

Juuso Porsanger

SÄHKÖN LAADUN MITTAAMINEN

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2016

SÄHKÖN LAADUN MITTAAMINEN

Porsanger, Juuso
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2016
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 39
Liitteitä: 1

Asiasanat: Loisteho, yliaallot, kompensointi

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää Piikkiössä sijaitsevan kurkun viljelyyn erikoistuneen kasvihuoneen sähkön laatua. Tarkoituksena oli myös selvittää, tarvitseeko laitoksen olemassa oleva kompensointi päivityksiä. Selvitys tehtiin kasvihuoneen jakokeskuksen nro. 1 takana olevasta kuormasta. Kaiken kaikkiaan jakokeskuk-
sia oli 6.

Selvitys tehtiin, koska loistehomaksuja on jouduttu maksamaa nykyisestä kompensoinnista huolimatta ja joitakin sähkökatkoksia on ollut. Mittauksissa käytettiin fluke 435 II-series energia-analysointia. Työssä käsitellään myös aiheeseen liittyvää teoriaa, kompensointilaitteistojen rakennetta ja ominaisuuksia sekä mittauksien suorittamista.

Työn tarkoituksena on toimittaa asiakkaalle kattava raportti kasvihuoneen tilasta.

THE MEASUREMENT OF POWER QUALITY

Porsanger, Juuso
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
December 2016
Supervisor: Nieminen, Esko
Number of pages: 39
Appendices: 1

Keywords: Reactive power, harmonic waves, compensation

The purpose of this thesis was to measure the quality of electricity from a certain greenhouse in Piikkiö that was specialized in farming cucumbers. The idea was also to find out whether the already existing compensation of the greenhouse needs an update or not. The measurements were taken from the load behind the greenhouse's first distribution centre. There were six distribution centres altogether.

This investigation was made to find out the reason for reactive power charges that have been paid despite the existing compensation and to find out the reason for occasional power failures. Fluke 435 II -series energy analyser was used for taking the measurements. The relevant theory, the structure and quality of compensation hardware and methods for measuring were also discussed in this thesis.

The aim was to deliver a comprehensive report about the condition of the greenhouse.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SÄHKÖN LAATU.....	7
2.1	Standardi.....	7
2.2	Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä	7
2.2.1	Taajuuspoikkeamat	7
2.2.2	Jännitteen muutokset ja välkyntä	8
2.2.3	Ylijännitteet ja transienttiylijännitteet.....	9
2.2.4	Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot	10
2.2.5	Harmonisten yliaaltojen vaikutus kaapelien mitoitukseen.....	12
2.2.6	Verkon signaalijännitteet.....	14
2.2.7	Keskeytykset	15
3	LOISTEHO.....	15
3.1	Loistehoa kuluttavia laitteita.....	16
3.1.1	Oikosulkumoottorit	16
3.1.2	Purkausvalaisimet, kuristimet ja hajakenttämuuntajat.....	16
3.1.3	Tyristorikäytöt	17
3.2	Loistehon kompensointi	17
3.3	Kompensointi puutarhalla.....	18
3.3.1	Keskitetty kompensointi.....	18
3.3.2	Estokelapariston rakenne.....	19
3.3.3	Laitekohtainen kompensointi.....	20
3.4	Kompensoinnin vaikutus	20
3.5	Loistehon hinta.....	21
4	MITTALAITTEET	22
4.1	Fluke 435 II-series energia-analysaattori	22
4.2	Flir lämpökamera	23
5	MITTAUKSET	23
5.1	Keskuksen kuvaaminen lämpökameralla	23
5.2	Mittausten aloitus ja kytkennät	24
5.3	Mittaustulokset mittausjaksolta	28
5.3.1	Jännite ja virta	28
5.3.2	Taajuus	30
5.3.3	Päto- ja loisteho.....	32
5.3.4	Tehokerroin	35
5.3.5	Yliaallot	36
6	YHTEENVETO.....	38

LÄHTEET	39
LIIKTEET	

1 JOHDANTO

Työkohteeni on Piikkiössä sijaitseva kurkun viljelyyn erikoistunut kauppapuutarha, jolla on 50 vuoden kokemus kurkun viljelystä. Puutarhalla kasvatukseen käytetään suurpainenatriumlamppuja, joita siellä on laskelmieni mukaan noin 5200 kappaletta. Laitoksessa on siis paljon reaktiivista kuormaa. Jokainen näistä valaisimista ottaa toimiakseen loistehoa verkosta, jollei loistehon kompensointia ole toteutettu oikein. Tietojeni mukaan laitos on joutunut maksamaan loistehomaksuja kompensoinnista huolimatta ja myös joitakin sähkökatkoksia on ollut. Näitä asioita lähden ensisijaisesti ratkomaan.

