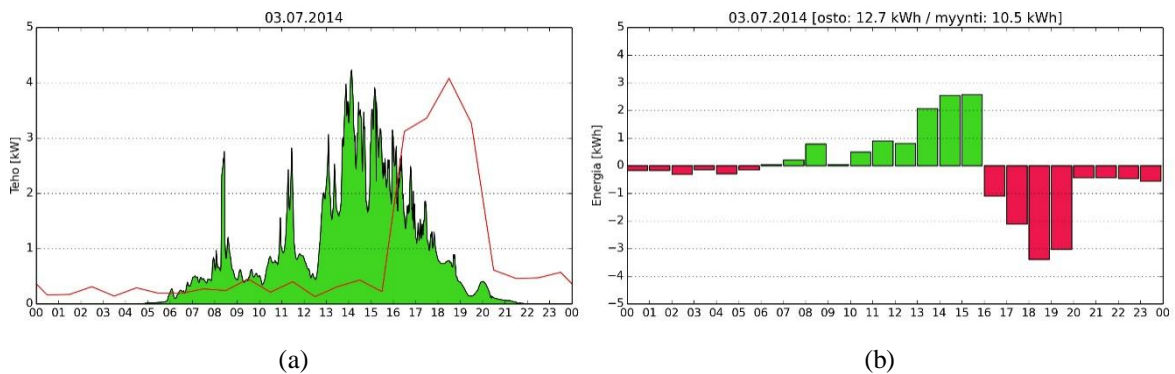


21 väliltä ja vaadittu lämmitysaika jaettiin tasaisesti tämän ajanhetken ympärille, joka käytännön tasolla tarkoitti lämmityksen sijoittumista tuotannon loppuvaiheille. Kuvassa 4.1 on esitetty aurinkoisena päivän tuotanto ja kulutus sekä tuntinetotuksella laskettu energian myynti ja osto.



Kuva 4.1 Termostaattiohjaus aurinkoisena päivänä. (a) Tuotanto ja kulutus ajan funktiona. (b) Tuntinetotus ajan funktiona.

Kuvasta 4.1 huomataan lämminvesivaraajan kulutuksen painottuminen iltaan, jolloin tuotanto on jo merkittävässä laskussa. Tuntinetotuksessa tämä näkyy sähkön myyntinä päivällä ja ostona illalla. Energiaa myydään päivän aikana 23,4 kWh ja ostetaan 12,8 kWh. Kuvassa 4.2 on esitetty termostaattiohjatun kattilan toiminta pilvisenä päivänä.



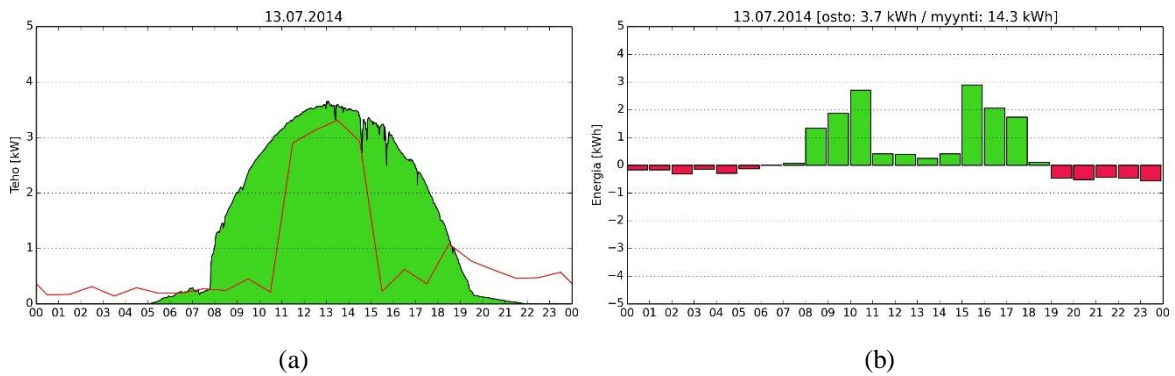
Kuva 4.2 Termostaattiohjaus pilvisenä päivänä. (a) Tuotanto ja kulutus ajan funktiona. (b) Tuntinetotus ajan funktiona.

Kuvasta 4.2 huomataan, ettei aamupäivän pilvisyys vaikuta päivän energiabalanssiin termostaattiohjatulla kattilalla, kattilan kulutuksen painottuessa iltaan, jolloin paneelien tuotanto on jo loppumaisillaan. Myyntisähkön määrä vuorokauden aikana on 10,5 kWh ja ostosähkön 12,7 kWh.

