



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Litiumakun mitoitus kysynnänjouston näkökulmasta

Ville Pasanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Ville Pasanen

Litiumakun mitoitus kysynnänjouston näkökulmasta

2014

Kandidaatintyö.

24 sivua

Tarkastaja: Tkt Jukka Lassila

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan kuinka tulevaisuuden älykkäissä sähköverkoissa voidaan tasoittaa verkon kuormitusta energiavarastojen avulla pienkulutuksen osalta. Työssä käytiin aluksi läpi älykkäiden sähköverkkojen sovelluksia, jossa keskityttiin erityisesti kulutusjoustoon ja menetelmiin, joilla sitä voi toteuttaa.

Työssä käytettiin myös kulutusmittauksia kotitalouksista, joista luokiteltiin millaisia kuormituksia asunnon eri laitteet aiheuttivat vuorokauden aikana. Kulutusmittauksista tutkittiin kuinka paljon huipputehoa asunnosta voidaan leikata energiavarastojen avulla.

Kulutusmittauksista nähdään, että kuormitus on hyvin epätasaista ja tehopiikit ovat lyhytkestoisia, joten tehopiikkejen leikkaus voisi olla mahdollista energiavarastojen avulla. Työssä laskettiin, että asunnosta voisi leikata päivän huipputehoa merkittäviä määriä jo verrattain pienillä energiavarastoilla.

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AMR	Automatic meter reading
DSM	Demand side management
E	Energia
P	Teho
SOC	State of charge

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	3
1 JOHDANTO.....	5
1.1 Työn tavoitteet	5
2 ÄLYKKÄÄT SÄHKÖVERKOT	5
2.1 Taustaa	5
2.2 Etäluettavat mittarit	6
2.3 Kysynnänjousto	7
2.4 Kuormanohjaus	8
2.5 Energiavarastot.....	9
2.5.1 Akut	10
3 KULUTUSMITTAUKSET.....	11
3.1 AMR-mittareilla mitattu kulutus	11
3.1.1 Energiavaraston mitoitus	12
3.1.2 Energiavaraston käyttö AMR-mittarilla luetusta kuormituksessa	14
3.2 Tarkemmat mittaukset	15
3.2.1 Eri laitteiden aiheuttamat kuormat.....	15
3.2.2 Energiavarastojen käyttö huipputehon leikkaukseen.....	21
3.2.3 Muita vaihtoehtoja huipputehon leikkaukselle	22
4 YHTEENVETO	23
5 LÄHTEET.....	24

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tutkia ja selvittää energianvarastojen hyödyntämistä pienkulutuksessa tulevaisuuden älykkäässä sähköverkossa kysynnänjouston näkökulmasta. Työssä käydään läpi millaisia sovelluksia älykkäisiin sähköverkkoihin kuuluu ja miten kysynnänjoustoa voidaan toteuttaa älykkäässä sähköverkossa. Erityisesti töyssä on keskitytty tutkimaan kuinka energiavarastojen avulla voidaan leikata kulutuspiikkejä.

Työssä on tutkittu mitkä ovat tärkeimmät energiavarastojen ominaisuudet kulutusjoustossa, sekä kehitetty laskentaa, jolla voidaan mitoittaa energiavarastoa tehopiikkejä leikkaukseen.

Työssä käytetään myös kotitalouksista mitattuja kulutusmittauksia, joiden avulla tutkitaan miten näissä tapauksissa asuntojen kulutuspiikkejä voidaan leikata energiavarastojen avulla. Kulutusmittauksia mitattiin AMR-mittareilla tuntitasolla, sekä yksittäisestä asunnosta eri laitteiden kuormituksia pienemmältä aikaväliltä. Työssä tutkittiin millaisia kuormituksia asunnon eri laitteet aiheuttavat ja miten niiden aiheuttamia kulutuspiikkejä voidaan leikata energiavarastojen avulla.

2 ÄLYKKÄÄT SÄHKÖVERKOT

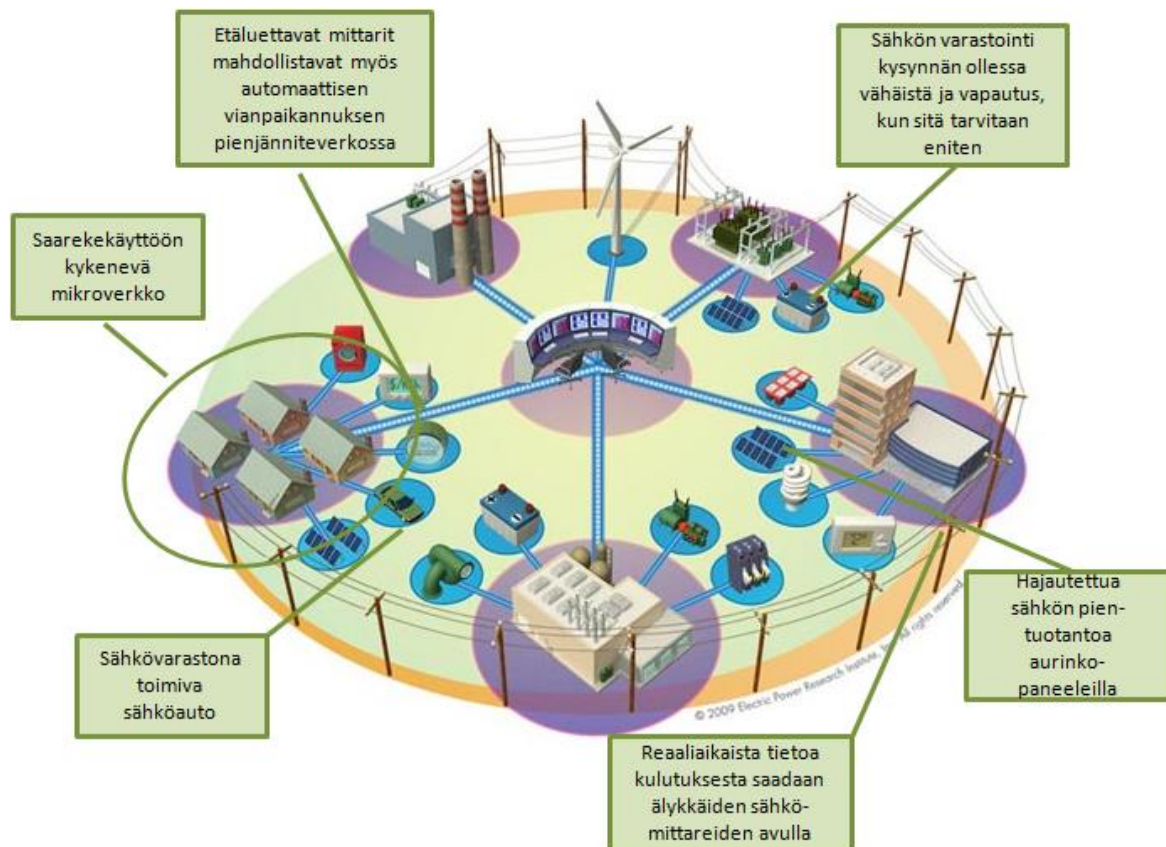
2.1 Taustaa

Älykkäistä sähköverkoista (Smart Grid) on olemassa monenlaisia eri määritelmiä, joiden tarkoituksena on parantaa sähköverkon toimintaa erilaisilla menetelmillä. ”Smart Grid”:lla voidaan tarkoittaa mitä tahansa näistä malleista, eli sillä ei ole yksiselitteistä määritelmää. Älykkäisiin sähköverkkoihin voi kuulua monenlaisia sovelluksia esim. energiavarastot, poiskytkettävät kuormat, sähkönkäyttäjien kuormanohjaus. Älykkään sähköverkon tarkoitus on parantaa verkon käyttövarmuutta, parantaa energiatehokkuutta ja vähentää sähköntuotannon, siirron ja käytön ympäristövaikutuksia. (Gellings 2009)

Nykyisen sähköverkon ja älykkään sähköverkon suurin ero on, että älykkäässä sähköverkossa on sähkönsiirron lisäksi myös tietoa, jota saadaan älykkäillä mittausjärjestelmillä, jolloin voidaan parantaa sähkönsiirron tehokkuutta ja luotettavuutta. Älykkäissä sähköverkossa tuotetaan nykyistä enemmän uusiutuvilla energianlähteillä hajautetusti tuotettua energiaa, jolloin kuluttajalla on nykyistä suurempi rooli sähkömarkkinoilla. (Sarvaranta 2010)

Älykkäissä sähköverkoissa tehoa kulkee myös kahteen suuntaan, eli kuluttajat voivat tuottaa pientutannon (tuuli, aurinko) avulla tehoa myös verkkoon päin ja heillä on paremmat mahdollisuudet osallistua sähkömarkkinoille. Älykkäässä sähköverkossa kuormitus on myös joustavampaa. (Gulich 2010)

Suurimpina haasteina älykkään sähköverkon kehitykselle on laitteistojen hinta ja halukkuus maksaa uusista järjestelmistä. Myös teknologian epävarmuus ja monimutkaisuus ovat haasteita älykkään sähköverkon kehittämiseksi. Kuvassa 2.1 on esitetty esimerkki älykkästä sähköverkosta (Gulich 2010)



Kuva 2.1 Esimerkki älykkästä sähköverkosta ja sen ominaisuuksista. (Sarvaranta)

2.2 Etäluettavat mittarit

Älykkäisiin sähköverkkoihin kuuluvat älykkäät erilaiset mittausjärjestelmät, esim etäluettavat mittarit. Etäluettavilla mittareilla voidaan siirtää tietoa molempiin suuntiin älykkäässä sähköverkossa sähkönkäyttäjän ja verkkoyhtiön välillä. Mittareiden päätoimintoja ovat mm.