Puutarhalla on oma muuntamo kooltaan 1600 kVA. Puutarhalla on 6 jakokeskusta, joita jokaista syötetään muuntajasta 2x AXMK 4x185 maakaapelilla. Lisäksi laitokselle on asennettu jälkikäteen kaksi estokelaparistoa yhteiskooltaan 300 kvar. Työnsäni keskityn yhden jakokeskuksen takana olevaan kuormaan. Suunnitelmana on hankkia mittausdataa noin viikon pituiselta mittausjaksolta.

Kuvaan myös jakokeskuksen lämpökameralla etsien mahdollisia löysiä liitoksia tai syöttökaapeleiden ja suojalaitteiden liian korkeita lämpötiloja.

Mittauksissa käytän fluken energia-analysointia 435 II-Series ja flir lämpökameraa. Mittausdatan tarkasteluun käytän fluken power log 5.2 ohjelmaa.

Opinnäytetyössä tutustutaan ensin sähkön laatuun vaikuttaviin tekijöihin. Loistehoon paneudun enemmän koska se on puutarhassa suurin vaikuttava tekijä. Seuraavissa luvuissa keskitytään mittauksien suorittamiseen ja niiden tulkintaan. Havainnollistan myös työtäni paljon kuvilla.

2 SÄHKÖN LAATU

2.1 Standardi

”Pienjänniteverkoissa kolmivaihejärjestelmien pääjännite on 400 V vaihejohtimien väliltä mitattuna. Vaihejohtimen ja maajohtimen väliltä mitattuna jännite on 230 V. Pienjännitteellä tarkoitetaan normaalisti alle 1000 V:n vaihtojännitejärjestelmää tai alle 1500 V:n tasajännitejärjestelmää.”

”Sähkönlaatua käsittelevä standardi SFS-EN 50160 määrittelee raja-arvoja jännitteen ja muiden ominaisuuksien osalta pien- ja keskijänniteverkoissa. Standardissa ei määritellä yksityiskohtaisesti mittauslaitteelta vaadittavia ominaisuuksia eikä mittausmenetelmiä, vaan esitetään mitattavat suureet yleisesti ja annetaan niille raja-arvoja.”

”Standardin SFS-EN 50160 mukaan laatukriteerit tulee täyttyä kuluttajan liittämiskohdassa normaaleissa käyttöolosuhteissa. Standardissa mainitaan kuitenkin, että arvot tai rajat jotka on määritelty, oletetaan täyttyvän kuluttajan liittymispisteessä. Jännitteen laatuun vaikuttaa syöttävän verkon rakenne, sekä rakennusten omat sisäiset verkot ja niihin kytketyt laitteet.”

2.2 Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä

2.2.1 Taajuuspoikkeamat

Taajuus on yksi tärkeimmistä sähkön laadun ominaisuuksista sähköjärjestelmän toiminnan kannalta. ”Sähköjärjestelmän taajuudella ja teholla on erityinen suhde, jossa muutos toisessa vaikuttaa toiseen. Sähköjärjestelmä on tasapainossa, kun generaattorin syöttämä teho ja verkon kuormien ottama teho ovat yhtä suuret. Epätasapaino aiheuttaa joko verkon taajuuden kasvua tai laskua eli generaattorin roottorin pyörimisnopeuden muutosta.” (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2)

