Oskari Koistinen

Aurinko- ja tuulivoiman käyttö mobiilimastojen varavoimajärjestelmässä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

2.12.2013

Metropolia

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Oskari Koistinen Aurinko- ja tuulivoiman käyttö mobiilimastojen varavoimajärjestelmässä 24 sivua 2.12.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia-automaatio
Ohjaaja(t)	osastopäällikkö Rami Mattila lehtori Kai Virta

Insinöörityössä tutkittiin aurinko- ja tuulivoimaloiden hyödyntämispotentiaalia langattoman viestinverkon eli mobiiliverkon tukiasemien varavoimajärjestelmissä.

Työssä mitattiin kahden Etelä-Suomessa sijaitsevan mobiilimaston sähkönkulutusta sekä mastoihin asennettujen tuuligeneraattorien sähköntuotantoa kesällä 2012. Näiden lisäksi seurattiin Metropolia Ammattikorkeakoulun aurinkovoimalan tuotantoa vuoden ajalta, 10.8.2012 - 13.8.2013.

Mittausten lisäksi työssä selvitettiin tilastojen avulla sähkökatkojen yleisyyttä, syntymekanismia sekä vaikutusta mobiiliverkon toimivuuteen.

Työn tuloksena saatiin muodostettua kattava kuva aurinko- ja tuulivoimaloiden pienoistuotannon potentiaalista varavoimajärjestelmissä. Aurinko- ja tuulivoimaloita voidaan hyödyntää varavoimajärjestelmien tukena, mutta akustoa niillä ei voida korvata.

Aurinko- ja tuulivoimaa kannattaa asentaa rinnan, jolloin niiden vuotuiset sähköntuotantoprofiilit tukevat toisiaan.

Avainsanat	aurinkoenergia, tuulienergia, matkaviestinverkot, varavoimalat

Author(s) Title Number of Pages Date	Oskari Koistinen Solar and wind power generation in backup power systems 24 pages 2 December 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Energy Automation
Instructor(s)	Rami Mattila, Department Chief Kai Virta, Principal Lecturer

This thesis studies the viability of solar and wind power generation to supplement backup power systems in mobile network link stations.

Electric power usage was measured from two mobile link stations for one month each. Both link stations have a wind turbine installed. Electricity generation of the solar plant at the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences was also included in the research.

Statistical frequency and causes of electric outages as well as their effect on mobile network reliability were also studied.

As a result, a thorough understanding of the usability of solar and wind power generators in mobile network backup power was formed. Solar and wind power generators can be used to augment existing backup power systems, but they cannot completely replace battery-powered backup systems.

Solar and wind power generators benefit from parallel installation, since then their annual power generation profiles support each other.

Keywords	solar power, wind power, mobile networks, backup power

Sisällys

1 Johdanto 1

2 Langaton tietoliikenneverkko Suomessa 1

3 Sähkönjakelun häiriöt 2

4 Tuulivoima 5

4.1 Vaaka-akseliset tuuliturbiinit 6
4.2 Pystyakseliset tuuliturbiinit 7
4.3 Tuulivoiman tuotantopotentiaali 9

5 Aurinkopaneelit 10

5.1 Yleistä aurinkopaneeleista 10
5.2 Auringon tuotantopotentiaali 11

6 Mobiilimastojen sähkönkulutus 14

6.1 Kohde A 15
6.2 Kohde B 18

7 Yhteenveto 22

Lähteet 24

1 Johdanto

Insinöörityön tavoitteena oli selvittää aurinko- ja tuulivoiman hyödyntämispotentiaali langattomien tietoverkkojen eli mobiiliverkkojen varavoimajärjestelmissä. Viestintävirasto on asettanut mobiiliverkkojen laitteistolle vaatimuksia varavoimajärjestelmien ylläpitokyvystä sähkökatkojen aikana [2, s.10]. Teleoperaattoreilla on kuitenkin mielenkiintoa pidentää varavoimalaitteiden toimintakykyä aurinko- ja tuulivoimageneraattoreiden avulla.

Työ suoritettiin mittaamalla kahden mobiilimaston ja niihin kuuluvien laitteistojen sähkönkulutusta ja –tuotantoa kuukauden ajan kesällä 2012. Molemmissa mastoissa oli asennettuna tuuligeneraattori, ja toisessa mastossa oli lisäksi aurinkopaneeliasennus. Aurinkopaneelien energiantuotosta saatiin laajempi käsitys Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kiinteistöön sijoitetun aurinkopaneeliasennuksen sähköntuotannon seurannalla. Aurinkovoimalan tuotantoa seurattiin hieman yli vuoden ajan, elokuusta 2012 marraskuuhun 2013.

2 Langaton tietoliikenneverkko Suomessa

Suomessa on erittäin kattavat langattomat tietoliikenneyhteydet. Käytännössä mobiiliverkko kattaa koko maan, paikallisia katvealueita lukuun ottamatta. Kaupungeissa mobiiliverkon tukiasemat sijoitetaan yleensä rakennusten katoille jo olemassa oleviin antennirakennelmiin. Harvaanasutuilla alueilla käytetään useimmiten mobiilimastoja, joista käytetään myös nimityksiä kännykkämasto tai tukiasema. Mastot ovat useimmiten teräsrakenteisia harustettuja ristikkopylväitä, joiden juurella on tietoliikennelaitteet sisältävä laitetila.

Mobiilimastojen välinen tiedonsiirto voidaan hoitaa joko valokuitukaapelilla tai mastojen välisillä radiolinkkiyhteyksillä. Radiolinkit muodostetaan toisia mobiilimastoja kohti suunnatuilla suunta-antenneilla. Valokuitukaapeliyhteyksiä käytetään pääasiassa vain asutusalueiden lähettyvillä, sillä valokaapelin veto pidemmille siirtoväleille on varsin kallista.

Mobiilimastojen ja niihin kuuluvien laitetilojen sähkönkulutus riippuu mastossa sijaitsevien tietoliikennelaitteiden määrästä. Yhdessä mastossa saattaa olla useamman teleoperaattorin puhelinliikenne- ja 3/4G-yhteyslaitteiden lisäksi viranomaisten Virve-verkon laitteistoa. Mastoihin on myös asennettu lentoestevalot, joiden tarkoituksena on varoittaa lentokoneita ja helikoptereita korkeista rakennelmista [4], [5], [6, 165 §]

Laitetilan laitteiston sähkönsyöttö on varmistettu lyhytaikaisia sähkökatkoja varten lyijyakkuihin perustuvalla UPS-laitteistolla. Suurin osa Suomessa tapahtuvista sähkökatkoista on lyhytaikaisia, useasti vain muutamien minuuttien kestoisia. Sähkökatkostilastojen mukaan yli 97 % kaikista sähkökatkoksista kestää alle 3 h [1, s. 3]. Suurin osa sähkönjakelun häiriöistä johtuu sääilmiöistä. Voimakkaat myrskyt saattavat aiheuttaa huomattavasti laajempia häiriöitä sähkönjakeluun kuin normaalit sääilmiöt.

Viestintävirasto on velvoittanut teleoperaattorit varmistamaan matkaviestinverkkojen (2G ja 3G) sähkönsaannin tukiaseman sijainnin mukaan kaupunkialueella kahden tunnin ja harvaanasutulla alueella neljän tunnin ajan[1, s.2], [2, s.10]. Mobiilimastoissa nykyisellään olevat UPS-laitteistot riittävät varsin hyvin paikkaamaan joidenkin kymmenien minuuttien mittaisia sähkönjakelun keskeytyksiä, vaikka niitä sattuisi useita peräkkäin. Voimakkaat myrskyt saattavat aiheuttaa alueellisia sähkökatkoja, mutta niihin teleoperaattorit ovat velvoitettuja varautumaan pitämällä valmiudessa riittävää määrää siirrettäviä varavoimageneraattoreita [1, s.3]. Varavoimageneraattoreilla voidaan korvata paikoitellen pitkäaikaisetkin sähkön jakelukeskeytykset.

3 Sähkönjakelun häiriöt

Suomalainen sähköverkko on pääsääntöisesti erittäin vakaa ja sähkökatkot tai muut jakeluhäiriöt ovat varsin harvinaisia. Suurin osa sähkökatkoista johtuu ilmastollisista syistä. Yleisimmät syyt on esitetty taulukossa 1. Käytännössä yleisimmät häiriön aiheuttavat ilmiöt ovat joko salamanisku ilmajohtimiin tai niiden lähettyville tai tuuli- ja lumikuormat [7, s.17], [3, s. 14].

Sähkönjakelussa käytetään termiä ”häiriö” kuvaamaan sekä lyhytaikaista katkosta että pidempää sähkönjakelun estymistä. Lyhimmät häiriöt ovat sähkön jakeluverkon suojaamiseksi käytettäviä sekunnin kymmenysten (0,1..0,6 s) mittaisia pikajälleenkytkentö-

jä tai muutaman minuutin mittaisia aikajälleenkytkentöjä [8, s.160]. Pidempiaikaiset häiriöt aiheutuvat automaattisesti toimivien pikajälleenkytkentöjen ja aikajälleenkytkennän jälkeenkin ilmenevästä viasta. Useimmiten jälleenkytkentöjen jälkeen ilmenevä vika on pysyvä eli esimerkiksi sähköjohdoille kaatunut puu, katkennut johdin tai muu vaurioitunut sähkönsiirtojärjestelmän komponentti.