- tuntienergiamittaus
- jännitteen laadun mittaus ja rekisteröinti (kertovat verkon todellisen tilan)

- keskeytysten rekisteröinti (tarkat asiakaskohtaiset keskeytystilastot)
- hälytykset (mm. sähkön syötön katkeaminen)
- sähkön etäkytkentä ja katkaisu
- kuormanohjaus

Etäluettavat mittarit mahdollistavat tuntienenergiamittauksen ja luovat edellytykset markkinapohjaiselle kysyntäjoustolle ja hajautetulle käyttöpaikkokohtaiselle tuotannolle, koska tuntitietoon perustuva mittarilukema saadaan automaattisesti ja arvioihin (kuormitusmalleihin) perustuvasta laskutuksesta voidaan luopua. Tämä kannustaakin kuluttajia seuraamaan omaa kulutustaan ja vähentämään sitä. (Sarvaranta)

2.3 Kysynnänjousto

Älykkäässä sähköverkossa voidaan toteuttaa sähkön kysynnän hallintaa (DSM, Demand Side Management), eli kysynnänjoustoa. Kysynnän hallinnalla tarkoitetaan erilaisia toimenpiteitä esim. poiskytkettävät kuormat, joilla voidaan tasoittaa kulutusvaihteluja erityisesti huippukuorman aikaan. Kysynnän hallinta voi olla hyödyksi esimerkiksi seuraavissa asioissa:

- Kulutushuippujen pienenemisen vuoksi voidaan vähentää huippukulutus kapasiteettin rakentamisen tarvetta ja sen käyttöä
- Pienentämällä kulutusta sähkön korkean hinnan aikaan voidaan pienentää hintapiikkejä ja sähkönhankintakustannuksia
- Kysynnän hallinnalla voidaan kompensoida hajautetun tuotannon (tuuli, aurinko) vaihteluita
- Kysynnän hallinnalla voidaan myös vähentää energian kulutusta. (Savolainen 2008)

Kysyntäjousto voidaan jakaa vapaaehtoiseen ja pakotettuun kysyntäjousto. Vapaaehtoisessa kysyntäjoustopaikassa kuluttaja vähentää kulutustaan vapaaehtoisesti sähkönhinnan noustessa. Kuluttaja voi sopia sopivien kuormien esim. lämmivesivaraajan ohjauksesta verkonhaltijan tai sähkömyyjän kanssa. Kulutusta voidaan ohjata tällöin etäluettavalla mittarilla. Kysyntäjoustopaikka voidaan hyödyntää myös tehopula tilanteissa, jolloin esim. verkonhaltijat toteuttavat kysyntäjoustopaikka pakotetusti leikkaamalla kulutusta. Kysyntäjoustopaikka voidaan käyttää teollisuudessa ja pienkulutuksessa esim. sähkölämmittäjät. (ET 2009)

Energian reaaliaikainen mittaaminen on välttämätöntä DSM:n toteuttamiseen. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma, koska sähkökäyttäjillä on jo AMR-järjestelmät (automaattisen mittariluvun järjestelmät, Automatic meter reading), jotka mahdollistavat tarkan kulutusmittauksen ainakin tuntitasolla. (Savolainen 2008)

Sähkön käyttäjien kysynnänjousto tulisi tapahtua automaattisesti ja vaivattomasti, joka edellyttää rakennus-, prosessi- ja kotiautomaation kehittymistä. On oletettavissa, että kuluttajilla on tarvittavat järjestelmät vuoteen 2050 mennessä. (Savolainen 2008)

Energiavarastot tulevat olemaan merkittävässä roolissa sähkön kulutus- ja tuotantovaihtelujen tasaamisessa. Sähköön liittyvät varastointitekniologiat sisältävät paljon erilaisia teknologioita esim. erilaiset akut, vauhtipyörät ja superkondensaattorit. Monet näistä teknologioista ovat vielä kehitysasteella ja niiden soveltaminen energijärjestelmissä on yhä epävarmaa. (Savolainen 2008)

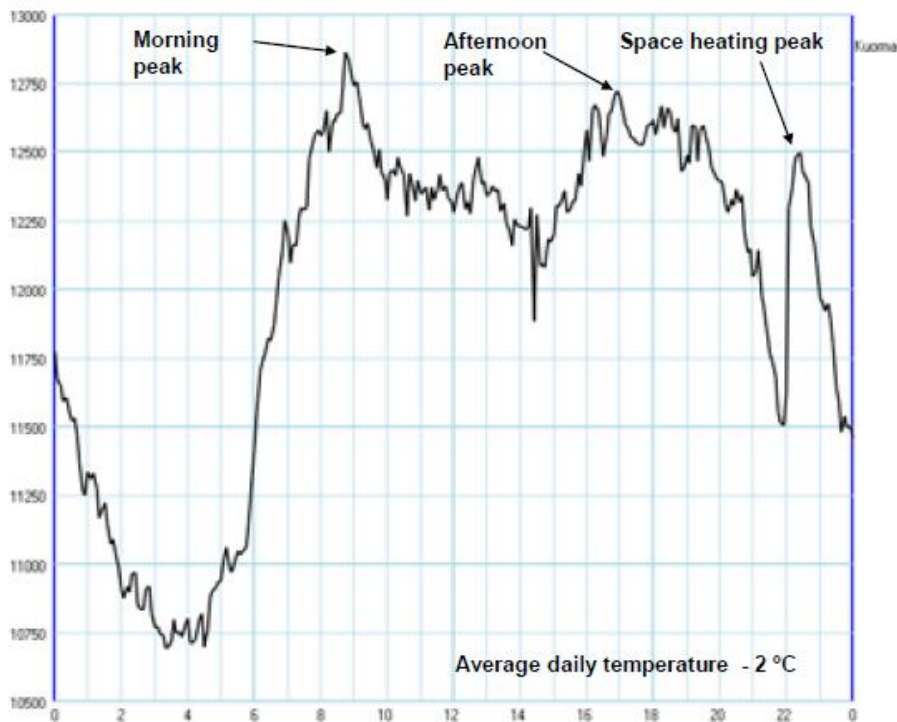
Energiavarastoja voidaan käyttää kysynnänjoustossa lataamalla niitä pienen kulutuksen aikaan ja ottamalla niistä energiaa kulutushuipun aikaan, jolloin kulutusvaihtelu tasaantuu. Energiavarastoja voitaisiin myös ladata paikallisella tuotannolla kuten aurinko- ja tuulienergialla silloin kun energian kulutus ei ole suuri. Tämä ei kuitenkaan ole vielä juurikaan käytössä. (Gellings)

Älykkäässä sähköverkossa voidaan käyttää myös sähkö- ja hybridautojen älykästä latausjärjestelmää tasaamaan kulutusta. Sähköautot tarjoavat myös potentiaalisen mahdollisuuden huippukulutuksen leikkaamiseen, jos niiden energiavarastot saadaan syöttämään tehoa verkkoon päin. (Savolainen 2008)

2.4 Kuormanohjaus

Sähköyhtiölle paras tilanne olisi sellainen, jossa kuormitus pysyisi vakiona ajasta riippumatta. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, koska kuormitus määräytyy tarpeen mukaan esimerkiksi kotitalouksien kulutushuiput sattuvat yleensä arki illoille ja viikonloppuisin, kun ihmiset ovat kotona ja useita sähkölaitteita on päällä. Kulutuksen epätasaisuus aiheuttaa sähköverkolle haittoja ja verkko on mitoitettu kestäväksi huippukulutus. Jos kulutus olisi tasaisempaa voitaisiin verkon resursseja käyttää hyödyllisemmin. Kuormitusta ohjaamalla saadaan kulutuspiikkejä leikattua ja kuormitus ohjattua tasaisemmin. (Söyrinki)

Sähkön käyttö pienkulutuksessa jakautuu Suomessa tyypillisenä talvipäivänä, jolloin tarvitaan lämmitystä, niin että päivän aikana syntyy kolme eri tehopiikkiä. Piikit ovat aamulla työpäivän alettua, iltapäivällä kotiintulon aikaan ja illalla noin klo 22, kun käytetään nykyistä kuorman ohjausta. Kulutus esimerkki on esitetty kuvassa 2.2, josta nähdään eri tuntien kulutuspiikit. (ET 2007)



Kuva 2.2 Esimerkki sähkön kulutuksesta pienkäyttäjillä. Kulutus on mitattu 5.1.2006 päivän eri tuntien aikana (ET 2007)

Viimeaikoina kuormanohjaus on lisääntynyt pienkuluttajilla. Rajoittavana tekijänä on usein tekniikka, joka vaatisi kehittämistä ennen kuormanohjauksen tehokasta käyttöä. Yksittäisen kuluttajan kuorma on myös liian pieni vaikuttaakseen koko verkon tilanteeseen, joten pienkuluttajia ohjataan ryhminä esim. yhden sähköyhtiön kaikkia kuormanohjaukseen kuuluvia asiakkaita. Nykyään pienkuluttajia ohjataan yleensä vuorokauden aikaan pohjautuvan hinnoittelun avulla eli esimerkiksi yönsähkötariffilla, jossa yöaikaan tarjotaan halvempaa sähköä. Yleisimmät ohjattavat kuormat pienkäyttäjillä ovat sähkölämmitys ja käyttöveden lämmitys. (Söyrinki)

2.5 Energiavarastot

Energiavarastoja voidaan käyttää lisäämään kysynnänjoustoa älykkäässä sähköverkossa kuormanohjauksen lisäksi. Energiavarastoja voidaan myös käyttää varavoimana tehopulatilanteessa.