## 4.2 Aikareleohjaus

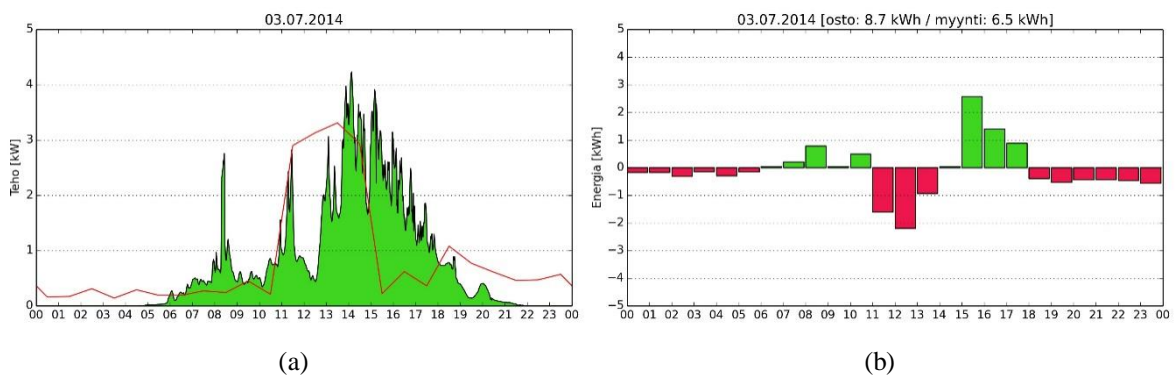
Yleisesti käytössä olevan yösähköllä lämmittämisen sijaan lämminvesivaraajan lämmitys voidaan aurinkosähköä tuottavassa taloudessa siirtää päiväsähkölle. Tällöin varaajan lämmitykseen voidaan hyödyntää itse tuotettua energiaa, jolloin energian omakäytön osuus kasvaa, johtaen sekä verkosta ostetun että sinne myytävien energiamäärien vähenemiseen.

Simuloinnissa aikarele asetettiin kello 13 ympäröiville tunneille, jolloin tuotanto kesäaikana on korkeimmillaan. Kuvassa 4.3 on esitetty yhden päivän tuotanto ja kulutus sekä tuntinetoksella laskettu energian myynti ja osto aurinkoisena päivänä.



Kuva 4.3 Aikareleohjaus aurinkoisena päivänä. (a) Tuotanto ja kulutus ajan funktiona. (b) Tuntinetotus ajan funktiona.

Kuvasta 4.3 nähdään aikareleen toimivan esimerkkipäivänä hyvin, tuotannon ollessa tasaista ja ajoittuvan kello 13 ympärille. Tuntinetotuksella päivän ostetun sähköenergian määrä on 3,7 kWh ja myyntienergian 14,3 kWh. Kuvassa 4.4 on esitetty aikareleohjauksen toiminta pilvisempänä päivänä.



Kuva 4.4 Aikareleohjaus pilvisenä päivänä. (a) Tuotanto ja kulutus ajan funktiona. (b) Tuntinetotus ajan funktiona.

Kuvasta 4.4 huomataan aamupäivän olleen pilvistä ja auringon tulleen esiin vasta kello 13 aikaan. Tämä aiheuttaa ongelmia aikareleelle, suuren osan lämminvesivaraajan lämmityksestä ajoittuessa pilvisemmälle jaksolle. Tuntinetotuksessa ilmiö näkyy selvästi, aamupäivän tunneilla energiaa ostetaan verkosta ja iltapäivällä sitä myydään. Koko päivän ajalta verkosta ostettu energia on 8,7 kWh ja verkkoon myyty energia 6,5 kWh.