Suurin osa sähkön jakelun häiriöistä aiheutuu tuntemattomista syistä. Tuntematon syy tässä yhteydessä tarkoittaa jakeluhäiriötä, jonka alkuperäistä aiheuttajaa ei voida varmuudella osoittaa. Todennäköisin syy tuntemattomille häiriöille on ilmastolliset syyt eli salamanisku tai kovan tuulen aiheuttama puun oksan aiheuttama maa- tai oikosulku [3, s. 14].

Taulukossa 1 on vertailtu sähkökatkojen aiheuttajien osuutta sähkökatkojen määrään sekä sähkönjakelun vaikutukseen. Taulukossa mainittu ENS tarkoittaa Energy Not Supplied eli jakamatta jääneen sähköenergian määrää.

Taulukko 1. Sähkökatkojen syiden ja jakelukeskeytysten suhteelliset osuudet

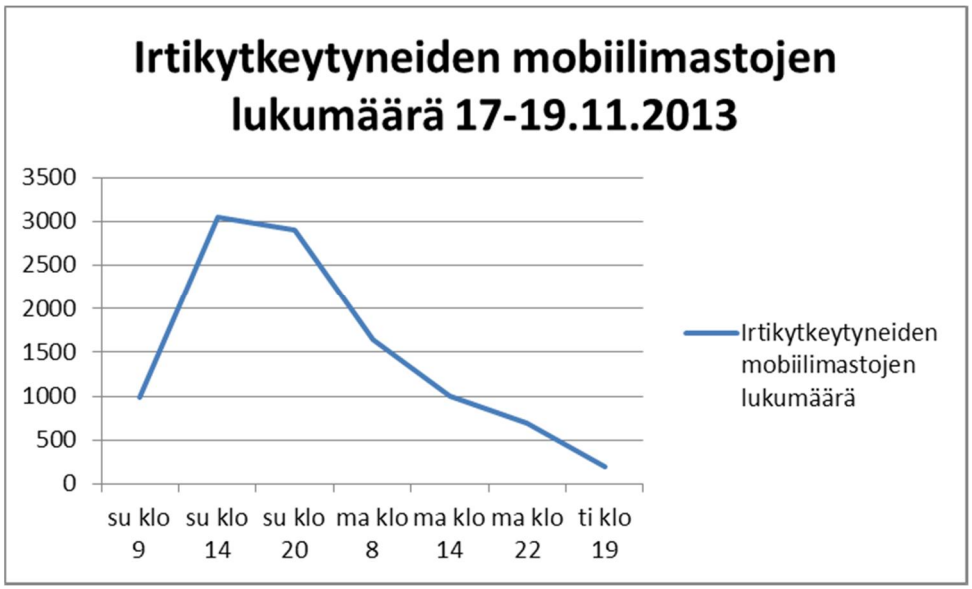
Syy	Prosentuaalinen osuus keskeytyksistä		Prosentuaalinen osuus ENS:stä	
	2010	2001-2010	2010	2001-2010
Salamanisku	25	31	1	6
Muut ilmastolliset syyt	11	5	57	22
Ulkopuoliset syyt	1	3	9	12
Huolto ja kunnossapito	7	7	13	21
Tekniset syyt	3	4	6	22
Muut syyt	6	8	5	11
Tuntematon	46	44	8	6

Vuoden 2010 sähkökatkotilastojen mukaan 94 % sähkökatkoista kesti alle kolme minuuttia ja 88 % sähkökatkoista ei aiheuttanut havaittavaa sähkönjakelun keskeytymistä. [3, s. 53] Ajoittain Suomeen kuitenkin päätyy voimakkaita myrskyjä, jotka aiheuttavat laajoja vaurioita sähköverkolle ja siten huomattavia häiriöitä langattoman tietoliikenneverkon toimintaan. Laajoja häiriöitä aiheuttaneista myrskyistä voidaan esimerkiksi mainita Tapani- ja Hannu-myrskyt vuodelta 2012 sekä Eino-myrsky vuodelta 2013.

Eino-myrskyn aiheuttamat häiriöt matkapuhelinverkolle on dokumentoitu varsin kattavasti. Kuva 1 kuvaa myrskyn aiheuttaman matkaviestinverkon häiriöiden laajuutta. Viestintävirasto sai teleyrityksiltä ensimmäiset ilmoitukset matkaviestinverkon häiriöistä sunnuntaina 17.11.2013 klo 7.24, ja laajimmillaan häiriö oli noin klo 14 [1, s.2]. Seitsemän tunnin aikana noin 3000 tukiasemaa oli sähkökatkojen ja myrskyvaurioiden johdosta irtikytkeytyneet verkosta.

Kuva 1. Eino-myrskyn aiheuttamat häiriöt matkaviestinverkossa [1. s.1]

Eino-myrskyn vauriot saatiin korjattua varsin nopeasti laajuudestaan huolimatta. Kuten kuvasta 2 havaitaan, saatiin lähes puolet verkosta irtikytkeytyneistä tukiasemista käyttökuntoon noin vuorokaudessa. Teleyritykset saivat toimitettua mobiilimastoille varavoimalaitteita lyhyellä varoitusajalla jonka lisäksi sähkön jakeluverkkoa saatiin korjattua sähkönjakelun turvaamiseksi. [1, s.2]



Kuva 2. Eino-myrskyn aiheuttamat matkaviestinverkon tukiasemien häiriöt [1, s.2]

4 Tuulivoima

Tuulivoimalla tarkoitetaan tuuliturbiinin avulla tuotettua sähköenergiaa. Tuuliturbiinit voidaan jakaa kahteen kategoriaan, pysty- ja vaaka-akselisiin. Sekä pysty- että vaaka-akseliset tuuliturbiinit perustuvat samaan toimintaperiaatteeseen, tuulen aiheuttamaan vääntövoimaan roottorin lavoissa. Tämä vääntövoima hyödynnetään generaattorissa joko suoraan tai vaihteiston välityksellä. Pienemmissä tuuligeneraattoreissa käytetään useammin suoraa kytkentää ja suurissa kantaverkkoon syöttävissä tuulivoimaloissa käytetään lähes poikkeuksetta vaihteistolla varustettuja vaaka-akselisia generaattoreita.

4.1 Vaaka-akseliset tuuliturbiinit

Vaaka-akseliset tuulivoimalat koostuvat useimmiten mastosta, maston huipulla olevasta tuulen suuntaan kääntyvästä konehuoneesta sekä roottorin lavoista. Kuvassa 3 näkyy tyypillinen vaaka-akselinen tuuligeneraattori. Suurin osa energiantuotantomittakaavan tuulivoimaloista on vaaka-akselisia generaattoreita.

Kuva 3. Ikaalisissa sijaitseva Ikaalisten Vapaaseurakunnan 1MW vaaka-akselinen tuulivoimala sekä läheinen mobiilimasto.

Mobiilimastojen varavoimanlähteeksi vaaka-akseliset tuuligeneraattorit eivät sovellu, sillä generaattori tulee aina kääntää tuulen suuntaan jotta sillä saadaan tuotettua energiaa. Tuulivoimalaa ei voida sijoittaa maston huipulle, koska silloin sen roottorin lavat häiritsisivät tietoliikennettä tai osuisivat maston haruksiin. Alemmas sijoitettu generaattori taasen ei mahtuisi kääntymään osumatta mastoon. Erilliseen, omaan mastoonsa sijoitettu voimala olisi erittäin kallis toteuttaa eikä siten ole hyväksyttävä ratkaisu. Ikaa-

lisissa sijaitsee mobiilimaston läheisyyteen sijoitettu tuuligeneraattori. Kyseisessä tapauksessa voimalan lähistöllä sijaitsevan mobiilimaston oltava korkeampi kuin voimala ja antennit on sijoitettava hyvin korkealle.

4.2 Pystyakseliset tuuliturbiinit

Pystyakselisia tuuligeneraattoreita on useampaa eri mallia. Yleisimmin käytetään Darreius- ja Savonius-tyyppisiä turbiineja. Kaikissa pystyakselisissa tuuliturbiineissa on yhteistä se, ettei niitä tarvitse suunnata tuulen mukaan. Tästä on huomattavaa etua mobiilimastoasennuksessa, sillä tuuliturbiinit voidaan asentaa maston sivulle osoittavaan rakennelmaan. Pystyakseliset turbiinit myös vievät sivusuunnassa suhteellisen vähän tilaa, joten ne voidaan asentaa melko lähelle itse mastoa. Pidettäessä tuuligeneraattorin painopiste mahdollisimman lähellä maston keskilinjaa, saadaan pidettyä mastoon kohdistuvat sivuttaisuuntaiset vääntövoimat pieninä.