Energiavarastoilla on monenlaisia ominaisuuksia, joilla niitä voidaan vertailla keskenään. Tärkeimmät ominaisuudet ovat esimerkiksi energiatiheys, tehoteho, hyötysuhde, jännite, itsepurkautumisnopeus, lataussyklejen määrä, elinikä ja hinta (€/kWh). Tärkeimmät ominaisuudet energiavaraston valitsemisessa on energiatiheys ja tehoteho, jotka kertovat tarvittavan energiavaraston määrän kun tiedetään tarvittava energia ja teho. Myös energiavaraston lataussyklien määrä ja elinikä vaikuttavat paljon energiavaraston valintaan, kun niitä tarvitaan

paljon lataus –ja purkaussyklejä sisältävään sovellukseen. Energiavaraston latausaika tulisi myös olla lyhyt, jotta varasto olisi nopeasti uudelleenkäytettävissä. (Eskola 2010, 2011)

Energiavarastoja voivat olla esimerkiksi eri tyyppiset akut, superkondensaattorit, suprajohtava magneettinen energiavarasto (SMES), polttokennot ja vauhtipyörät. Akuilla on tyypillisesti korkea energiatiheys mutta pienehkö tehotiheys verrattuna esim superkondensaattoriin, joten akkuja käytetäänkin sovelluksiin, joissa tarvitaan pitkäaikaista energian käyttöä tai talteenottoa. (Eskola 2010)

2.5.1 Akut

Erilaisia akkutyyppejä ovat esimerkiksi perinteinen lyijyakku, Litium-ioni akku (Li-ion) ja nanoteknologiaan perustuvat Litium akut.

Lyijyakku on paljon käytetty akkutyyppeistä sen halvan hinnan vuoksi. Lyijyakulla on kuitenkin melko huono energiatiheys, tehotiheys ja elinikä verrattuna muihin akkutyyppeihin. Lyijyakuilla on myös suuri massa, johtuen lyijyn suuresta tiheydestä. Lyijyakku soveltuu hyvin sovelluksiin, joissa keskinkertaiset ominaisuudet riittävät ja tavoitellaan halpaa hintaa esim. auton käynnistysakut. (Eskola 2011).

Litium-ioniakkujen käyttö on kasvanut nopeasti 2000-luvulla akkutekniikan kehittymisen myötä. Litium-ionakuilla on hyvä energia –ja tehotiheys verrattuna muihin akkutyyppeihin. Li-ionakuilla on myös hyvä hyötysuhde ja latauskertojen määrä on myös korkea. Li-ioni akun huonona puolena on sen korkeampi hinta verrattuna esim. lyijyakuun. Li-ioniakku tarvitsee myös ylläpidon, joka nostaa niiden hintaa. Lyijyakun ja Litium-ioni akun ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.1

Taulukko 2.1 Lyijyakun ja Li-ion akun ominaisuudet. DOD (Depth of discharge) on purkauksen syvyys (Eskola 2011)

	Lyijyakku	Li-ionakku	
Energiatiheys	25-50	90-190	Wh/kg
Tehotiheys	75-130	300-1000	W/kg
Hyötysuhde	80	95	%
Elinikä (80% DOD)	200-300	1000-3000	sykliä
Latausaika	2 - 8	2 - 3	h
Kennojännite	2	2,5-4,5	V

Li-ion akun hyvien ominaisuuksien vuoksi se saattaisi soveltua hyvin älykkäiden sähköverkkojen energiavarastoksi esim. huipputehon leikkaukseen ja kulutuksen vähentämiseen korkean sähkön pörssihinnan aikaan. Taulukosta 2.1 huomataan että Li-ion akku olisi lyijyakkua parempi valinta. Akkuteknologian kehityksen myötä myös akkujen hinnat saattavat laskea ja ominaisuudet kuten

energia –ja tehoitiheys parantua, jolloin myös akkujen käyttö älykkäässä sähköverkossa on kustannustehokkaampaa.

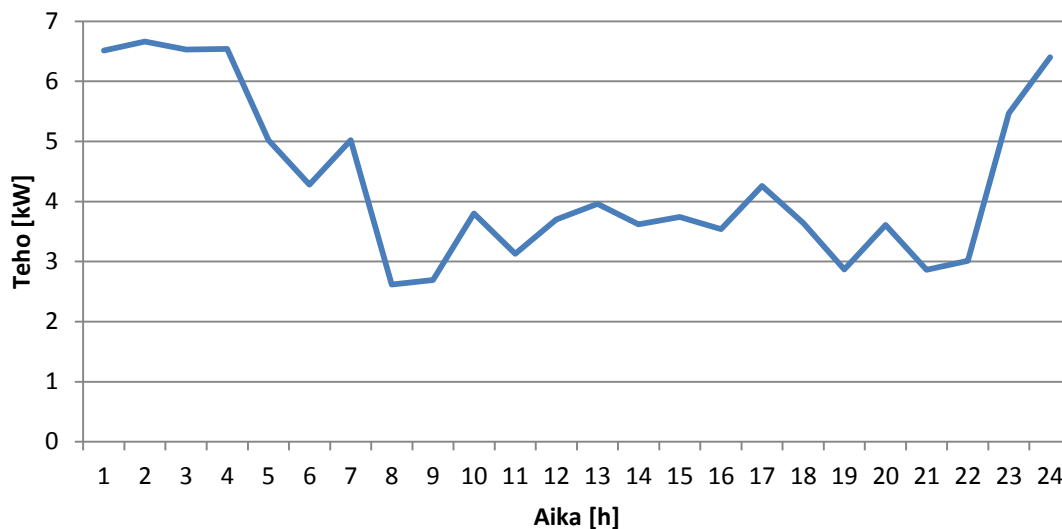
3 KULUTUSMITTAUKSET

3.1 AMR-mittareilla mitattu kulutus

Työssä käytetään AMR-mittareilla mitattua kuormitusdataa pienkulutuksesta. Kuormitus on mitattu tuntitasolla. Käytettävissä on myös ilman lämpötilat kyseiseltä alueelta, koska sillä on suuri vaikutus kulutukseen lämmityksen vuoksi. Kuormitusta tutkitaan kulutusjouston näkökulmasta ja kuinka Li-ion akkua voitaisiin hyödyntää kyseisessä tilanteessa.

Kulutukseen vaikuttaa lämmitysmuoto, lämpötila, ihmisten tottumukset ja eri sähkölaitteiden käyttö

Kuvassa 3.1 on esitetty tuntitasolla mitattu esimerkki vuorokauden kulutuksesta sähkölämmiteisestä asuinrakennuksesta. Mittaushetkellä ilman lämpötila oli matala, joten kulutus oli sähkölämmityksen vuoksi korkeaa.

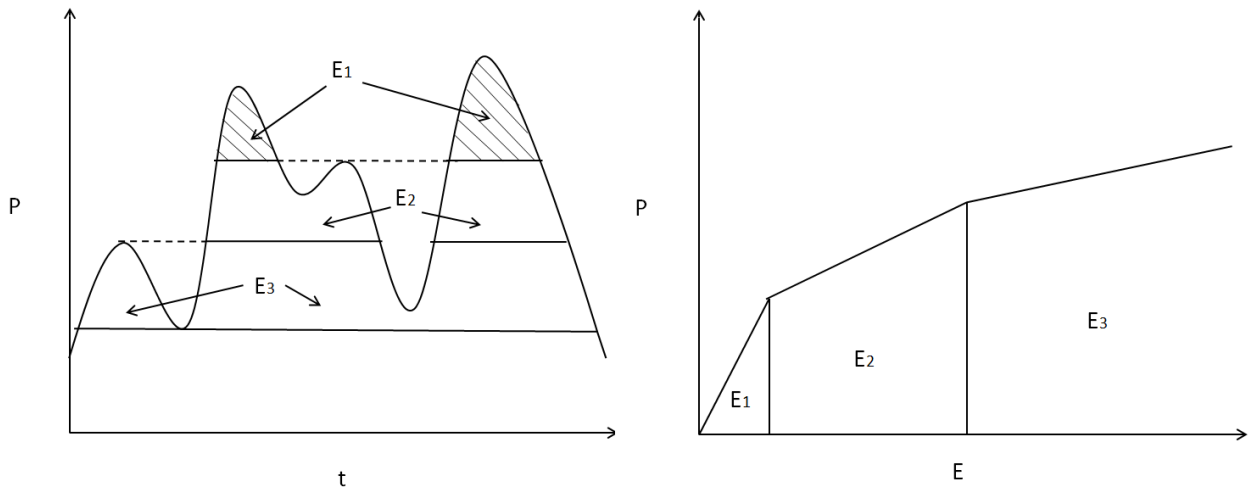


Kuva 3.1 AMR-datasta otettu esimerkki varaavasta sähkölämmityksestä 8.2.2007 arkipäivältä, Y-akselilla Teho P [MW] ja X-akselilla päivän tunnit.