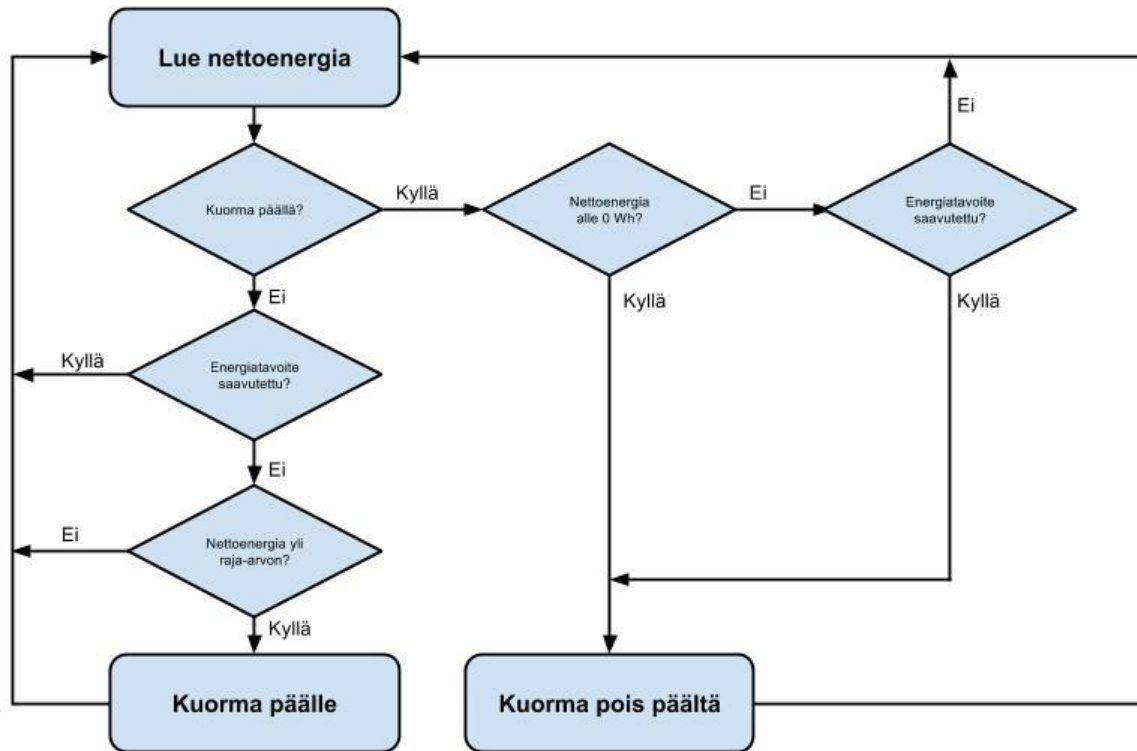
### 4.3 Logiikkaohjaus

Logiikkaohjauksen tavoitteena on pitää kotitalouden ja sähköverkon rajapinnassa siirretty energiamäärä tuntinetotuksen näkökulmasta mahdollisimman lähellä nollaa, jolloin saavutetaan maksimaalinen hyöty loppukäyttäjän näkökulmasta. Tämä saavutetaan ohjaamalla lämminvesivaraajan lämmitystä kotitalouden ja sähköverkon rajapintaan asennetun energiamittarin perusteella. Suunniteltu logiikka pidettiin mahdollisimman yksinkertaisena, jolloin toteutuksesta saadaan helposti alustariippumaton ja tämän johdosta toteuttamiskelpoinen myös mahdollisiin jo olemassa oleviin automaatiojärjestelmiin.

Tuntinetotusta käytettäessä logiikka voidaan yksinkertaisimmillaan toteuttaa mittaamalla energiantuotantoa tunnin alusta lähtien. Kun energiaa on kertynyt ”varastoon”, kytketään kuorma päälle ja pidetään se päällä tunnin loppuun saakka. Tämän kaltainen, yksinkertainen logiikka suuressa mittakaavassa (satoja, jopa tuhansia talouksia) aiheuttaisi kuitenkin suuria ongelmia sähköverkolle säätövoiman tarpeen kasvaessa. Tämän vuoksi käytetyn logiikan täytyy pystyä jaksottamaan kuormanohjaus netotusjakson ajalla pienempiin osiin.

### 4.3.1 Logiikan kuvaus

Mittaamalla energiansiirtoa verkon ja käyttökohteen rajapinnassa voidaan lämminvesivaraajan kulutusta ohjata tuotannon ja kulutuksen mukaisesti, yhtä energiamittaria käyttäen. Kuvassa 4.5 on esitetty yksinkertaistettu logiikkakaavio järjestelmän toiminnasta.



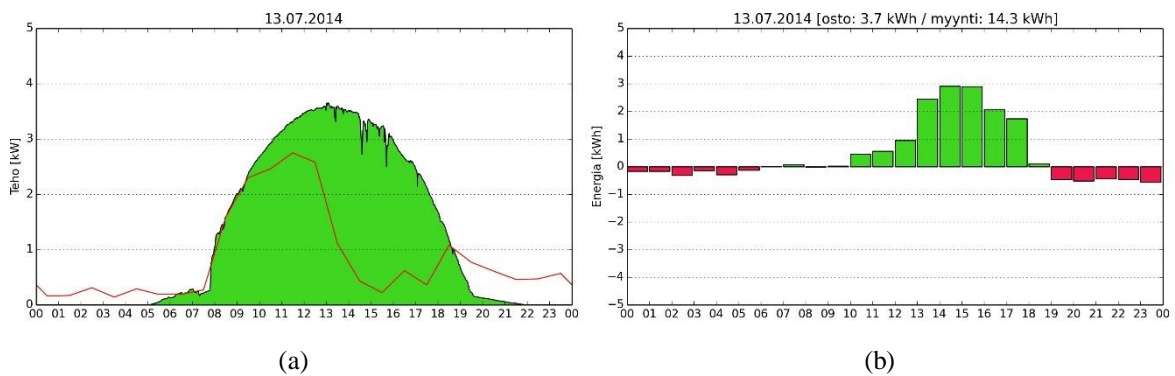
Kuva 4.5 Yksinkertaistettu logiikkakaavio järjestelmän toiminnasta.