Savonius-tyyppisen tuuliturbiinin kehitti vuonna 1922 suomalainen insinööri Sigurd Johannes Savonius. Alkuperäisissä piirustuksissa käytettiin pystysuoria kaarevia pintoja, mutta niiden haittapuolena oli vääntömomentin jaksottainen vaihtelu roottorin kääntyessä tuulen suhteen. Nykyisissä roottorimalleissa käytetään helikaalisesti kaartuvia pintoja, joilla saadaan tasoitettua tuulen aiheuttamaa vääntömomentin vaihtelua huomattavasti. Kuvassa 4 näkyy helikaalisesti kaartuva Savonius-tyyppinen tuuliturbiini.

Kuva 4. Savonius-tyyppinen tuuliturbiini

Kohteessa A oli aiemmin koekäytössä Savonius-tyyppinen tuuliturbiini, mutta se vaihdettiin kesällä 2012 Darreius-tyyppiseen turbiiniin. Kuva 5 esittää kohteen A Darreius-tyyppistä tuuliturbiiniasennusta. Aiemmin käytössä olleen Savonius-turbiinin hyötysuhdetta huononsivat huomattavasti alueella vallitsevat tuuliolosuhteet. Koska kohde sijaitsee noin 80 km päässä rannikosta, ei tuulen nopeudet mastossa olleet kovinkaan usein riittävän suuria, jotta tuuligeneraattori olisi tuottanut sähköä.

Kohteeseen A asennetun Darreius-tyyppisen tuuliturbiinin sähköntuotantokäyrä eroaa aiemman Savonius-turbiinin käyrästä eniten pienillä tuulen nopeuksilla. Tuuligeneraattori aloittaa sähkönsyötön 5 m/s tuulennopeudella ja 12 m/s tuulennopeudella generaattorin syöttöteho on 3,5 kW [9].

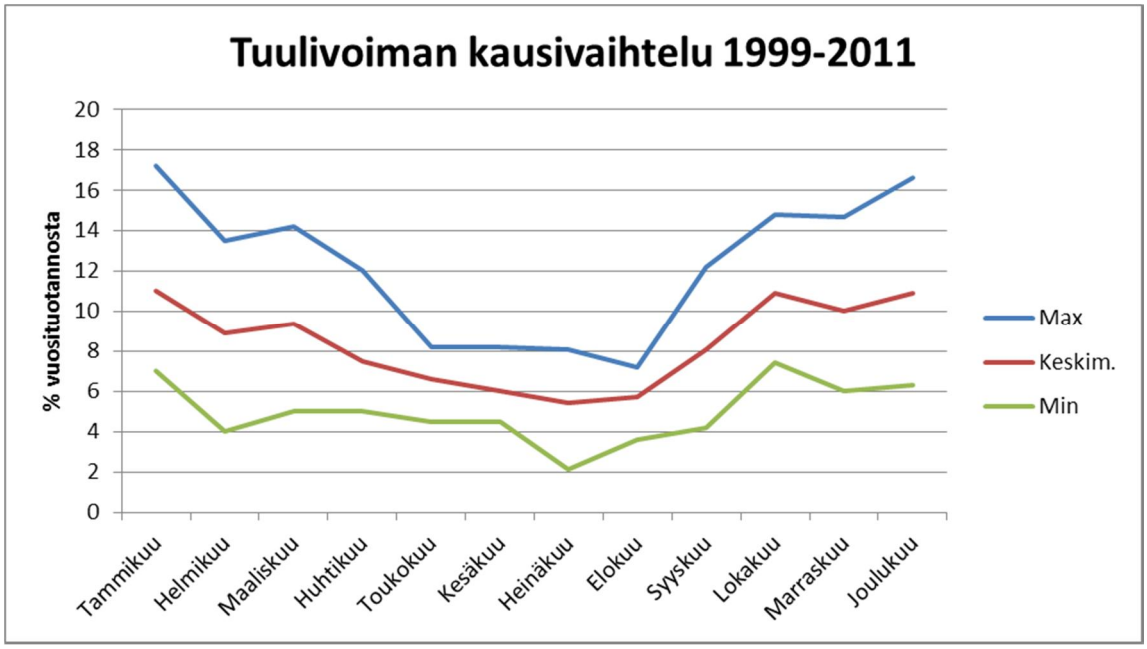
Kuva 5. Kohteen A tuuliturbiiniasennus.

Kuvassa 5, kohteen A tuuliturbiiniasennuskuvassa, näkyy turbiinin rakenne. Itse generaattori on keskellä turbiinia ja sen ylä- sekä alapuolella, samalla akselilla, sijaitsevat tuuliturbiinin lavat. Tuulivoimala on kiinnitetty poikittaisuuntaiseen teräsristikkorakenteeseen kelluvasti, eli generaattorin ja teräsrakenteen välissä on kumista valmistetut värähtelynvaimentimet. Värähtelynvaimentimet estävät tuuliturbiinin toiminnasta johtuvien värähtelyjen etenemisen mobiilimaston rakenteisiin. Kuvassa näkyy myös tuulen nopeusanturi sekä lentoestevalot. Tuulivoimala asennettiin lentoestevalojen alapuolelle, sillä se ei saa peittää lentoestevaloja eikä maston huipulla sijaitsevien lähetysantennien lähetyskeilaa.

4.3 Tuulivoiman tuotantopotentiaali

Tuulivoimaloiden sähköntuotannon määrä riippuu sekä voimalan nimellistehosta ja sijainnista Suomessa että generaattorin lapojen korkeudesta ympäröivän maaston suhteen. Tuulivoimaloiden tuotantopotentiaalia alueittain voidaan arvioida suuntaa-antavasti Tuuliatlaksen tietojen perusteella. [10]. Todellista tuotantoa arvioidessa tulee

huomioida tuulivoimaloiden kuukausittaiset vaihtelut. Kausivaihtelukäyrästä (kuva 6) havaitaan että talvisin on tuulisempaa kuin kesäisin.



Kuva 6. Tuulivoiman kausivaihtelu 20 vuoden seurantajakson ajalta [11, s.51]

5 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleilla tarkoitetaan laitteistoa, jolla voidaan tuottaa auringonvalosta sähköenergiaa. Aurinkopaneelien toiminta perustuu piikiteiden valosähköiseen ilmiöön. Tutkimuslaitoksissa tutkitaan myös orgaanisiin elementteihin perustuvia aurinkokennoja, mutta niitä ei ole toistaiseksi valmistettu tutkimuslaitosten ulkopuolella.

5.1 Yleistä aurinkopaneeleista

Aurinkopaneeleilla tuotetaan sähköenergiaa suoraan auringonvalosta. Aurinkopaneelien tehokkuuteen vaikuttaa auringon säteilyintensiteetin lisäksi auringon suhteellinen paistekulma sekä lämpötila.

Aurinkopaneelien tuottama sähköenergia on tasavirtaa. Käytännössä kaikki aurinkopaneelisovellukset tarvitsevat jonkinlaisen kontrollerin, jonka avulla muutetaan paneelien tuottama jännite ja virta käyttölaitteelle sopivaksi. Pienoisjännitelaitteistoissa yleisimmin käytetty kontrolleri on akkujen lataussäädin. Suurempitehoisissa aurinkopanee-

lijärjestelmissä aurinkopaneelien tuottama sähköenergia voidaan syöttää pienjännite-verkkoon invertterin avulla. Invertteri vaihtosuuntaa paneelien tuottaman tasajännitteen ja syöttää sen tahdistettuna pienjänniteverkkoon.

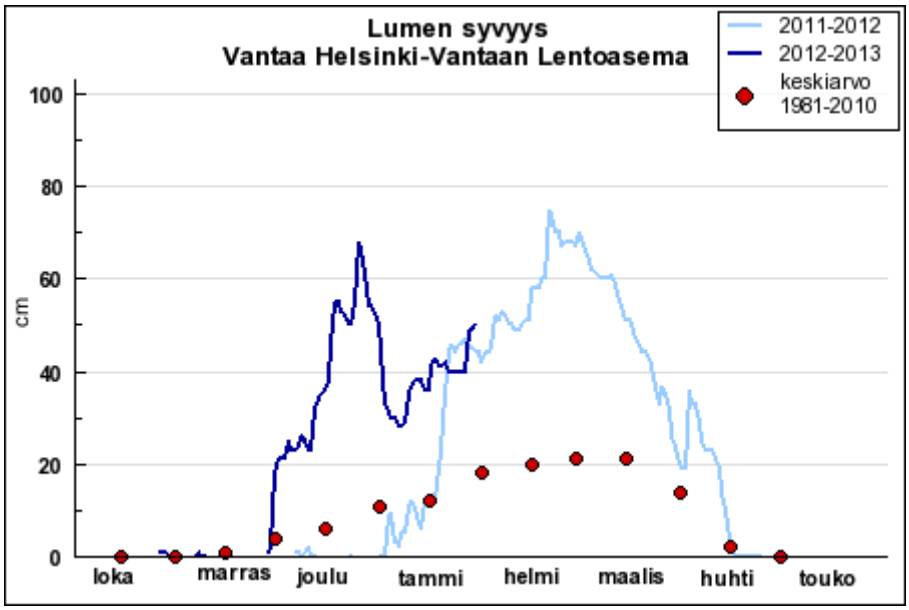
5.2 Auringon tuotantopotentiaali

Suomessa auringon säteilyintensiteetti riippuu vuodenajasta sekä tarkastelukohdan leveyspiiristä. Voimakkaimmillaan auringon säteily on kesällä Etelä-Suomessa.