Kuvasta 3.1 nähdään, että kulutus ei ole tasaista. Kuormitus piikit johtuvat esimerkiksi asunnossa olevien laitteiden käytöstä eri aikoina. Peruskuormitusta, joka ei näy piikkeinä ovat esimerkiksi sähkölämmitys ja erilaiset laitteet, jotka ovat kokoajan päällä esim. jääkaappi, pakastin ja eri laitteiden valmiustilat.

3.1.1 Energiavaraston mitoitus

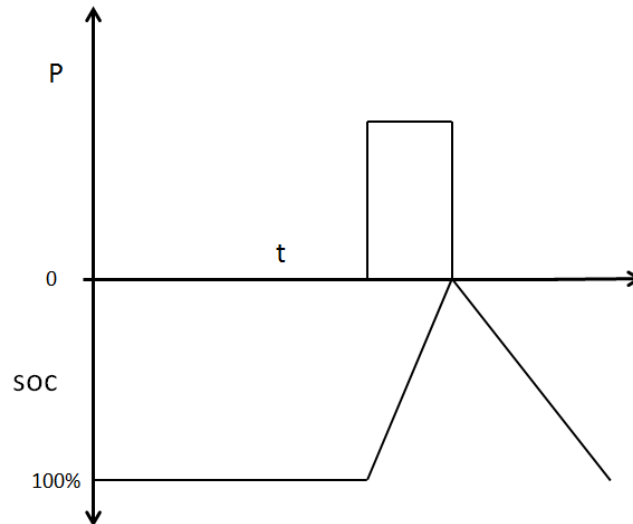
Tehopiikkejien leikkaukseen käytettävä energiavarasto voidaan mitoittaa laskemalla korkeimmalla olevien tehopiikkejien energiat. Energian laskeminen onnistuu kun tiedetään piikkejien tehot ja kestoajat. Kuvassa 3.2 on esitetty esimerkki kuinka energiat voidaan laskea.



Kuva 3.2 Energiavaraston mitoitus esimerkki. Vasemmalla puolella on y-akselilla kuormitusteho ja x-akselilla aika. Oikealla puolella on esitetty kuinka vasemman puolen kuvasta voidaan leikata huipputehoa eri kokoisilla energiavarastoilla. Oikean puolen kuvassa y-akselilla on huipputehon leikkaus ja x-akselilla leikkaukseen vaadittavan energiavaraston koko.

Kuvan 3.2 esimerkin mukaisesti voidaan laskea korkeimmalla olevien huippujen leikkamiseen vaadittavan energiavaraston koko. Alueen energia voidaan laskea kertomalla alueen keskiteho ajalla. Kun ylimpänä olevat energiat E_1 on laskettu voidaan laskea alempana olevien alueiden energiat E_2 ja E_3 . Laskettujen energioiden avulla voidaan muodostaa kuvassa oikealla oleva käyrä, jossa y-akselilla on tehon muutos, jonka laskettujen energioiden kokoiset energiavarastot aiheuttaisivat. Kuvasta voidaan lukea millaisia tehoja eri kokoisilla energiavarastoilla voidaan leikata kuormituksesta. Tällaisessa laskennassa ei kuitenkaan tule huomioida miten akun varaustila käyttäytyy esim. voidaanko energiavarastoa ladata kuormitusten välissä ja onko koko varasto aina käytettävissä piikkejien kohdalla.

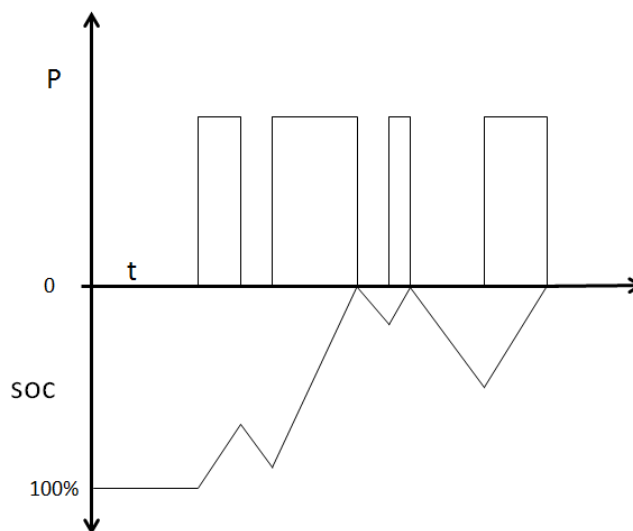
Yksittäiselle kuormituspiikille mitoitettu energiavarasto oletetaan olevan täyteen ladattu ennen kuormituksen alkua. Energiavaraston varaus käytetään kokonaan kuormituksen aikana Kuvan 3.3 mukaisella tavalla.



Kuva 3.3 Energiavaraston varaus yksittäisen kuormituspiikin tapauksessa. Y-akselilla on ylhäällä teho ja alhaalla energiavaraston varaustila SOC (state of charge).

Kuvan 3.3 mukaisesti yhdelle kuormituspiikille mitoitetussa energiavarastossa käytetään sen varaus kokonaan kuormituksen aikana. Kuormituksen jälkeen ladataan energiavarasto seuraavaa tehopiikkiä varten.

Kuormituksen ollessa monimutkaisempaa vaikeutuu energiavaraston käytön suunnittelu. Kuvassa 3.4 on esitetty miten varaustila voisi käyttäytyä syklittäisellä kuormituksella, jollaisia jotkut laitteet saattavat aiheuttaa.



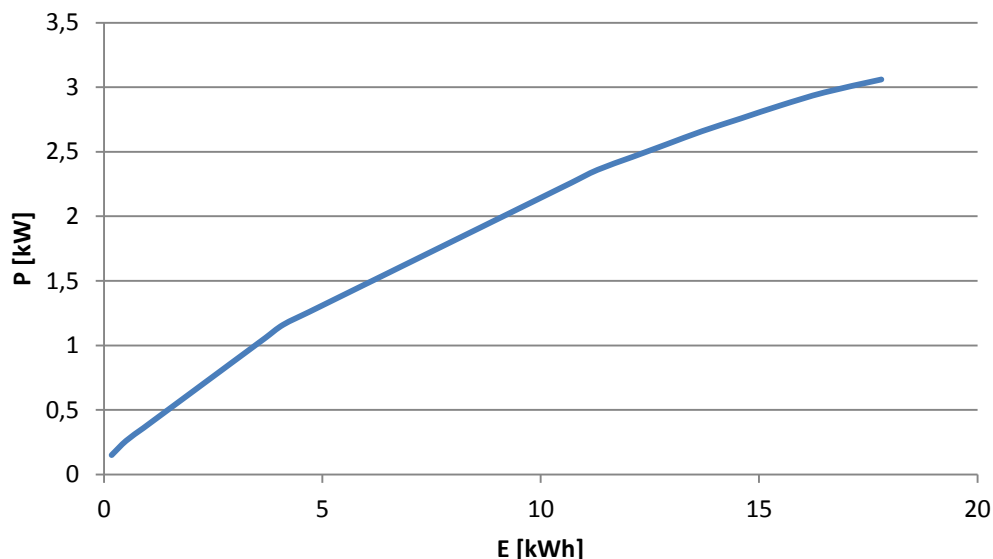
Kuva 3.4 Esimerkki energiavaraston varaustilan (SOC) käyttäytymisestä syklittäisessä kuormituksessa.

Kuvan 3.4 mukaisissa kuormituksissa energiavarastoa voidaan ladata kuormituspiikkejen välissä, jolloin varausta ei välttämättä käytetä kokonaan ensimmäisessä piikissä, jotta seuraaviin piikkeihin

riittä varausta. Kuvan mukaiselle kuormitukselle energiavarastoa suunnitellessa olisi hyvä tietää etukäteen millaista seuraavan hetken kuormitus tulisi olemaan, jotta energiavarastoa saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Tämä vaatisi, että energiavarastojärjestelmä ohjelmoitaisiin käyttäytymään tehokkaasti tulevien kuormituspiikkejä mukaan esim. järjestelmä voisi oppia edellisistä samankaltaisista kuormituksista tai jos kuormituksen muoto tiedetään ennalta niin järjestelmä voidaan ohjelmoida sen mukaan.

3.1.2 Energiavaraston käyttö AMR-mittarilla luetusta kuormituksessa

Kuvassa 3.5 on esitetty kuinka Kuvan 3.1 mukaisesta AMR-mittarilla mitatusta kuormituksesta olisi mahdollista leikata huipputehoa pois energiavarastoilla käyttäen aiemmin esitettyä laskentaperiaatetta.



Kuva 3.5 Huippukuormituspiikin leikkaus. Y-akselilla tehon P muutos [kW] ja X-akselilla akun energiamäärä E [kWh].

Kuvasta 3.5 nähdään, että kyseisessä tilanteessa jo pienellä energiavarastolla olisi mahdollista leikata kulutushuippua. Kulutushuipun leikkaus vaikeutuu mitä mitä korkeampaa tehoipikettä yritetään leikata, joten suurimpien tehojen leikkaus energiavarastoilla ei ole enää kustannustehokasta

Nämä mittaukset soveltuvat kuitenkin huonosti tehonleikkauksen tarkasteluun, koska ne on mitattu vain tuntitasolla, eli mittaukset näyttävät vain jokaisen tunnin keskitehon, joten niistä ei saada selville esim. eri laitteiden aiheuttamia kuormituksia. Näistä mittauksista ei myöskään saada tarkasti selville energiavaraston käytön mahdollisuuksia, joten voidaan tehdä vain karkea arvio kuinka paljon energiavarastolla voidaan leikata kulutus huippua.