”Taajuuspoikkeamat ovat melko epätavallisia suurehkojen sähkölaitosten jakelualueilla. Yleensä niitä esiintyy verkon saarekekäytössä, varavoimakonekäytöissä ja pie-

nilä jakelualueilla, kuten saarilla. Taajuuspoikkeamien pääasialliset syyt ovat nopeat kuormitusmuutokset yksittäisillä generaattoreilla, huonot generaattorin ohjaus- ja säätölaitteet sekä joskus epästabiili ja ylikuormitettu maaseutuverkko. Esimerkiksi erittäin suuren kuorman kytkeytyminen pois verkosta voi aiheuttaa taajuuden huojuntaa.” (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2)

Suomen kaltaisissa isoissa verkoissa merkittävät taajuuspoikkeamat ovat erittäin harvinaisia. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2)

2.2.2 Jännitteen muutokset ja välkyntä

”Sähkökäyttäjälle tärkeä sähkön laatutekijä on toimitetun jännitteen taso. Sähkölaitteet voivat toimia viallisesti, jos jännitetaso on liian alhainen tai liian suuri. Jännitetason merkitys korostuu, kun ollaan lähellä sähkökäyttäjää.” (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2)

Sähkön laadun kannalta stabiili jännitetaso on tärkeä niin kuluttajalle kuin sähkönjakelijalle. Liian pieni jännite pienentää johtimien siirtokapasiteettia, jolloin käyttövarmuus voi vaarantua. Liian suuri jännite ei ole myöskään hyväksi, koska verkon eristysrakenteet on mitoitettu tietylle jännitteelle. Jännitetason pitäminen tasaisena vähentää häviöitä eli sähkönjakelija pystyy siirtämään sähköä taloudellisemmin.

Nopeat jännitteen muutokset, jännitekuopat ja jännitteenousut, aiheutuvat yleensä salaman linjoihin indusoimista jännitteistä, epäsymmetrisistä vioista, isojen kuormitusten päälle ja poiskytkemisistä ja nopeista jälleen kytkennöistä. Nopeat jännitemuutokset aiheuttavat valojen välkyntää ja joskus ongelmia herkille kuormille, kuten tietokoneille ja vastaaville laitteille. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2-3)

Välkyntä aiheutuu yleensä tasaisesti tai satunnaisesti vaihtelevista isoista kuormista, valokaariuuneista, pistehitsauksesta ja kuljettimien moottoreista koska laitteiden otama virta vaihtelee nopeasti. Se aiheuttaa valojen välkyntää sekä ongelmia tietoko-

neiden toiminnalle ja kommunikaatiolaitteille. Usein ja toistuvasti esiintyviä jännitemuutoksia nimitetään välkynnäksi. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 3)

2.2.3 Ylijännitteet ja transienttiylijännitteet

Ylijännitteitä syntyy yleensä sähköverkon sisäisistä komponenteista, kuten kondensaattorien kytketymisestä tai luonnonilmiöistä, kuten salamaniskusta. Lisäksi monet elektroniset sähkölaitteet muodostavat ylijännitteitä, kun ne kytketään kuluttajan verkkoon. Ylijännite voi johtaa sähkölaitteiden rikkoutumiseen, jos niiltä suojautumiseen ei ole varauduttu. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2-3)

Lyhytaikaisia ylijännitteitä kutsutaan transienttiylijännitteiksi, joka on lyhytaikainen impulsiivinen tai värähtelevä ylijännite. Kesto aika on maksimissaan muutama millisekunti. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2-3)

Transienttiylijännitteet jaotellaan tapahtuman keston perusteella pitkiin, keskipitkiin ja lyhyisiin transientteihin. Pitkät transientit, yli 100 μ s, syntyvät esimerkiksi sulakkeen palamisesta ja kompensointikondensaattorin kytkennästä. Keskipitkät, 1...100 μ s, syntyvät katkaisijan toiminnasta, linjaan tai sen läheisyyteen iskeneestä salamasta. Lyhyet transientit, alle 1 μ s, aiheutuvat paikallisten kuormien kytkennästä. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 3)