Vuodenajat vaikuttavat merkittävästi aurinkovoiman tuotantopotentiaaliin Suomen leveysasteilla. Päivien pituus, auringon nousu- ja laskusuunnat sekä lakikorkeus horisontista vaihtelevat huomattavasti. Vuodenaikojen vaikutus korostuu pohjoiseen siirryttäessä. Pohjois-Suomessa, napapiirin pohjoispuolella vuodenaika vaikuttaa erittäin merkittävästi aurinkovoiman tuotantopotentiaaliin, sillä talvisin kaamoksen aikana aurinko ei nouse horisontin ylle.

Lumikertymä vaikuttaa myös paneelien sähköntuotantokykyyn. Jos paneelit ovat talvisin lumen peitossa, eivät ne myöskään tuota lainkaan sähköä. Lumikertymät vaihtelevat satunnaisesti vuosittain, joskus runsaastikin. Työhön liittyneen tarkastelujakson aikana alkutalvi oli selvästi keskimääräistä talvea runsaslumisempi. Kuvassa 7 on kuvaajat Helsinki-Vantaan lentoaseman lumensyvyyksistä sekä talvien 2011 - 2012 että 2012 - 2013 ajalta, kuten myös 30 vuoden keskiarvo.

Aurinkopaneelit voidaan asentaa joko kiinteästi tai aurinkoa seuraavalle kääntyvälle alustalle. Kiinteä asennus on edullisempi toteuttaa, eikä siinä ole liikkuvia osia. Suomen talvi aiheuttaa aurinkoa seuraaville järjestelmille omat haasteensa jään ja pakkautuvan lumen takia. Kiinteässä asennuksessa paneelit tulee suunnata oikein. Paneelien suuntaus ja kallistuskulma tulee valita halutun sähköntuotantoprofiilin mukaisesti.



Kuva 7. Lumen syvyydet Helsinki-Vantaan lentoasemalla.

Työssä seurattiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen yksikön katolle asennettujen aurinkopaneelien tuotantoa vuoden ajalta. Asennuksen aurinkopaneelien yhteenlaskettu nimellisteho on 2,3 kW ja niiden tuottama sähköenergia syötetään 2 kW nimellistehoisen invertterin avulla koulun pienjänniteverkkoon. Invertteri kytkettiin sähköverkkoon 10.8.2012. Aurinkopaneelien sähköntuotantoa seurattiin energianmittauspalvelimelle asennetun ohjelman avulla. Ensimmäisen vuoden aikana eli 10.8.2013 – 13.8.2013 paneelit olivat tuottaneet 2379 kWh sähköenergiaa verkkoon. Aurinkopaneelien vuosituotannossa pätee varsin hyvin arvio, jonka mukaan tuotto kilowattitunteina on 1000 * nimellisteho [kW].

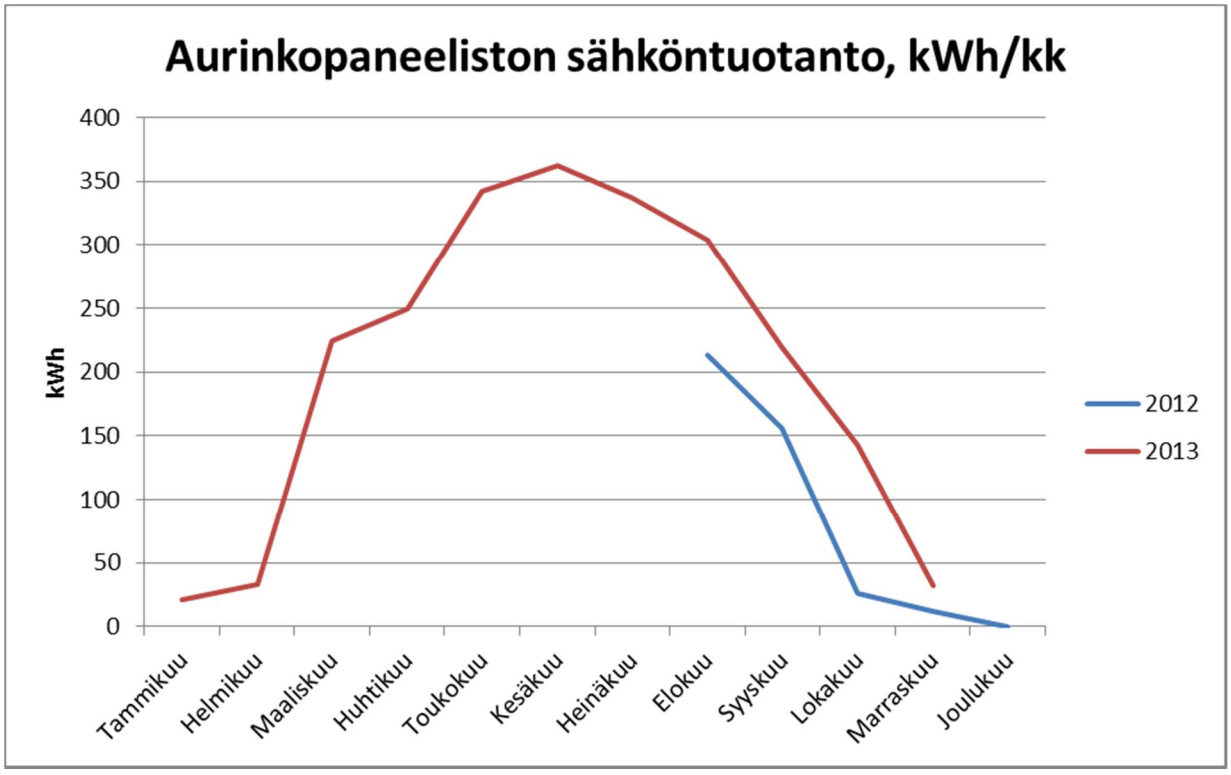
Metropolian aurinkopaneeliasennus on suunnattu 10° etelästä länteen päin ja paneelit ovat 40° kulmassa vaakatasoon nähden. Suuntaus ja kallistuskulma on valittu suurimman vuosituotannon mukaan. Pienin kallistuskulma, jolla lumikuorma voi valua paneelien päältä omalla painollaan pois, on noin 40°. Täysin itse puhdistuva kyseinen asennus ei ole vaan talvella 2012 - 2013 paneelit piti puhdistaa käsin lumesta kahdesta kolmeen kertaa.

Aurinkopaneeliasennuksen sähköntuotantoa seurattiin kokoamalla invertterin ilmoittamat sähkön tuotantomäärät palvelimelle. Aurinkopaneelien tuotantomääriä seurattiin ajalta 10.8.2012 - 30.11.2013. Mitattujen sähköntuotantomäärien perusteella voitiin muodostaa kuva aurinkopaneelien sähköntuotannon jakautumisesta eri kuukausille.

Vuoden 2013 kesäkuun tuotantolukema on osittain arvio. Kesäkuun alkupuolella, 10.6.2013 alkoi tietoliikennekatkos, josta johtuen tietoja keräävä palvelin ei saanut yhteyttä invertteriin. Tästä yhteyskatkoksesta johtuen myöskään loppukuun energiantuotantoluvut eivät tallentuneet järjestelmään. Todellisen sähköntuotannon voitiin säätietojen perusteella olevan samaa luokkaa touko- ja heinäkuun kanssa eli noin 360 kWh/kk.

Saaduista aurinkopaneelien tuotantolukemista havaitaan tuotannon keskittyvän voimakkaasti kesäaikaan. Talvikuukausina, eli marraskuusta helmikuuhun, paneelit tuottavat koko aikana vähemmän sähköä kuin kesäaikaan yhden kuukauden aikana.

Vuoden 2012 tuotantolukujen vähäisyyttä selittää varsin pimeä alkutalvi. Talven ensilumi satoi pääkaupunkiseudulle marraskuun viimeisenä päivänä, eikä aurinkopaneeleita puhdistettu lumesta ennen tammikuuta 2013, joten joulukuussa aurinkopaneelit eivät tuottaneet lainkaan sähköä. Kuvassa 8 on esitetty saaduista sähköntuotantolukemista piirretyt kuvaajat.



Kuva 8. Metropolian aurinkovoimalan kuukausittainen sähköntuotanto 2012 - 2013

Aurinkopaneelit valmistetaan yleisimmin piikiteistä, jolloin aurinkopaneelielementtien lämpötila vaikuttaa suoraan elementtien sähköiseen resistanssiin. Lämmetessään paneelien sisäinen resistanssi kasvaa, jolloin paneelien sähköntuotantokyky laskee. Talvella, etenkin kovalla pakkasella paneelien hyötysuhde paranee kylmyyden johdosta. Auringon paistaessa paneeleihin tummat paneelielementit kuitenkin lämpenevät tuottaessaan sähköenergiaa, joten hyötysuhde-etu katoaa melko nopeasti.