Logiikka pohjautuu yhteen energiamittariin verkon ja käyttökohteen rajapinnassa. Koska lämminvesivaraajan kuormaa ohjataan perinteisten sähkömekaanisten kytkinkomponenttien avulla, täytyy kytkentäkertojen määrää rajoittaa. Tämä saavutetaan hidastamalla logiikan toimintaa asettamalla kuorman päälle kytkemiseksi vaaditulle nettoenergialle raja-arvo. Kun päiväkohtainen energiatarve on saavutettu, kytketään kuorma pois päältä. Oikeassa laitteistossa poiskytkentää ei logiikkatasolla tarvittaisi, vaan varaaja voidaan pitää päällä, antaen varaajan sisäisen termostaatin suorittaa poiskytkentä. Logiikkakaaviosta puuttuu päivittäisen energiatarvoitteen täyttämisen loputtua, jos energiatarvoitetta ei saavutettu. Tämä energia korvattiin simulaatioissa kytkemällä lämminvesivaraaja päälle kello 20 jälkeen, kun aurinkopaneelien tuotanto on jo loppunut.

Kaiken käyttökohteen energian kulkiessa saman mittarin kautta, ottaa järjestelmä automaattisesti huomioon myös muun, ohjauksen piiriin kuulumattoman kulutuksen. Tämän ansiosta loppukäyttäjän ei tarvitse muuttaa kulutustottumuksiaan järjestelmän vuoksi. Samaa ominaisuutta voidaan hyödyntää myös useamman ohjattavan kuorman rinnankytkemiseksi ilman erillisiä energiamittareita, jolloin käytettävissä oleva aurinkoenergia voidaan hyödyntää entistä tehokkaammin.

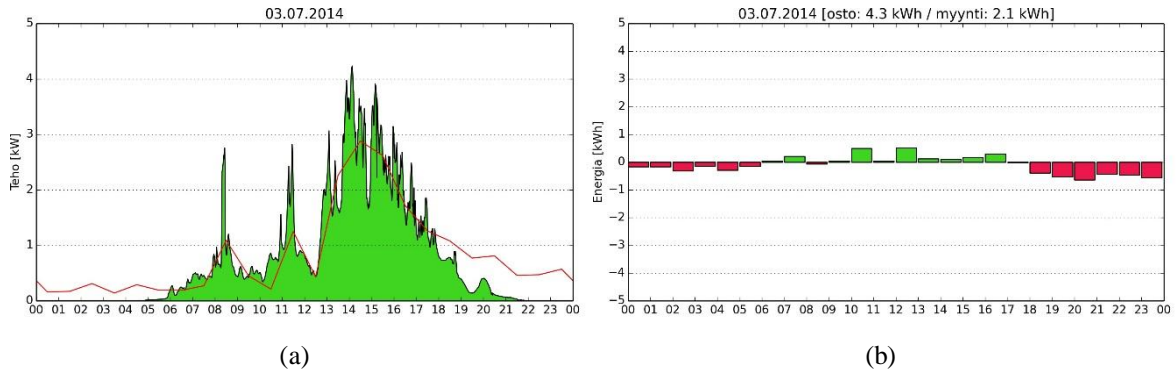
### 4.3.2 Logiikan toiminta esimerkkipäivinä

Logiikan toimintaa tutkittiin tarkastelemalla sitä useina, erilaisina päivinä. Kuvassa 4.6 on esitetty aurinkoisen päivän tuotanto ja kulutus sekä tuntinetotuksella laskettu energiansiirto logiikkaohjauksella.



Kuva 4.6 Logiikkaohjaus aurinkoisena päivänä. (a) Tuotanto ja kulutus ajan funktiona. (b) Tuntinetotus ajan funktiona.

Kuvasta nähdään logiikan ohjaaman kulutuksen lähtevän seuraamaan tuotettua energiaa heti tuotannon alettua kello 7 ja 8 välillä. Vaadittu energiamäärä saavutetaan kello 13 ja 14 välillä, jonka jälkeen kulutus seuraa kiinteistön pohjakulutusta. Päivän ostoenergia on 3,7 kWh ja myyntienergia 14,3 kWh, joten eroa aikareohjaukseen ei ole lainkaan, johtuen tuotannon ajoittumisesta myös aikareohjauksen toiminta-ajalle. Kuvassa 4.7 on esitetty pilvisen päivän tuotanto ja kulutus sekä tuntinetotuksella laskettu energiansiirto logiikkaohjauksella.



Kuva 4.7 Logiikkaohjaus pilvisenä päivänä. (a) Tuotanto ja kulutus ajan funktiona. (b) Tuntinetotus ajan funktiona.