Transienttiylijännitteet jaotellaan myös niiden taajuuden mukaan korkeataajuisiksi, keskitaajuisiksi ja pientaajuisiksi transienteiksi. Nämä värähtelevät transientit syntyvät yleensä sähköverkon komponenttien normaaleista toiminnoista. Taajuudeltaan yli 500 kHz transienttia, joka kestää muutaman millisekunnin, kutsutaan korkeataajuisiksi transientiksi. Korkeataajuisia transienteja syntyy yleensä kytkentätoimenpiteistä tai impulsiivisen transientin sivuvaikutuksena. Transientit joiden taajuus on 5...500 kHz ja joiden kesto mitataan kymmenissä millisekunneissa, kutsutaan keskitaajuisiksi transientiksi. Keskitaajuisia transienteja aiheutuu yleensä kondensaattorien varautuessa ja purkautuessa. Matalataajuinen transientti on alle 5 kHz ja kestol-

taan 0,3...50 ms. Matalataajuisia transientteja syntyy sähköverkon komponenttien toiminnasta. (SFS-EN 50160, 8-9)

Pienitaajuisia alle 5 kHz ylijännitteitä ei luokitella transienteiksi. Niiden taajuus sisältö ja amplitudi ovat transientteja pienempiä, mutta niiden kesto aika on pidempi. Pienitaajuisia ylijännitteitä syntyy esimerkiksi kytkinoperaatioista ja kuorman kytkemisestä pois verkosta. Pienitaajuisen ylijännitteen keston ja amplitudiin vaikuttavat merkittävästi generaattoreiden pyörimisnopeudensäätö ja muut jännitesäätöön osallistuvien komponenttien säätöominaisuudet. Yleisin pienitaajuisen ylijännitteen aiheuttaja on yksivaiheinen maasulku, joka saa aikaan muiden vaiheiden jännitteen nousun. (SFS-EN 50160, 8-9)

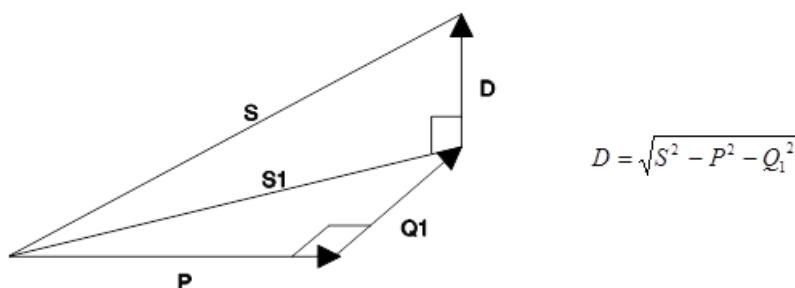
”Transientit aiheuttavat usein ongelmia tietokoneiden käyttäjille; tietoa saattaa tuhoutua, laitteet voivat käynnistyä itsestään tai vahingoittua. Salamaniskusta aiheutunut impulsiivinen transientti on ylijännitteistä vaarallisin sähkö- laitteistoille. Yleinen tapa kytkeytymiselle on suora salamanisku vaihejohtimeen muuntajan tosiossa tai ensiossa. Tästä syntyy suuri ylijännitepiikki, joka voi johtaa sähkölaitteiden rikkoutumiseen. Salama voi myös kytkeytyä sähköverkkoon epäsuorasti induktiivisesti tai kapasitiivisesti.” (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 3)

2.2.4 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Normaalitilanteessa vaihtojännitteiden- ja virtojen käyrämuodot ovat puhtaasti sinimuotoisia. Yliaalloja aiheuttavat epälineaariset kuormat. Epälinearisessa kuormassa syntyy perustaajuisesta sinikäyrästä poikkeavia virtoja, jotka aiheuttavat jännitehäviöitä järjestelmän impedansseissa ja synnyttävät säröytynyttä jännitettä kulutuspiisteeseen. Säröytynyt aaltomuoto muodostuu, kun perustaajuiseen siniaaltoon summataan eri taajuiset taajuuskomponentit eli harmoniset yliaallot. Nämä taajuuskomponentit ovat yleensä siniaallon perustaajuuden monikertoja. Yliaallon järjestysluku kertoo, mikä monikerta perustaajuudesta se on. Näin esimerkiksi 50 Hz:n järjestelmässä 3. yliaalto löytyy taajuudelta 150 Hz, 5. yliaalto 250 Hz:n kohdalta jne. (ST-kortisto 2006, ST 52.51.03, 1-3)