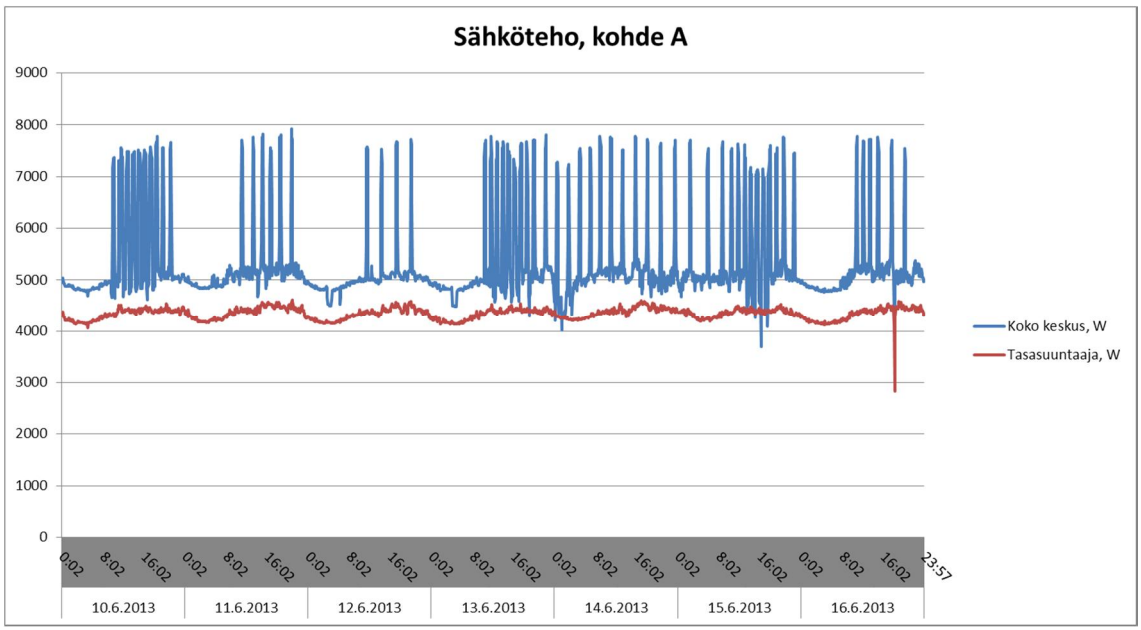
6 Mobiilimastojen sähkönkulutus

Työssä seurattiin kahden mobiilimaston sähkönkulutusta sekä niihin asennettujen tuulivoimaloiden tuotantoa. Mobiilimaston juurella sijaitsevassa laitetilassa on sähköpääkeskus, josta jaetaan mastolle tuleva kolmivaiheinen sähkön syöttö eri laitteille. Tärkeimmät laitteet ovat laitetilan jäähdytys- ja lämmityslaitteet sekä tasasuuntaaja. Jäähdytys- ja lämmityslaitteilla varmistetaan tiedonsiirtolaitteiston toiminta pitämällä laitetilan lämpötila laitteistolle hyväksytyissä rajoissa. Tasasuuntaajan tehtävä on syöttää tietoliikennelaitteille sekä mahdollisesti myös mastossa sijaitseville lentoestevaloille 48 V tasajännitettä. Tasasuuntaajan tasajännitepuolella sijaitsee myös sähkönsyötön varmennusakusto eli UPS-laitteisto.

Tasasuuntaajan tehovaatimus riippuu mastossa olevien tietoliikennelaitteiden määrästä. Tasasuuntaajan tulee olla tehokkaampi kuin laitteet itsessään vaatisivat, sillä tasasuuntaajan tulee kyetä syöttämään laitteistoa ja samalla lataamaan UPS-laitteiston akuston tyhjästä 80 % kapasiteettiin vuorokauden sisällä. [2, s. 13] Myös lentoestevalaistus saattaa aiheuttaa suuntaajalle sekä varavoimajärjestelmälle lisävaatimuksia [5, s.91], [12]

6.1 Kohde A

Kuvassa 9 on kohteen A sähkötehot sekä koko laitetilan että tasasuuntaajan osalta. Mitatuista sähkötehoista havaitaan, että koko keskuksen vaatima sähköteho on yöaikaan noin 800 W suurempi kuin tasasuuntaajan verkosta ottama sähköteho. Tasasuuntaajan viestilaitteille syöttämä teho kasvaa päivisin jonkin verran, johtuen todennäköisesti lisääntyneistä tietoliikennemääristä päivällä. Koko keskuksen ottamassa sähkötehossa näkyvät piikit johtuvat laitetilan jäähdytyksestä. Kuvan sähkönkulutus on mitattu kesäkuussa, jolloin päivisin laitetilaa lämmittää viestilaitteiden lisäksi auringonpaiste sekä lämmin ulkoilma. Laitetilan jäähdytys oli hoidettu ilmalämpöpumpulla.

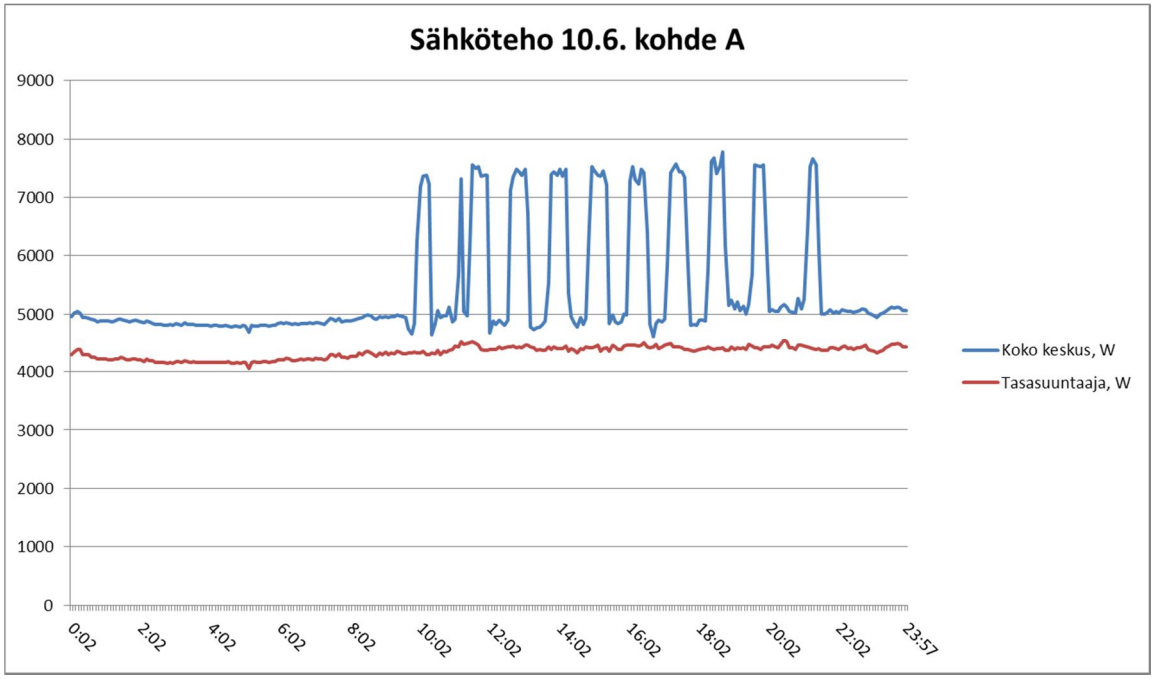


Kuva 9. Kohteen A sähköteho viikon ajalta.

Kohteen A tarkasteluviikon kuvaajasta havaitaan myös muutamia hetkiä, jolloin koko keskuksen sähkönkulutuslukemat ovat pienempiä kuin tasasuuntaajan ottama sähköteho. Tämä selittyy tuuligeneraattorin tuottamalla sähköteholla, joka pienentää keskuksen tarvetta ottaa käyttövoimansa sähköverkosta.

Kuvaajassa näkyy myös 16.6.2013 tapahtunut hetkellinen tehon lasku. Syytä tehon lyhytaikaiselle laskulle ei löytynyt. Kyseessä ei kuitenkaan ole ollut sähköverkon häiriö, sillä jännitearvot kaikissa kolmessa vaiheessa pysyivät normaaleissa rajoissa. Tehon hetkellinen lasku on saattanut johtua esimerkiksi tietoliikennelaitteen huoltotoimenpiteestä tai muusta teleoperaattorin suorittamasta kytkennästä.

Kuvassa 10 näkyy kohteen A sähkönkulutus yhden vuorokauden ajalta. Kuvaajassa näkyy viikon kuvaajaa paremmin ilmastointilaitteen toiminnan jaksollisuus. Ilmastointilaitteen toiminta painottuu enemmän iltapäivään kuin aamuun, johtuen ulkoilman lämmittävästä vaikutuksesta illalla. Aurinko nousi tarkastelupäivänä kello 05:08 ja laski kello 23:30.