Kuvasta 4.7 huomataan tuotannon raju painottuminen iltapäivään, joka aiheutti ongelmia aikarelohjausta käytettäessä (kuva 4.4). Logiikkaohjauksella kulutus seuraa tuotantoa suhteellisen hyvin, siirtäen lämminvesivaraajan kuormaa iltapäivälle. Tämä näkyy selvimmin tuntinetotuksella lasketussa energiansiirrossa, joka laskee merkittävästi aikarelohjaukseen verrattuna. Vuorokauden aikana ostettu energia on 4,3 kWh ja myyty 2,1 kWh, kun aikarelohjauksella vastaavat luvut olivat 8,7 kWh ja 6,5 kWh.

#### 4.4 Vertailu pidemmällä aikavälillä

Edellä kuvatuille ohjausvaihtoehdoille tehtiin myös pidemmän aikavälin vertailu aikavälillä 1.6.2014 – 31.9.2014. Vertailu tehtiin käyttäen simuloitua kulutusta ja Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston 5 kW<sub>p</sub> aurinkovoimalan mitattua tuotantoa (LUT, 2015). Taulukossa 4.1 on esitetty saadut tulokset kuukausitasolla.

Taulukko 4.1 Ohjaustapojen siirretyn energian vertailu kuukausitasolla kesä-syyskuussa 2014.

Kuukausi	Termostaattiohjaus		Aikarelohjaus		Logiikkaohjaus	
	ostoenergia [kWh]	myyntienergia [kWh]	ostoenergia [kWh]	myyntienergia [kWh]	ostoenergia [kWh]	myyntienergia [kWh]
<b>Kesäkuu</b>	382	375	255	248	193	186
<b>Heinäkuu</b>	446	444	272	270	216	214
<b>Elokuu</b>	519	261	407	149	342	84
<b>Syyskuu</b>	598	199	477	78	442	43
<b>Yhteensä</b>	1 945	1 279	1 411	745	1 193	527
	100 %	100 %	73 %	58 %	61 %	41 %

Tuloksia tarkastellessa huomataan aikarelohjauksella saatava etu, myyntienergian määrän laskiessa noin 58 prosenttiin ja ostoenergian noin 73 prosenttiin termostaattiohjaukseen verrattuna. Parhaat tulokset saavutetaan logiikkaohjauksella, myyntienergian määrän laskiessa

noin 41 prosenttiin ja ostoenergian noin 61 prosenttiin termostaattiohjaukseen verrattuna. Taulukossa 4.2 on esitetty vertailujakson sähkölaskun loppusummat kuukausittain käyttäen samoja laskentaperiaatteita kuin kappaleessa 2.4.

Taulukko 4.2 Ohjaustapojen laskun loppusumman vertailu kuukausitasolla kesä-syyskuussa 2014.

<b>Kuukausi</b>	<b>Termostaattiohjaus</b>	<b>Aikareleohjaus</b>	<b>Logiikkaohjaus</b>
	Laskun loppusumma [€]	Laskun loppusumma [€]	Laskun loppusumma [€]
<b>Kesäkuu</b>	37,19	24,91	18,91
<b>Heinäkuu</b>	41,20	25,16	19,99
<b>Elokuu</b>	57,02	46,85	40,95
<b>Syyskuu</b>	69,79	58,76	55,57
<b>Yhteensä</b>	205,20	155,68	135,43
	100 %	76 %	66 %

Taulukosta 4.2 huomataan laskun loppusumman olevan selkeästi termostaattiohjattua järjestelmää pienempi sekä aikarele- että logiikkaohjauksella. Termostaatti- ja logiikkaohjauksia vertailtaessa huomataan laskun loppusumman puolittuvan kesä- ja heinäkuussa. Myös aikareleohjauksella laskun loppusumma on merkittävästi termostaattiohjausta pienempi koko tarkastelujakson ajan.

## 5. LOGIikkaOHJauKSEN TOTEUTUS

Kuvatun logiikan toteuttaminen ei vaadi suurta prosessointikykyä tai muistia ja on siten toteutettavissa käytännössä alustariippumattomasti. Vastaavan kaltaisia ohjauksia on jo käytössä joissain aurinkopaneelijärjestelmien ohjausjärjestelmissä (SMA, 2015; Energeno Ltd, 2015). Esimerkiksi SMA Solar Technologyn valmistama Sunny Home Manager tukee monipuolisia ohjausvaihtoehtoja SMA:n omien pistorasiaan kytkettävien ohjausyksiköiden kautta (SMA, 2015). Ohjausvaihtoehdot sisältävät ohjelmat muun muassa pyykin-, astianpesukoneen ja joidenkin lämpöpumppujen ohjauksiin. Lisäksi ohjausvaihtoehtoihin on sisällytetty työssä esitetyn logiikan kaltainen lämmityselementin ohjaus, jota käytettäessä voidaan asettaa myös päivittäin vaadittu lämmitysaika. Järjestelmän huonoina puolina on sitoutuminen yhteen laitteistotoimittajaan ja tiedonsiirtoprotokollaan, joka rajoittaa laitteistoon kytkettävien laitteiden saatavuutta. Lisäksi järjestelmä ei ainakaan toistaiseksi tue ohjauksia tuntinetotuksen mukaan.