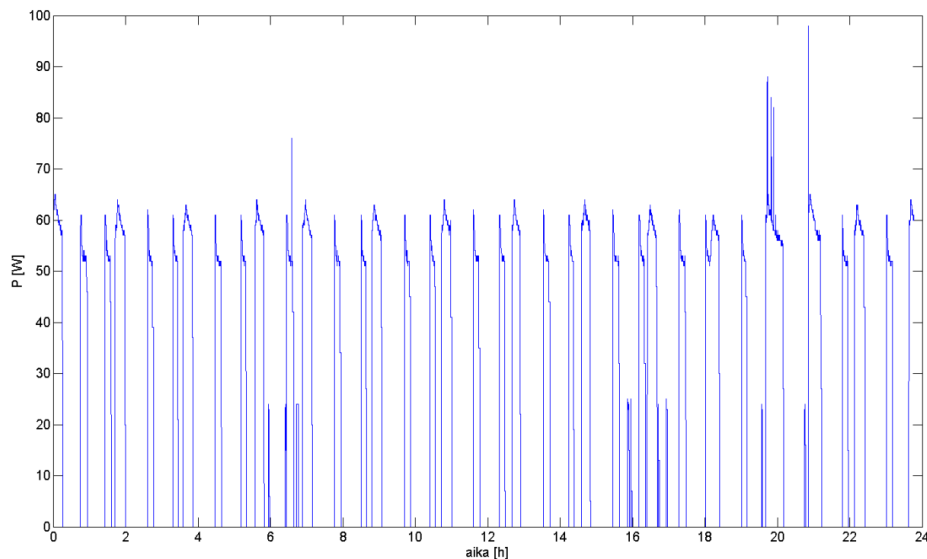
3.2 Tarkemmat mittaukset

Työssä on käytössä myös tarkempia, noin 6 sekunnin tarkkuudella mitattua kuormitusta erään asunnon eri laitteista. Mittausdataa on käsitelty MatLab-ohjelmalla, jossa kuormitustiedot on luettu tekstitiedostosta ja järjestelty ne eri laitteiden mukaan. Lisäksi mittaustuloksista jouduttiin poistamaan erilaiset mittausvirheet. Työssä käydään läpi asunnon eri kuormitukset ja mitkä kuormat aiheuttavat huipputehon kyseisessä asunnossa. Tutkitaan myös miten energiavarastoja voitaisiin hyödyntää kyseisessä tilanteessa.

Mitatut kuormitukset ovat jääkaappi-pakastin, ilmankuivain, kaukolämpölaitteet, liesi, kahvinkeitin, tiskikone, TV, auton lämmitys ja eri huoneiden valaistukset.

3.2.1 Eri laitteiden aiheuttamat kuormat

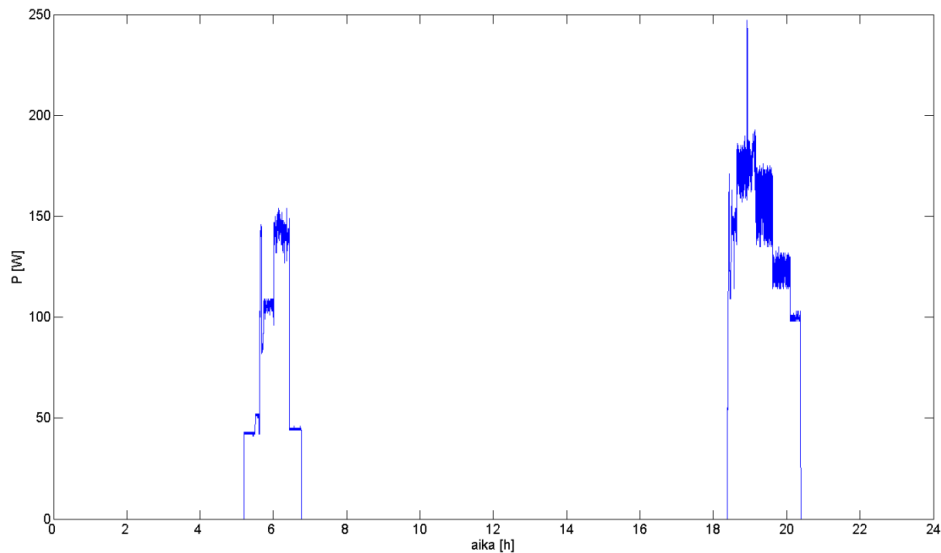
Työssä käydään läpi millaisia kuormituksia eri laitteet aiheuttavat. Mittaukset on otettu yhden vuorokauden ajalta. Kuvassa 3.6 on esitetty jääkaapin aiheuttama kuormitus.



Kuva 3.6 Jääkaappi-pakastimen tehonkulutus vuorokauden ajalta. X-akselilla on mittaushetki ja Y-akselilla teho [W]

Kuvasta 3.6 nähdään, että jääkaapin kuormitus ei ole tasaista, vaan se on tietyin väliajoin toistuvia noin 60W lyhytkestoisia piikkejä. Keskiteho on kuitenkin vain 18,6W, koska teho on suuren osan aikaa nolla. Energian kulutus vuorokaudessa on noin 450Wh.

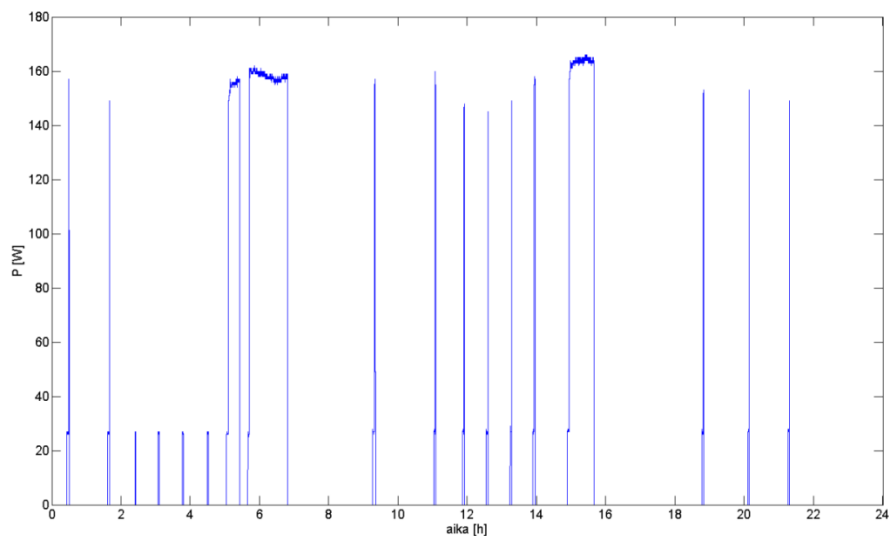
Kuvassa 3.7 on esitetty valaistuksen aiheuttama kuormitus.



Kuva 3.7 Valaistuksen aiheuttama kuormitus vuorokauden ajalta

Kuvan 3.7 Mukaisesti valaistuksen aiheuttamat piikit riippuvat lamppujen tehosta ja milloin niitä käytetään.

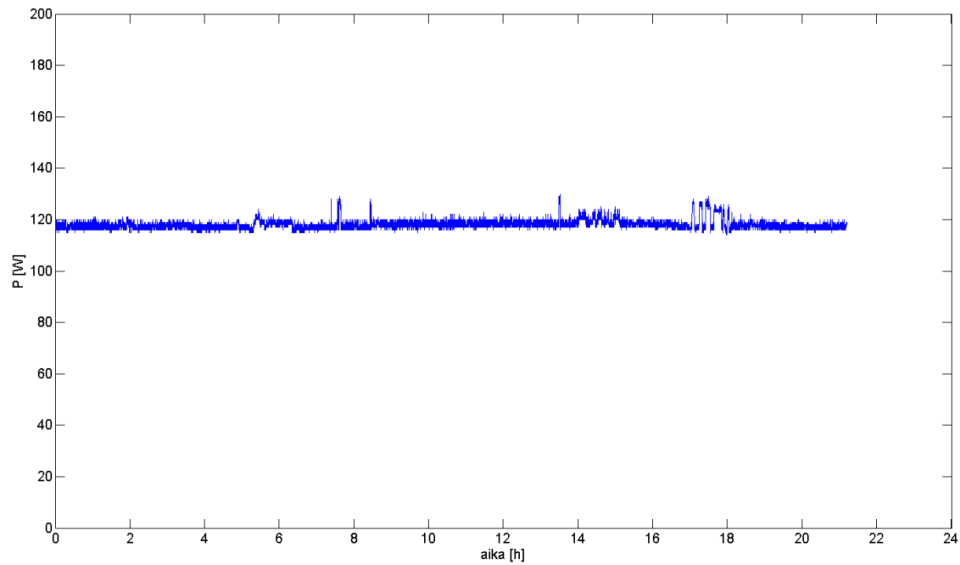
Kuvassa 3.8 on esitetty ilmankuivaimen teho. Ilmankuivainta on käytetty lähinnä pyykinkuivaukseen



Kuva 3.8 Ilmankuivaimen kuormitus vuorokauden ajalta

Kuvan 3.8 Mukaan ilmankuivain aiheuttaa päivän aikana vain muutamia lyhytkestoisia piikkejä ja muulloin kuormitus on nolla.