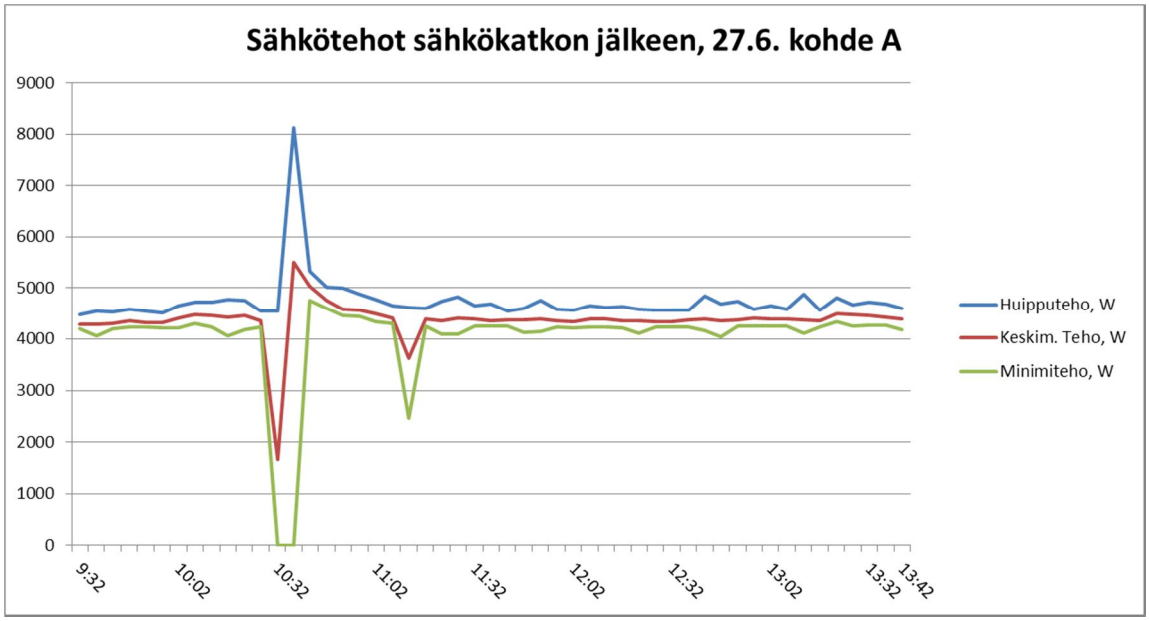


Kuva 10. Kohteen A sähköteho vuorokauden ajalta.

Kohteen A sähkötehojen kuvaajista (kuvat 9 ja 10) havaitaan, että telelaitteiston normaaliolosuhteissa kuluttama sähköenergia pysyy hyvin vakiona. Laitetilan jäähdytys kesäisin ja lämmitys talvisin saattavat lähes kaksinkertaistaa sähkönkulutuksen.

Inhimillisestä virheestä johtuen kohteen A tuuligeneraattorin tuotantoa mitattiin vain viikon ajalta. Kuukauden mittaisella mittauksella oltaisiin saatu kattavampi kuva tuuligeneraattorin toiminnasta. Kesäisin mitatusta tuulivoiman tuotannosta ei tosin voida päätellä koko vuoden tuotantopotentiaalia, sillä kesäisin ei pääsääntöisesti tuule riittävästi tuuliturbiinin tarpeisiin. Mobiilimastoon asennettu tuuliturbiini vaatii sähköä tuottaakseen pienen alkusysäyksen sitä ohjaavalta ohjainyksiköltä. Tästä ja erittäin vähätuulisesta kesäkuusta johtuen tuuligeneraattori ei tuottanut lainkaan nettosähköenergiaa mittausjakson aikana. Jos jätetään ohjainyksikön syöttämä sähköteho huomiotta, tuotti tuuligeneraattori viikossa noin 1,6 kWh sähköenergiaa. Vertailun vuoksi vastaavana viikon ajanjaksona 2 kW aurinkopaneelit tuottivat noin 99,7 kWh sähköenergiaa.

Kohteessa A havaittiin tarkastelujakson aikana yksi sähkönjakelun keskeytys. Keskeytys alkoi 27.6.2013 kello 10.29 ja kesti kolme minuuttia ja 22 sekuntia. Kuva 11 kuvaa tasasuuntaajan sähkötehoa sähkön jakelukeskeytyksen aikana. Kuvaajasta havaitaan tasasuuntaajan ottaman keskimääräisen sähkötehon lyhytaikainen kasvu heti jakeluhäiriön päättymisen jälkeen. Tehontarpeen nousu johtuu UPS-laitteiston sähkökatkon aikana käyttämien akkujen varauksen uudelleen lataamisella sähkönjakelun keskeytymisen päätyttyä.

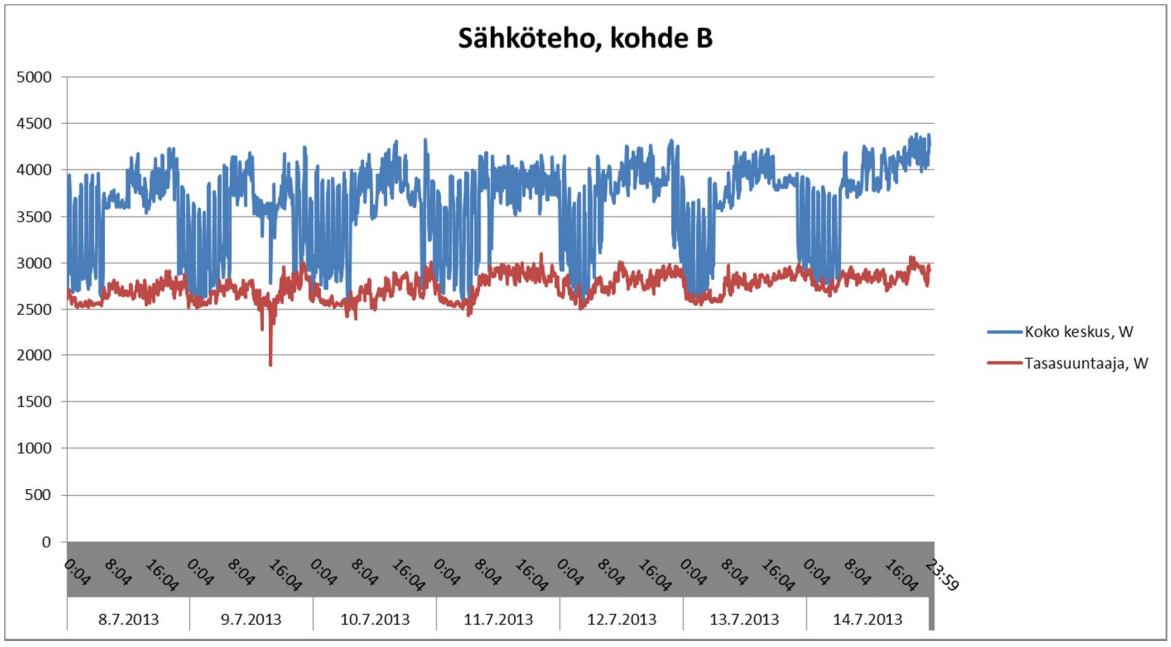


Kuva 11. Sähkötehot sähkönjakelun häiriön yhteydessä kohteessa A.

Tarkastelujakson aikana sähköverkossa havaittiin myös kolme yksivaiheista jännitteen alenemaa, joista kaksi kesti 30 millisekuntia ja yksi kesti 63 millisekuntia. Alle sadan millisekunnin jännitteen alenemat tai sähkökatkot ovat useimmiten huomaamattomia, eivätkä vaikuta sähkölaitteiden toimintaan.