Harmonisia yliaaltoja aiheuttavat nämä epälineaariset kuormat, joiden ottama virta ei ole suoraan verrannollinen laitteen ottamaan käyttöjännitteeseen. Yliaaltoja aiheuttavat tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, hakkuriteholähteet, energiansäästöloistelamput, puolijohdekytkimet, tyristorisäätimet, tietotekniikan laitteet, kodin elektroniikka, purkauslamput, hitsauslaitteet, valokaariuunit, UPS-laitteet, sekä vikaantuneiden moottorien ja muuntajien magneettipiirit. Lisäksi loistehon kompensointi voi muodostaa resonansseja yliaaltojen kanssa ja näin ollen voimistaa yliaaltoja. Harmoniset yliaallot voivat voimistua sarja- ja rinnakkaisresonansseissa ja aiheuttavat ylimääräisiä häviöitä sähkönsiirrossa, sähkön tuottamisessa ja kuormalaitteissa. Yliaallot aiheuttavat myös eristeiden enneaikaista kulumista ja laskevat komponenttien elinikää. Suuritehoiset yliaallot voivat pahimmassa tapauksessa vaurioittaa herkkiä komponentteja. Lisäksi yliaallot aiheuttavat EMC-häiriöitä, värinää ja äänihäiriöitä. (ST-kortisto 2006, ST 52.51.03, 1-3)

Yliaaltovirtoja sisältävässä verkossa esiintyy pätö- ja loistehon lisäksi yliaaltojen muodostama säröteho D . Säröteho koostuu harmonisista yliaaltotaajuuksista, joten sitä ei ole mahdollista kompensoida perustaajuudelle mitoitetuilla kompensointilaitteilla. Säröteho on otettava huomioon myös laskiessa kuorman kokonaisnäennäistehoa, kuten seuraavassa kuvassa 1. (ST-kortisto 2006, ST 52.51.03, 1-3)



Kuva 1. Säröteho D

Yliaallot voivat olla myös epäharmonisia. Epäharmonisia yliaaltoja esiintyy paljon vähemmän kuin harmonisia yliaaltoja ja niistä aiheutuvat ongelmat jäävät yleensä pieniksi. Tämän takia niille ei ole, ainakaan toistaiseksi, määritelty raja-arvoja kansainvälisiin standardeihin. Tulevaisuudessa tulevat lisääntymään laitteet, kuten taajuusmuuttajat, aktiiviset suodattimet ja pulssinleveysmodulaatioon perustuvat invertterit, jotka pystyvät muodostamaan yliaaltoja koko taajuusalueelta. Tämän takia tie-

toa ja dataa kerätään nykyisin epäharmonisista yliaalloista tulevaisuuden standardisointeja varten. (Energiateollisuus 2014, Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje, 18)

2.2.5 Harmonisten yliaaltojen vaikutus kaapelien mitoitukseen

Kolmas yliaalto on kasvihuoneilla tyypillinen ongelma ja sitä esiintyykin todennäköisesti kaikilla kasvihuoneilla jossain määrin. Kasvatuksessa suuressa määrin käytetyt suurpainenatriumvalaisimet ovat ongelman aiheuttaja. Vaiheiden kolmannet yliaallot summautuvat nollajohtimessa, aiheuttaen näin mahdollisen virran nousun johtimessa. Vaikuttaen näin kaapelin koon mitoitukseen. Standardi SFS 6000-5-52, liite 52E määrää ilmiölle toimintaohjeet.

Jos nollajohtimessa kulkee virta ilman, että vaihejohtimien virta vastaavasti pienee, nollajohdin pitää ottaa huomioon piirin kuormitettavuuden mitoituksessa. Tällaisia virtoja voivat aiheuttaa kolmivaihepiirien merkittävät kolmannet harmoniset yliaallot. Jos näiden harmonisten yliaaltojen tehollisarvo on yli 15 % kokonaisvirran tehollisarvosta, nollajohdin ei saa olla pienempi kuin vaihejohtimet. (SFS 6000-5-52, 523.6.3)

Jos kolmannen harmonisen yliaallon ja sen parittomien kerrannaisten aiheuttamien virtojen tehollisarvon osuus kokonaisvirran tehollisarvosta on suurempi kuin 33 %, voi olla tarpeen kasvattaa nollajohtimen poikkipinta- alaa. (SFS 6000-5-52, 524.2.2)