Suurimman ongelman laitteiston toimintaan asettaa vaadittu veden lämpötila. Lämpimän käyttöveden täytyy pysyä yli 55 °C, jotta Legionella-bakteerin syntyminen estetään (Motiva Oy, 2015). Esimerkkilogiikassa tämä saavutettiin lämmittämällä vettä päivittäin, mutta oikeassa käyttökohteessa veden lämpötilamittaus on suositeltavaa. Tällöin voidaan myös optimoida lämmitykseen käytettävää logiikkaa ottamalla huomioon veden käyttö.

Käytännön toteutuksessa voidaan hyödyntää joistain lämminvesivaraajista ja lämpöpumppuista jo löytyviä älykkään sähköverkon käyttöön tarkoitettuja liittimiä (NIBE AB Sweden, 2015; Scanvarm Oy Ab, 2015; Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2015; STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG, 2015). Älykkääseen sähköverkkoon liitettävissä laitteissa on liitännät, joiden kautta laitteille voidaan välittää tietoja sähköverkon tilasta. Laitteet tulkitsevat nämä tiedot ja muokkaavat toimintaansa ohjeiden mukaisesti. Ohjeista huolimatta laitteiston oma logiikka jatkaa toimintaansa, jolloin järjestelmän toiminnan turvallisuuteen ja mukavuuteen liittyvät tekijät säilytetään eikä esimerkiksi lämminvesivaraajan tapauksessa ongelmallista bakteerikasvustoa pääse syntymään.

Saksalaisessa laitestandardissa kommunikaatio on toteutettu kahdella sulkeutuvalla koskettimella, jolloin saadaan laitteistolle käyttöön neljä erilaista tilaa (Teknologisk Institut, 2015;



Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2015). Smart Grid Ready -standardin määrittelemät tilat ja niitä vastaavien koskettimien tilat on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 Smart Grid Ready -laitteen toimintatilat (NIBE AB Sweden, 2015).

Tila	Kuvaus	Kosketin 1	Kosketin 2
Estotila	"SG Ready" on aktiivinen. Lämpöpumpun kompressori ja lisälämpö estetään päivän tariffiestona.	Suljettu	Avoin
Normaalitila	"SG Ready" ei ole aktiivinen. Ei vaikuta järjestelmään.	Avoin	Avoin
Matalahintatila	"SG Ready" on aktiivinen. Järjestelmä keskittyy kustannussäästöihin ja voi esim. hyödyntää matalaa tariffia sähkötoimittajalta tai mahdollista ylikapasiteettia omasta virtalähteestä.	Avoin	Suljettu
Ylikapasiteettitila	"SG Ready" on aktiivinen. Järjestelmän annetaan käydä täydellä kapasiteetilla kun sähkötoimittajalla on ylikapasiteettia.	Suljettu	Suljettu

Taulukosta nähdään liitännän yksinkertaisuudesta huolimatta saatavat monipuoliset toimintatilat. Kun sähköä tuotetaan itse, voidaan Smart Grid Ready -standardia noudattava laite ohjata joko matalahinta- tai ylikapasiteettitilaan. Näissä tiloissa laite pyrkii käyttämään energiaa enemmän kuin normaalikäytössä. Jos sähkön tuotantoa ei ole, voidaan laitetta käyttää joko esto- tai normaalitilassa. Estotilassa laitteiston käynnistyminen estetään kokonaan. Normaalitilassa laite toimii samoin kuin se toimisi ilman mitään ulkoisia ohjaussignaaleja.

Käynnissä oleva esineiden internetin vallankumous on tuonut markkinoille useita edullisia ja pienikokoisia verkkoon kytkettäviä laitealustoja, joista käytännössä jokaisen prosessointiteho riittää esitetyn logiikan toteutukseen. Taulukossa 5.2 on esitetty neljällä releohjauksella varustetun, ja siten esimerkiksi Smart Grid Ready -standardia noudattavan esimerkkilaitteiston kustannukset.

Taulukko 5.2 Esimerkkilaitteisto ja komponenttien hinnat.