6.2 Kohde B

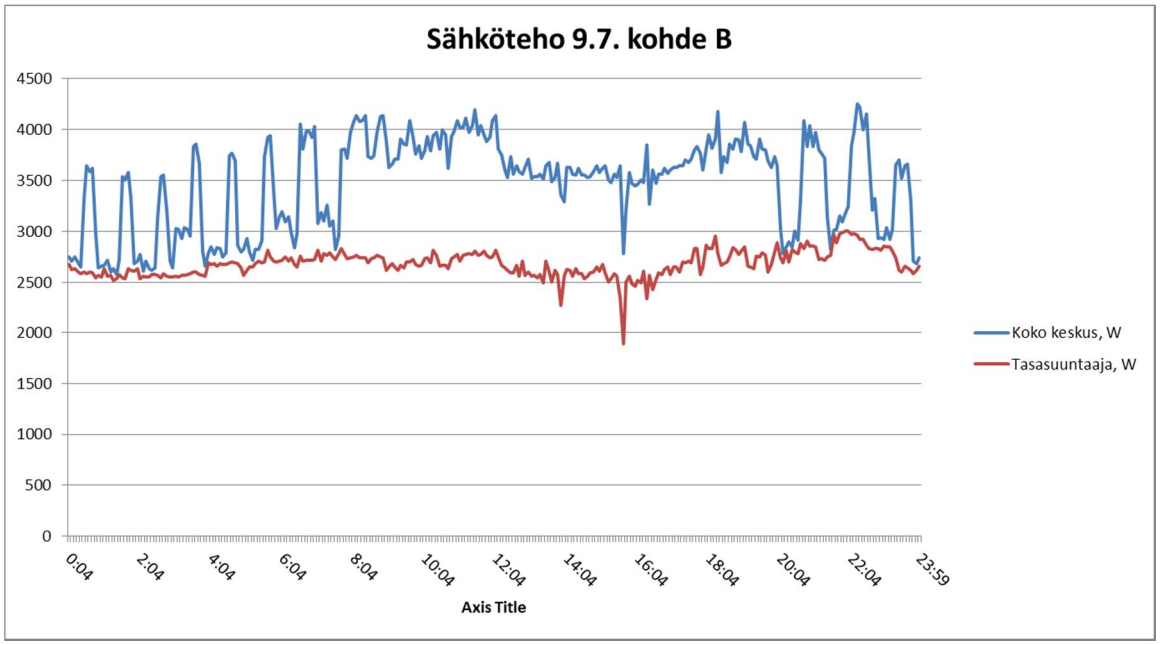
Kohteen B sähkötehoja mitattiin heinäkuussa kuukauden ajan. Kohteessa B on vain yhden teleoperaattorin viestilaitteita, josta johtuen sähkönkulutus on vähäisempää. Viikon tarkastelujakson aikana koko keskuksen sähkönkulutuskuvaaja on hieman eriävä kohteen A kulutuksesta. Tämä johtuu kohteen B laitetilan jäähdytyksestä, joka oli toteutettu tuulettimella. Sähkönkulutuskuvaajasta havaitaan, että tuuletin on todennäköisesti jäähdyttänyt laitetilaa jatkuvasti päivisin sekä jaksottaisesti öisin. Kuvassa 12 on esitetty kohteen B sähkötehot viikon ajalta.



Kuva 12. Kohteen B sähkötehot viikon ajalta.

Kohteen B tasasuuntaajan energiankulutus vaihtelee vuorokauden ajan mukaan samaan tapaan kuin kohteessa A. Kokonaisvaihtelu on suunnilleen samaa luokkaa kohteen A kanssa, noin 500 W. Viikon tarkastelujakson aikana 9.7.2013 havaittava tehonpudotus johtuu hetkellisestä jännitteen alenemasta, jonka aiheuttajaa ei saatu selville.

Vuorokauden sähkönkulutuskuvaajasta havaitaan, että kohteen B laitetilassa ei ollut muita sähköä kuluttavia laitteita. Öisin laitetilan sähkönkulutus koostuu lähes täysin tasasuuntaajan kuluttamasta sähkötehosta. Sähkönkulutusta lisää ajoittain laitetilan jäähdytykseen käytetty tuuletin. Tarkastelupäivänä, 9.7.2013 aurinko nousi kello 5:22 ja laski kello 23:26. Tarkastelupäivän sähkötehot on esitetty kuvassa 13.



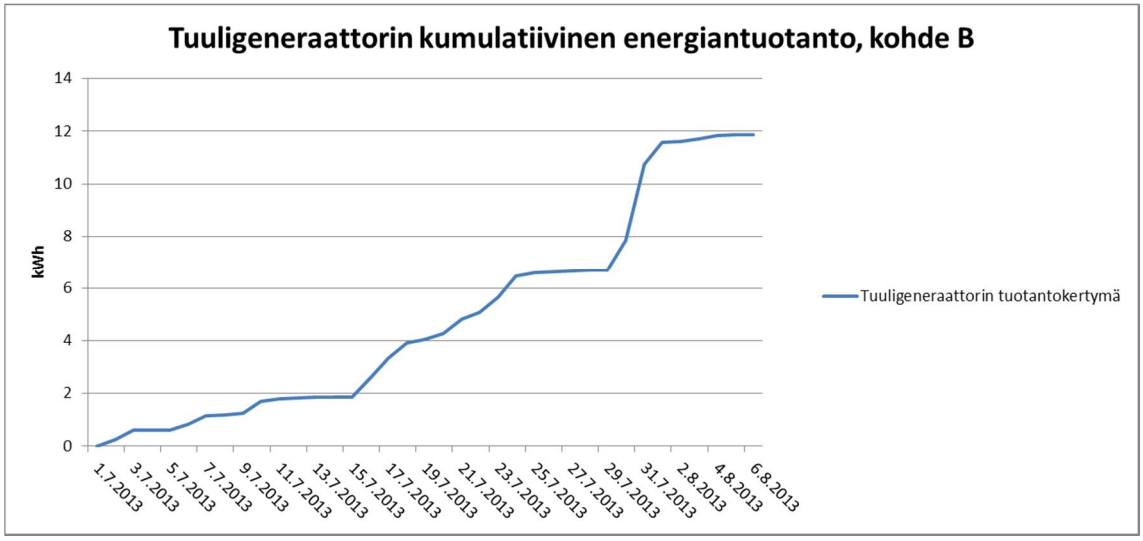
Kuva 13. Kohteen B sähkötehot vuorokauden ajalta.

Kohteessa B oli asennettuna sekä tuuligeneraattori että aurinkovoimala. Normaalisti aurinkovoimala ei ollut kytkettynä laitetilan järjestelmiin, johtuen laitetilan vähäisestä sähkönkulutuksesta. Jos järjestelmässä olisi ollut kytkettynä sekä aurinkovoimala että tuuligeneraattori, olisi niiden yhteenlaskettu teho saattanut ylittää laitetilan laitteiden tehontarpeen, jolloin tasasuuntaajan suojausjärjestelmät olisivat toimineet, irrottaen kaikki laitteet verkosta.

Sähkön kulutus- ja tuotantomittauksia varten aurinkovoimala kytkettiin väliaikaisesti toimintaan, jolloin sen tuottamalla sähköenergialla ladattiin varavoimajärjestelmästä irrallista akustoa sekä lämmitettiin keinokuormana toimivaa vesiastiaa. Mittausjakson aikana aurinkopaneelilaitteiston sähköistä kytkentää muutettiin kahdesti, joten mittaustuloksia ei voida pitää luotettavina. Vertailukelpoista aurinkopaneelien tuotantodataa saatiin Metropolian aurinkovoimajärjestelmästä.

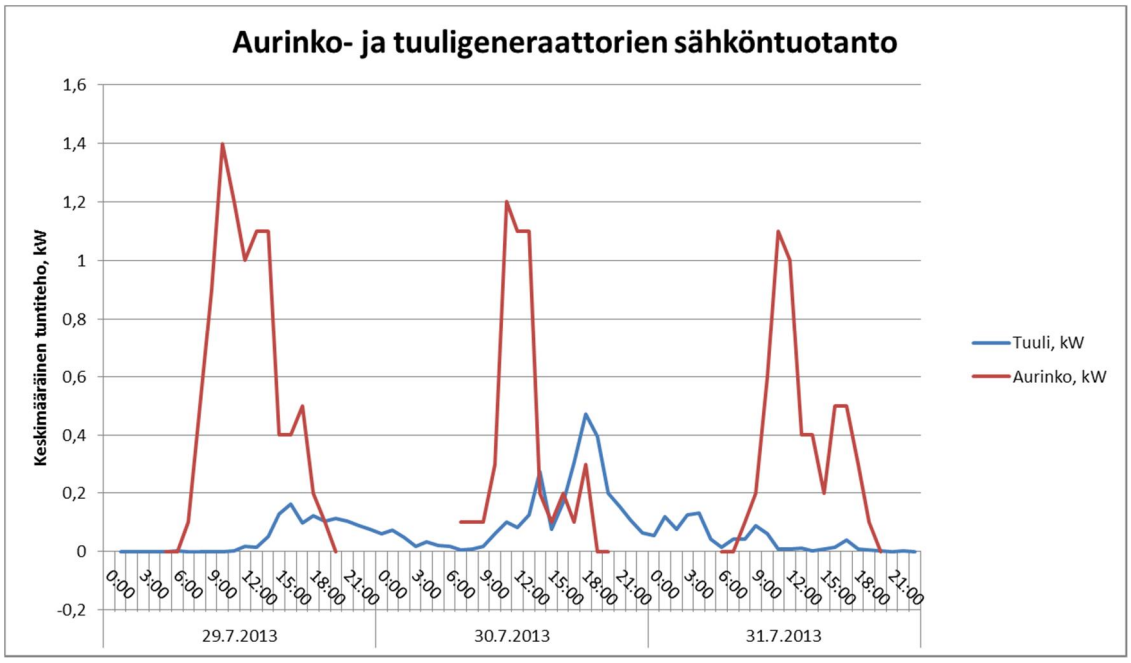
Kohteen B tuuligeneraattorin sähköntuotantoa saatiin onnistuneesti mitattua kuukauden ajalta. Heinäkuussa tuulen nopeudet ovat keskimäärin vähäisiä, joten otos ei ole kovinkaan kattava vuotuisen energiantuotannon määrän arvioimiseksi.