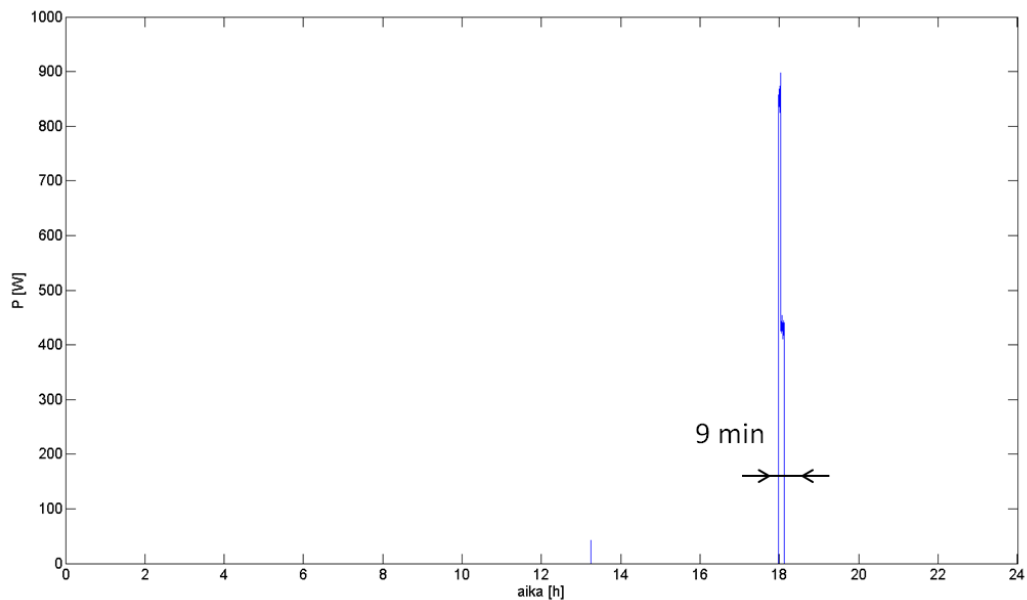
Kuvassa 3.9 on esitetty kaukolämpölaitteiden aiheuttama kuormitus. Kaukolämpölaitteisiin kuuluu kaksi vesipumppua ja niiden säätimet



Kuva 3.9 Kaukolämpölaitteiden aiheuttama kuormitus vuorokauden ajalta

Kuvasta 3.9 nähdään, että kaukolämpölaitteet aiheuttavat jatkuvan noin 120 W kuorman. Tässä ei ole suuria piikejä, joten tätä ei ole järkevää leikata energiavarastoilla vaan se muodostaa kaikkien laitteiden summatehosta peruskuorman.

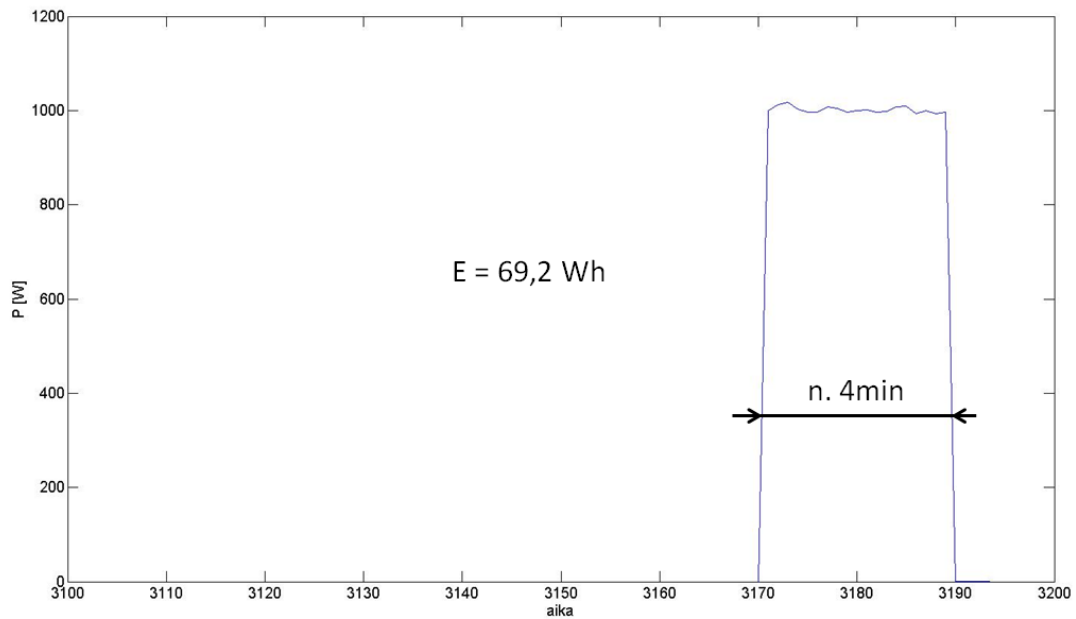
Kuvassa 3.10 on esitetty liedin aiheuttama kuorma.



Kuva 3.10 Liedin aiheuttama kuorma vuorokauden ajalta

Kuvasta 3.10 nähdään, että liesi aiheuttaa suuritehoisen ja lyhytkestoisen piikin kun se on päällä. Tällaisia kuormituksia olisi hyödyllistä leikata energiavaraston avulla, jos ne aiheuttavat huippukuormituksen, koska teho on suuri ja energia pieni.

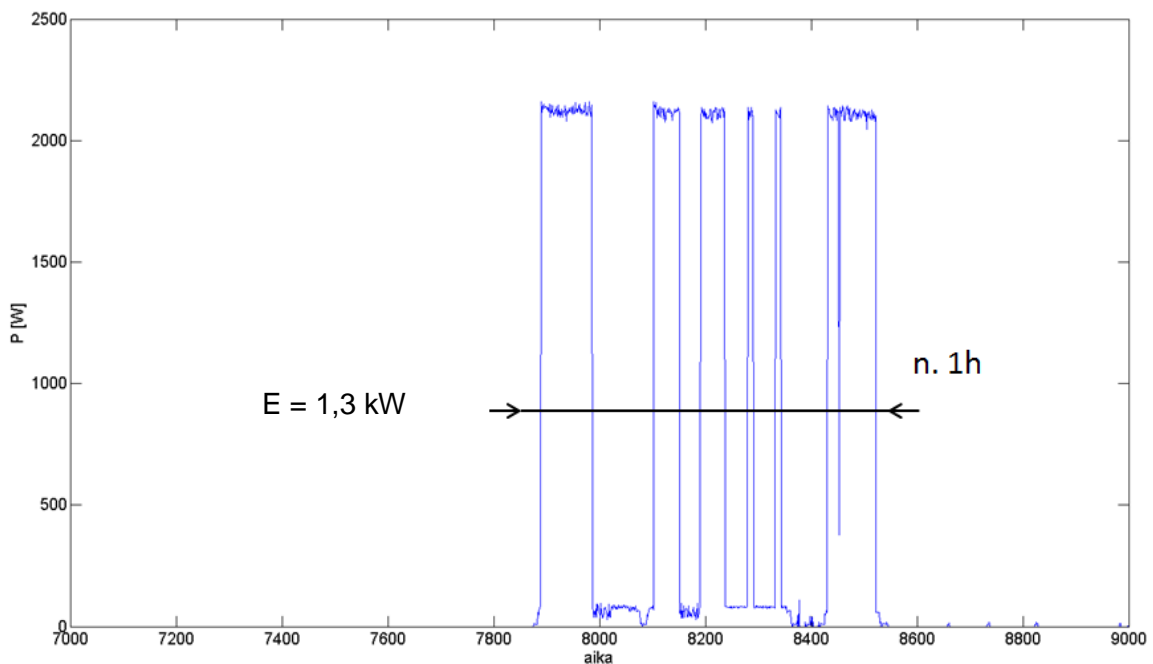
Kuvassa 3.11 on esitetty kahvinkeitin aiheuttama kuorma



Kuva 3.11 Kahvinkeitin aiheuttama kuorma lähempää tarkasteltuna. Kuormitus kestää noin 4 minuutin ajan, eli kuvassa ei esitetä koko vuorokautta.

Kuvasta 3.11 nähdään, että kahvinkeitin aiheuttaa tasaisen noin 1 kW kuormituksen kun se on päällä. Kuormitus on saman tapaista kuin liedellä, joten tätäkin kuormaa voitaisiin leikata energiavaraston avulla.

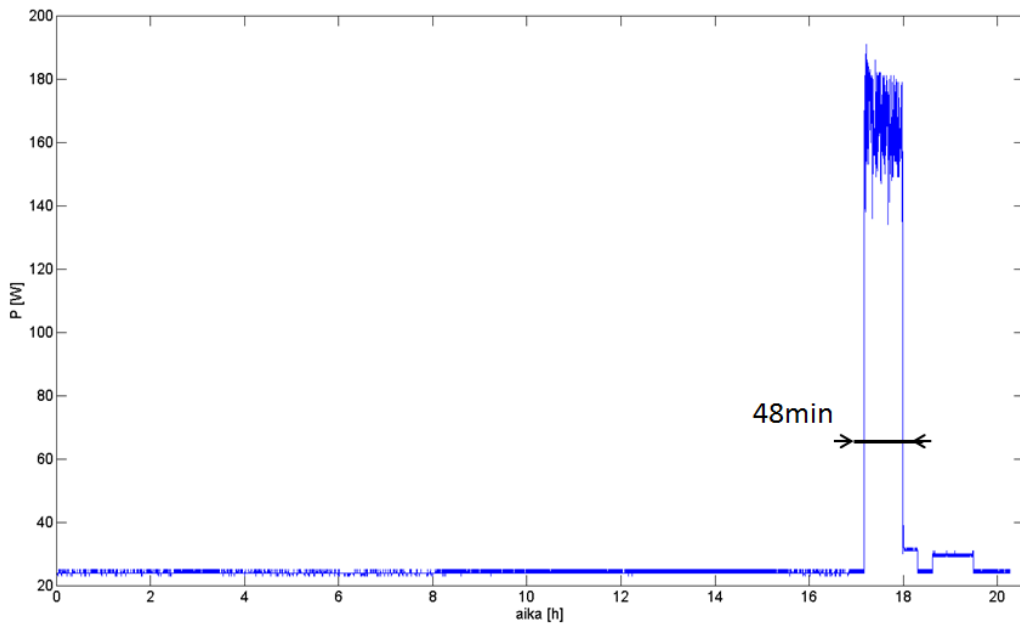
Kuvassa 3.12 on esitetty tiskikoneen tehonkulutus yhden pesuohjelman ajalta.