Komponentti	Käyttötarkoitus	Hinta [€ alv 0 %]
Raspberry Pi 2	Logiikkayksikkö	32,87 <sup>(1)</sup>
PiFace Relay+	Releohjain, 4 relettä	28,81 <sup>(1)</sup>
Siemens Sentron PAC3200	Energiamittari	452,00 <sup>(2)</sup>
Virtamuuntaja 3x60A/5A	Virtamuuntaja	117,00 <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Oy Farnell AB, 23.7.2015

<sup>2</sup> SLO Oy, 23.7.2015

Esimerkkilaitteiston selkeästi suurin kustannus syntyy kaksisuuntaiseen energian mittaukseen kykenevästä energiamittarista ja sen vaatimista virtamuuntajista. Logiikkaohjaukseen käytetyn laitteiston osuus kustannuksista on pieni, joka mahdollistaa useamman ohjausyksikön käytön yhden energiamittarin kanssa.

## 6. YHTEENVETO

Suomen mikrotuotannon pelisäännöt ovat vielä kehittymässä, joka näkyy mittaus- ja laskentatapojen standardoinnin puutteena. Tämä osaltaan rajoittaa mikrotuotannon yleistymistä, asettaen eri sähköyhtiöiden asiakkaat epätasa-arvoiseen asemaan. Tilanne on kuitenkin muuttumassa, joka on johtamassa nettolaskutuksen käyttöönottoon yhä suuremmissa määrin. Lämminvesivaraaja on suuri, päivittäin suhteellisen vakiona pysyvä kuorma. Tämän vuoksi lämminvesivaraaja soveltuu hyvin aurinkoenergian tuotannon mukaan automatisoitavaksi, jopa kellokytkimellä tapahtuvan ohjauksen parantavan tuotetun energian omakäyttöastetta merkittävästi. Työssä esitetty logiikka saavuttaa toivotut tulokset, laskien sähkönsiirtoa merkittävästi. Logiikka pohjaa vahvasti tuntinetotukseen, mutta soveltuu käytettäväksi myös perinteisillä laskutustavoilla. Lisäksi logiikkaa voidaan hyödyntää myös muihin, energiavaraston kaltaisiin laitteisiin, esimerkiksi ilmastointiin. Useampaa laitetta logiikalla ohjattaessa energian omakäytön osuus kasvaisi, erisuurien kuormien tarjotessa tarkemman tuotannon mukaisen optimoinnin. Älykkään sähköverkon tarpeisiin suunniteltujen laitteiden yleistyessä myös laitteisiin integroitujen ohjausliitäntöjen tarjonta kasvaa. Näiden ohjausliitäntöjen käytöllä varmistetaan laitteiden turvallinen toiminta, laitteen oman logiikan jatkaessa toimintaansa.

Esitellyn järjestelmän suurimpana ongelmana on luotettavan, kaksisuuntaisen energiämittauksen hinta. Samaa energiämittaria käyttäen voidaan kuitenkin ohjata useampia laitteita edullisilla logiikkayksiköillä, joten varsinkin useampia energiavarastoja hyödynnettäessä laitteiston hinta on kohtuullinen. Lisäksi järjestelmä tarjoaa mahdollisuuden energiansiirron reaaliaikaiseen monitorointiin, jonka avulla käyttäjä voi halutessaan ohjata kulutustaan myös manuaalisesti. Reaaliaikaisen monitoroinnin vaikutuksia on tutkittu ja niiden on todettu vaikuttavan käyttäjien kulutustottumuksiin (Allen & Janda, 2006).

Logiikkaa kehittämällä on myös mahdollista päästä parempiin lopputuloksiin. Esimerkiksi noutamalla sähkönpörssihinnat, voitaisiin lämminvesivaraajan lämmitys suorittaa vuorokauden halvimmillä tunneilla energiatarvoitteen jäädessä saavuttamatta. Logiikan käyttö reaaliaikaista mittausdataa hyödyntäen vaatii jatkokehitystä ja testausta. Työssä esitetty logiikka toimii myös reaaliaikaisella datalla, koska laskennalliset tulokset on saavutettu iteroimalla aikasarjaa.

## LÄHTEET

Adato Energia Oy, 2013. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. [viitattu 30.3.2015].

Saatavilla: [http://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2011\\_Tutkimusraportti.pdf](http://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_Tutkimusraportti.pdf)

Allen, D. & Janda, K., 2006. The Effects of Household Characteristics and Energy Use Consciousness on the Effectiveness of Real-Time Energy Use Feedback: A Pilot Study. Pacific Grove, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.

Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2015. SG Ready-Label - für das Smart Grid geeignete Wärmepumpen. [viitattu 10.7.2015]

Saatavilla: <http://www.waermepumpe.de/waermepumpe/qualitaetssicherung/sg-ready-label.html>

Edison Electric Institute, 2002. Handbook for Electricity Metering. 10th ed. Washington D.C.: Edison Electric Institute.

Energeno Ltd, 2015. Wattson Optiplug. [viitattu 26.5.2015].