Kuvassa 14 on kohteen B tuuligeneraattorin sähköenergian tuotantokertymä kuukauden ajalta. Kesäisin tuulivoimaloiden tuotanto jää yleensä varsin vähäiseksi aurinkovoimaloihin nähden, kuten tässäkin tapauksessa. 2 kW nimellistehoisen aurinkopaneelilaitteiston tuotanto heinäkuussa 2013 oli 337,7 kWh. Syksyä kohti mentäessä tuotantolukemat kuitenkin muuttuvat molemmilla tuotantotavoilla ja talvisin käytännössä vain tuuligeneraattori tuottaa käytettäviä määriä energiaa.



Kuva 14. Tuuligeneraattorin kumulatiivinen energiantuotanto

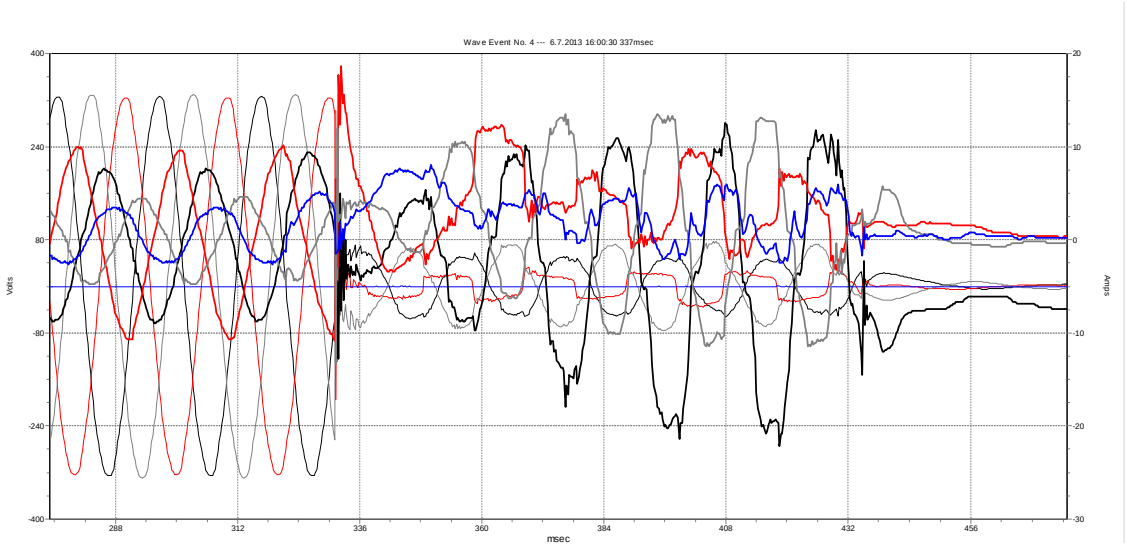
Kuvassa 15 havainnollistetaan aurinko- ja tuuligeneraattorien sähköntuotantoa tunneittain mitatuilla keskimääräisillä sähköntuotantotehoilla. Kuvaajasta havaitaan selvästi aurinkovoimalan tehonsyötön jaksollisuus sillä aurinkopaneelit tuottavat sähköä vain auringon paistaessa paneeleihin. Tuulivoiman tuotanto on tasaisempaa ja vertailujaksolla keskittyy 29.7.2013 - 30.7.2013 iltapäivään ja iltaan.



Kuva 15. Aurinko- ja tuuligeneraattorien sähköntuotannon vertailukuvaaja

Kohteessa B havaittiin kaksi sähkönjakelun keskeytystä. 6.7.2013 kello 16:00 alkanut keskeytys kesti minuutin ja 59 sekuntia ja 29.7.2013 kello 13:20 alkanut keskeytys kesti 37 sekuntia. Kumpikaan sähkönjakelun keskeytyksistä ei aiheuttanut tietoliikennehäiriöitä eikä irrottanut tukiasemaa tietoliikenneverkosta.

Kuvassa 16 on havainnollistettu sähköverkon käyttäytyminen häiriötilanteen alkaessa. Kuvan vasemmassa laidassa näkyvät sinimuotoiset jännitteet sekä virrat. Jännitteet on merkitty ohuemmalla viivalla ja virrat paksummalla. Häiriön alkaessa kaikkien kolmen vaiheen jännitteet putoavat lähelle nollaa, mutta virta-arvot vaihtelevat runsaasti. Kuvassa näkyvä häiriötilanne kestää hyvin tarkkaan 100 ms, jonka jälkeen joko keskus kytkeytyy irti sitä syöttävästä sähköverkosta tai sähköverkon suojaerottimet aukeavat ja irrottavat verkon vioittuneet osat, samalla keskeyttäen sähkönsyötön verkkoon.



Kuva 16. Kohteessa B 6.7.2013 kello 16:00 alkaneen sähkökatkon syntyhetken jännitteet ja virrat.

7 Yhteenveto

Työssä saatiin muodostettua kattava kuva aurinkovoimalan sähköntuotantopotentiaalista sekä tuotantoprofiilista. Myös mobiilimastojen laitetilojen sähkönkulutus saatiin selvitettyä hyvin tarkkaan. Sähkönkulutusprofiilin sekä aurinko- ja tuulivoimaloiden tuotantoarvioiden avulla voidaan mitoittaa generaattorit varavoimajärjestelmän avuksi. Tuulivoimaloiden tuotantoarvioita ei tässä työssä tehtyjen mittausten perusteella voida tehdä, sillä mittausajankohtina vallitsivat liian vähätuuliset olosuhteet. Jotta saataisiin kattava kuva tuulivoimaloiden tuotantokyvystä sähkökatkojen varavoimana, tulee tuulivoimalan sähköntuotanto mitata aikana, jolloin sähkökatkot ovat yleisimmillään eli syksyllä tai talvella.

Aurinko- ja tuulivoimaloiden takaisinmaksuaikoja voidaan arvioida niiden sähköverkosta otetun sähkötehon tarpeen pienenemisen avulla. Tällöin ei kuitenkaan saada muodostettua koko kuvaa takaisinmaksuajasta, koska jos kyseinen varavoima toimii sähkön jakeluhäiriön aikana riittävän tehokkaasti akuston apuna, syntyy huomattavaa säästöä, sillä muita varavoimageneraattoreita ei kyseiselle mobiilimastolle tarvitse toimittaa.

Aurinko- tai tuuligeneraattorit eivät yksinään pysty kovinkaan kattavasti lisäämään varavoimajärjestelmän ylläpitokykyä ympäri vuoden. Koska kausivaihtelut menevät aurinko- ja tuuligeneraattoreilla ristiin, täydentävät ne osin toisiaan tuotannon osalta. Johtuen sekä auringonpaisteen että tuulenvoimakkuuden satunnaisesta vaihtelusta, ei kyseisillä generaattoreilla voida yhdessäkään korvata perinteisiä varavoimajärjestelmiä.

Lähteet

1 Viestintävirasto. 2012. Tilannekatsaus Eino-myrskyn aiheuttamista häiriöistä. https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tilannekatsaus_eino-myrsky.pdf, noudettu 24.11.2013.

2 Viestintävirasto. 2012. Määräys 54A/2012 M viestintäverkkojen ja –palvelujen varmistamisesta. https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto54A2012M.pdf, noudettu 24.11.2013.

3 Nordic Grid Disturbance and fault statistics 2010. Entso-E. http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/S%C3%A4hk%C3%B6n%20toimitusvarmuus/Pohjoismainen%20vika-%20ja%20h%C3%A4iri%C3%B6tilasto%202010%20(2).pdf. Noudettu 20.11.2013.

4 Ilmailumääräys AGA M3-6. Lentoesterajoitukset ja lentoesteiden merkitseminen. www.finlex.fi/data/normit/5327-agm3_06.pdf. Noudettu 20.11.2013

5 Ilmailumääräys AGA M3-7. Lentoaseman visuaaliset maalaitteet. http://www.trafi.fi/filebank/a/1370345225/39e1da106a125480565f99b60257a11a/12636-AGA_M3-7_2002_fi.pdf. Noudettu 20.11.2013.

6 Ilmailulaki 1194/2009. http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091194. Noudettu 20.11.2013.

7 Energiateollisuus. Sähkönjakelun keskeytystilastot 2012. http://energia.fi/sites/default/files/keskeytystilasto_2012.pdf. Noudettu 20.11.2013.

8 Sähköverkot. 1, Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta / Jarmo Elovaara, Liisa Haarla. Helsinki: 2011. ISBN: 978-951-672-360-3.

9 Darrox Products. Verkkodokumentti. http://www.darrox.com/products. Noudettu 2.12.2013.

10 Tuuliatlas – tuulitiedot Suomen kartalla. Verkkodokumentti. http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html. Noudettu 2.12.2013.

11 Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2011 / Ville Turkia, Hannele Holttinen. VTT 2012.

12 Aerodrome Standards. Aerodrome Design and Operations. ICAO Annex 14, Third edition.