Kuva 3.12 Tiskikoneen kuormitus yhden pesun ajalta.

Kuvasta 3.12 Mukaan tiskikone aiheuttaa pesuohjelman aikana vaihtelevaa kuormitusta, jossa huiput ovat noin 2 kW tasolla. Tässä kuormitusta voitaisiin tasoittaa esimerkiksi lataamalla energiavarausta huippujen välillä ja käyttämällä sitä huipputehon aikoina, jolloin energiaa käytettäisiin kuitenkin saman verran mutta huipputeho olisi pienempi.

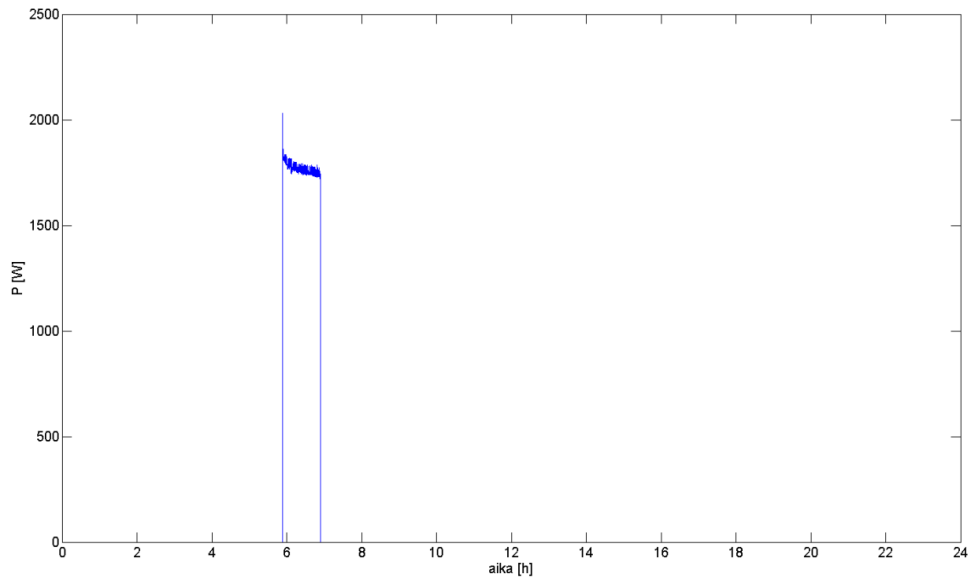
Kuvassa 3.13 on esitetty TV:n aiheuttama kulutus



Kuva 3.13 TV:n aiheuttama kuorma vuorokauden ajalta

Kuvan 3.13 mukaisesti TV aiheuttaa pientä kuormitusta kun se on valmiustilassa. Kun TV on päällä niin kuormitus on suurempaa.

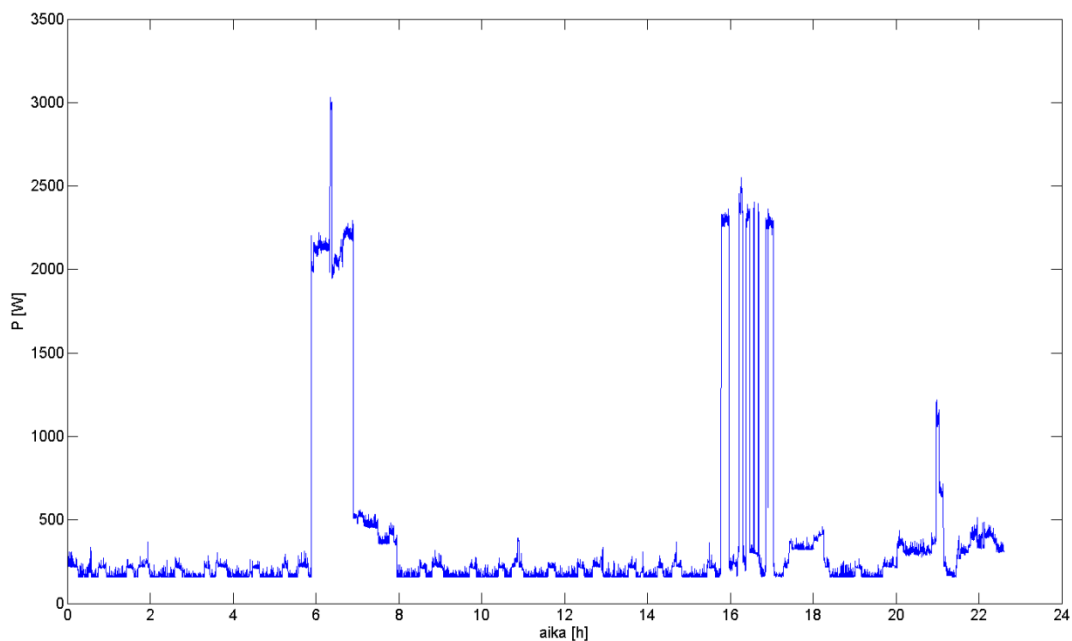
Kuvassa 3.14 on esitetty autonlämmittimen aiheuttama kuormitus



Kuva 3.14 Autonlämmittimen aiheuttama kuormitus vuorokauden ajalta

Kuvasta 3.14 nähdään, että autonlämmitin aiheuttaa suuren kuormituksen, kun se on päällä. Kyseisessä tilanteessa huipputeho on noin 2 kW, joka on yksi kyseisen asunnon suuritehoisimmista laitteista tiskikoneen lisäksi. Tämän kuormituksen leikkaus onnistuisi myös energiavarastoa käyttämällä, koska käyttö on lyhytaikaista ja energiavarastoa voidaan ladata muulla hetkellä kun autonlämmitin ei ole käytössä.

Kuvassa 3.15 esitetään summateho kaikista asunnon kuormista. Kuvasta nähdään hyvin mitkä laitteet aiheuttavat suurimman kuorman.

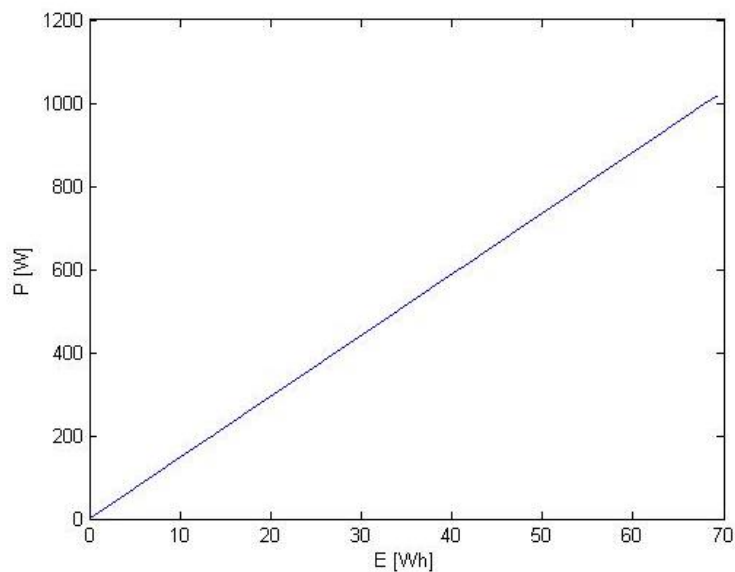


Kuva 3.15 Asunnon kokonaiskuormitus vuorokauden ajalta

Kuvasta 3.15 nähdään, että asunnon kokonaistehonkulutus on hyvin epätasaista. Tästä nähdään myös paremmin tehon todellinen kulutus ja epätasaisuus kuin kuvan 3.1 mukaisesta tuntikeskiarvojen mittauksesta. Huipputeho on noin 3 kW ja keskiteho on vain 375 W. Energian kulutus vuorokauden aikana oli noin 9 kWh. Suurimman tehopiikin aiheuttaa aamulla kun autonlämmitin ja kahvinkeitin ovat yhtä aikaa päällä. Myös tiskikoneen käyttö aiheutti suurta tehonkulutusta. Peruskuormituksen joka näkyy käyrässä pohjalla aiheuttaa esimerkiksi. asunnon lämmityslaitteet, valaistus ja kokoajan päällä olevat laitteet.