Saatavilla: [http://smarthomeenergy.co.uk/sites/smarthomeenergy.co.uk/files/Optiplug\\_Brochure1.1.pdf](http://smarthomeenergy.co.uk/sites/smarthomeenergy.co.uk/files/Optiplug_Brochure1.1.pdf)

Energiateollisuus Ry, 2014. Liite 1: enintään 50 kVA tuotantolaitokset. Teoksessa: Sähkötuo-  
tantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. :Energiateollisuus Ry.

Energiavirasto, 2015. Sähkön hintatilastot. [viitattu 14.6.2015].

Saatavilla: <http://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Fortum Oyj, 2015. Kotona tuotetun sähkön myynti Fortumille. [viitattu 14.6.2015].

Saatavilla: <http://www.fortum.com/countries/fi/energiansaasto-ja-ratkaisut/oma-sahkontuotanto-pientuotanto-lahisahko/pages/default.aspx>

Helen Oy, 2015. Ylijäämän myynti. [viitattu 14.6.2015]

Saatavilla: <https://www.helen.fi/kotitalouksille/palvelumme/uudet-energiatuotteet/aurinko-peneelipaketit/pientuotannon-osto/>

Huoman, K., Kosonen, A. & Ahola, J., 2015. Intelligent control of solar power with water heating system. Helsinki, Suomen Automaatioseura.

Juuti, P. & Ala-Mettälä, H., 2012. Piensähkön myynti helpottuu ja hinta nousee. [viitattu 16.2.2015]

Saatavilla: [http://yle.fi/uutiset/piensahkon\\_myynti\\_helpottuu\\_ja\\_hinta\\_nousee/6220735](http://yle.fi/uutiset/piensahkon_myynti_helpottuu_ja_hinta_nousee/6220735)

KPMG Oy, 2014. Selvitys sähkön pientuotannon nettolaskutusmenettelystä. [viitattu 30.3.2015]

Saatavilla: [http://www.tem.fi/files/40774/KPMG\\_Sahkon\\_pientuotannon\\_nettolaskutusmenttely\\_23.6.2014\\_.pdf](http://www.tem.fi/files/40774/KPMG_Sahkon_pientuotannon_nettolaskutusmenttely_23.6.2014_.pdf)

Lappeenrannan Energia Oy, 2015. Sähkön ostohinnasto. [viitattu 14.6.2015]

Saatavilla: <http://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/Hinnastot/150609-LRE-sahkon-ostohinnasto-web%20%28ID%2070453%29.pdf>

LUT, 2015. Green Campus - Tuotantolukemia. [viitattu 12.1.2015]

Saatavilla: <http://www.lut.fi/green-campus/alykas-sahkoverkko-smart-grid/tuotantolukemia>

Motiva Oy, 2015. Lämmin vesi. [viitattu 17.6.2015]

Saatavilla: [http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_sahkolammitys/lamin\\_vesi](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_sahkolammitys/lamin_vesi)

NIBE AB Sweden, 2015. Asentajan käsikirja. [viitattu 15.6.2015]

Saatavilla: <http://www.nibe.fi/nibedocuments/14770/231561-4.pdf>

Nord Pool Spot, 2014. Market data. [viitattu 20.5.2015]

Saatavilla: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/>

Scanvarm Oy Ab, 2015. PWZS Nordic -mallisarja (esite). [viitattu 15.6.2015]

Saatavilla: [http://www.scanvarm.fi/sites/default/files/liitetiedostot/tuotteet/ait\\_pwzs\\_nordic\\_maalampopumput\\_a4.pdf](http://www.scanvarm.fi/sites/default/files/liitetiedostot/tuotteet/ait_pwzs_nordic_maalampopumput_a4.pdf)

SMA, 2015. SUNNY HOME MANAGER. [viitattu 24.5.2015]

Saatavilla: <http://www.sma.de/en/products/monitoring-control/sunny-home-manager.html>

STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG, 2015. MAP der Bundesregierung: Förderung für STIEBEL ELTRON Wärmepumpen. [viitattu 1.9.2015]

Saatavilla: <https://www.stiebel-eltron.de/de/home/produkte-loesungen/informieren-planen/marktanreizprogramm.html>

Teknologisk Institut, 2015. DREAM Phase 1 - Smart Grid Ready Equipment. [viitattu 19.6.2015]

Saatavilla: [http://www.teknologisk.dk/\\_/media/60051\\_Appendix%204%20Smart%20Grid%20Equipment%20med%20frontpage.pdf](http://www.teknologisk.dk/_/media/60051_Appendix%204%20Smart%20Grid%20Equipment%20med%20frontpage.pdf)

Valkeakosken Energia Oy, 2015. Kodin sähkönkulutus. [viitattu 15.1.2015]

Saatavilla: <http://www.valkeakoskenenergia.fi/Vinkit/Kodins%C3%A4hk%C3%B6nkulutus/tabid/2698/Default.aspx>