3.2.2 Energiavarastojen käyttö huipputehon leikkaukseen

Energiavarastojen avulla kyseisestä asunnosta olisi mahdollista leikata suuri osa tehohuipusta pois ja aikaa energiavaraston uudelleenlataukseen löytyy päivältä riittävästi kuormituspiikkejä ulkopuolella. Esimerkiksi kahvinkeitimen aiheuttama tehohuippu kyseisenä päivänä saadaan leikattua jo pienellä energiavarastolla. Kuvassa 3.16 on esitetty miten suuri teho saadaan leikattua kahvinkeitimen aiheuttamasta tehopiikistä (Kuva 3.11) eri kokoisilla energiavarastoilla.



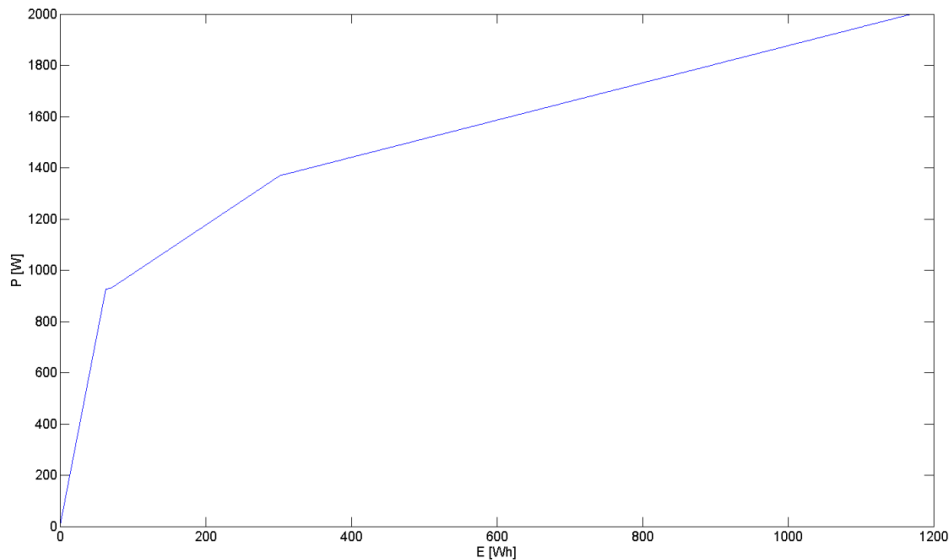
Kuva 3.16 Huipputehon leikkaus kahvinkeitimestä. Y-akselilla tehon P muutos [W] ja X-akselilla akun energiamäärä E [Wh].

Kuvasta 3.16 nähdään, että jo muutamien kymmenien Wh energiavarasto leikkaisi reilusti huipputehoa ja tämä näkyisi myös kyseisen päivän huipputehossa, koska kahvinkeitin aiheutti päivän suurimman tehopiikin.

Tiskikone (Kuva 3.12) aiheuttaa päivän toisen suuren kuormituksen, jonka leikkaminen on haasteellisempaa pidemmän kestoajan ja epätasaisuuden vuoksi. Tässä energiavarastoa voitaisiin ladata kuormitusten välissä, niin että huippujen kuormitusta siirrettäisiin piikkejä väliin ja kuormitus tasaantuisi. Työssä on laskettu, että tiskikoneen kuormitus on pesuohjelman aikana

ylhäällä noin 48% ajasta ja lopun aikaa kuormitus on lähellä nollaa, joten kuormitusta siirtämällä huipuista väleihin tehohuippua saadaan pienennettyä noin puolella.

Koko päivän (Kuva 3.15) huipputehon leikkaus on esitetty kuvassa 3.17. Laskennassa on otettu huomioon päivän suurimpien kulutusten aiheuttajat, eli autonlämmittimen ja kahvinkeitin saman aikainen käyttö ja tiskikoneen aiheuttama kuormitus, jotka aiheuttavat päivän selvästi suurimmat huipputehot.



Kuva 3.17 Huipputehon leikkaus koko päivän summatehosta. Y-akselilla tehon P muutos [W] ja X-akselilla akun energiamäärä E [Wh].

Kuvasta 3.17 nähdään, että päivän huipputehosta saadaan leikattua merkittävä osa pois jo pienellä energiavarastolla. Päivän huipputehosta, joka on noin 3 kW saadaan leikattua 25% pois 51 Wh energiavarastolla. Huipputehosta 50 % saadaan leikattua 482 Wh energiavarastolla.

Nämä laskelmat eivät kuitenkaan anna välttämättä todellista kuvaa tehon leikkauksesta pitkältä aikaväliltä. Mittaukset olivat vain yhdeltä arkipäivältä, joten kuormitus saattaa olla erilaista eri päivinä esimerkiksi viikonloppuna, jolloin kulutusta saattaa olla päivän aikana enemmän. Energiavarastoa mitoittaessa olisi hyvä olla mittauksia pidemmältä aikaväliltä, jotta saadaan parempi kokonaiskuva kuormituksesta. Yksittäisen asunnon tehon leikkaus ei myöskään vaikuta juuri verkon tilanteeseen vaan energiavarastoja tulisi käyttää suuressa joukossa asuntoja.

3.2.3 Muita vaihtoehtoja huipputehon leikkaukselle

Energiavarastojen lisäksi on myös muita vaihtoehtoja millä huipputeho olisi mahdollista pienentää. Huipputehon leikkaukseen voitaisiin myös käyttää automatiikkaa, joka järjestelisi sellaisten laitteiden, joilla kuormitus ei ole tasaista (esim. jääkaappi, tiskikone) niin että piikit eivät osu

samalle hetkelle. Esimerkiksi jos kahvinkeitin ja tiskikone on samaan aikaan päällä, niin automaattikka ohjaisi kahvinkeitin kuorman tiskikoneen kuormitushuippujen väliin.

Tulevaisuudessa myös laitevalmistajille saattettaisiin voida asettaa ehtoja, jossa kuormituksen tulisi olla tasaisempaa ja pienempää. Tällöin suuria tehopiikkejä ei syntyisi niin paljon, kuin nykyään.

4 YHTEENVETO

Työssä on käyty läpi älykkäitä sähköverkkoja ja keskitytty niissä kysynnänjoustoon ja erilaisiin tapoihin millä sitä voi toteuttaa. Työssä on keskitytty energiavarastojen käytön tutkimiseen kysynnänjoustossa pienkulutuksessa, eli kotitalouksissa. Työssä on myös kehitetty laskenta metodiikkaa energiavaraston mitoittamiseen tehopiikkejä leikkauksen näkökulmasta.

Työssä on käytetty kuormitusmittauksia ja tutkittu miten energiavarastoilla voisi leikata huipputehoa näissä tapauksissa. Mittauksissa on käytetty AMR-mittareilla kerättyä tuntitason kuormitusdataa, sekä sekuntitasolla mitattua kuormitusta yksittäisestä asunnosta. Lisäksi työssä on tutkittu millaisia kuormituksia eri laitteet tuottavat ja miten energiavarastoa voisi hyödyntää näissä tapauksissa.

Tarkastelut osoittavat, että pienkulutuksessa kuormitus on hyvin epätasaista ja tehopiikit eivät kestä kovin pitkään, joten energiavarastojen käyttö olisi näissä tapauksissa mahdollista. Tehoa voisi leikata merkittäviä määriä verrattain pienillä energiavarastoilla piikkejä lyhyestä kestosta johtuen.

Energiavarastojen käytössä pienkulutuksessa riittää kuitenkin vielä kehitettävää esimerkiksi automaatiojärjestelmää, jolla energiavaraston käyttö saadaan mahdollisimman toimivaksi. Tarvittaisiin myös pidemmän aikavälin kuormitusten tutkimista, jos energiavarastoa haluttaisiin käyttää todellisissa kohteissa.

5 LÄHTEET

ET 2007, Sähkön kysyntäjousto suurten loppuasiakasryhmien kannalta [viitattu 20.11.2013], saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/kysyntajoustoraportti_et.pdf

ET 2008, Sähkön kysyntäjouaston edistäminen. [viitattu 5.9.2013], saatavissa http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/ET_Sahkon_kysyntajouaston_edistaminen.pdf

Eskola, M. 2010, Akkujen ja superkondensaattorien yhteiskäyttö energiavarastoina ja niiden verkkoon liittäminen ajoneuvoissa [viitattu 4.11.2013], saatavissa <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/66236/nbnfi-fe201011253031.pdf?sequence=3>

Eskola, M. 2011, Energiavarastojen mitoitus laivasähköjärjestelmään. [viitattu 4.11.2013], saatavissa <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69814/nbnfi-fe201105271621.pdf?sequence=3>

Gellings, C, W. 2009, The smart grid: enabling energy efficiency and demand response, Fairmont Press. ISBN 978-1-4398-1574-8

Gulich, O. 2010, Technological and business challenges of smart grids, [viitattu 20.11.2013], saatavissa <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/62885/nbnfi-fe201003041461.pdf?sequence=3>

Sarvaranta, A, 2010, Älykkäät sähköverkot ja niiden kehitys Euroopan unionissa ja Suomessa. [viitattu 1.10.2012], saatavissa http://www.energia.fi/sites/default/files/alykkaat_sahkoverkot_2010_diplomityo_anni_sarvaranta.pdf

Savolainen, I., Similä, L., Syri, S., Ohlström, M. 2008, Teknologiapolut 2050. [viitattu 25.9.2013], saatavissa <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2432.pdf>

Söyrinki, M., Kuormanohjaus Sähköverkossa. [viitattu 23.10.2013], saatavissa http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Mikko_Soyrinki_Kuorman_ohjaus_sahkonjakeluverkossa.pdf