Jos nollajohtimessa kulkee kohdan 523.6.3 mukaisesti huomattava virta ilman, että vaihejohtimissa kulkeva virta vastaavasti pienenee, on se otettava huomioon varmistettaessa piirin kuormitettavuutta. (SFS 6000-5-52, liite 52E)

Tällainen nollajohtimen virta johtuu vaihevirroista, joissa on sellaisia harmonisia yliaaltoja, jotka eivät kumoudu nollajohtimessa. Tärkein harmoninen yliaalto, joka ei kumoudu on yleensä kolmas yliaalto. Kolmannen yliaallon aiheuttama nollajohtimen

virta voi ylittää vaihejohtimen käyttötaajuuden virran ja nollajohtimen virralla voi olla ratkaiseva vaikutus piirin kaapelien kuormitettavuuksiin. (SFS 6000-5-52, liite 52E)

Jos nollajohtimen virta todennäköisesti on suurempi kuin vaihejohtimen virta, kaapelikoko suositellaan valittavaksi nollajohtimen virran perusteella. (SFS 6000-5-52, liite 52E)

Jos kaapelinkoon valinta perustuu nollajohtimen virtaan, joka ei ole huomattavassa määrin vaihevirtaa suurempi, on tarpeen pienentää kolmen kuormitetun johtimen kuormitettavuutta. (SFS 6000-5-52, liite 52E)

Seuraavassa taulukossa esitetyt korjauskertoimet koskevat kaapeleita, joissa nollajohdin on neli- tai viisijohtimisen kaapelin vaipan sisäpuolella, ja nollajohtimen materiaali ja poikkipinta ovat sama kuin vaihejohtimella. Nämä korjauskertoimet on laskettu perustuen kolmannen yliaallon virtaan. Jos esiintyy huomattavasti, so. yli 15 %, korkeampia harmonisia 9. 12. jne. voi olla tarpeen käyttää pienempiä korjauskertoimen arvoja. Jos vaiheiden välillä on yli 50 % epätasapaino, voi olla tarpeen käyttää pienempiä korjauskertoimen arvoja. (SFS 6000-5-52, liite 52E)

Taulukko 1. Yliaalloista johtuvat 4- tai 5- johdinkaapeleissa käytettävät korjauskertoimet. (SFS 6000-5-52, E.52.1)

Kolmannen yliaallon osuus vaihevirrasta %	Korjauskerroin	
	Mitoitus tehdään vaihevirran perusteella	Mitoitus tehdään nollavirran perusteella
0...15	1	-
15...33	0,86	-
33...45	-	0,86
45<	-	1

Esimerkkinä, jos suunniteltu virta on 39 A ja kolmannen yliaallon osuus tässä tapauksessa 40 %, tulee kaapeli mitoittaa nollajohtimen virran mukaan. Harmoniset yliaallot summautuvat nollajohtimeen, jonka virta on $39 \cdot 0,4 \cdot 3 = 46,8$ A. Kun käytetään korjauskorjainta, saadaan suunnitelluksi virraksi $46,8 / 0,86 = 54,4$ A. Suunnitellulle virralle 54,4 A vaaditaan standardin taulukon B.52.2 mukaan 10 neliön kuparijohdin, kun käytetään PVC- eristeistä kaapelia ja asennustapaa C. (SFS 6000-5-52, liite 52E)

Taulukko 2. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PVC- eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet, yleensä kolme kuormitettua johdinta, pienillä poikkipinnoilla myös kaksi kuormitettua johdinta. Johtimen lämpötila: 70 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C ilmassa, 15 °C maassa. (SFS 6000-5-52, B.52.2)

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa						
	A		B		C		D
	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitettua johdinta	kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		–		317		370
185	236		–		361		420
240	278		–		427		480
300	316		–		492		550
Alumiini							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		–		240		280
185	187		–		274		330
240	219		–		323		375
300	257		–		372		430

2.2.6 Verkon signaalijännitteet

Nykyään verkko-operaattorit voivat käyttää yleistä jakeluverkkoa siirtämään viestejä liittämällä jännitteeseen signaalin. Signaalijännitteellä voidaan viestiä käskyjä kaukana oleville jakeluverkon järjestelmille käyttäen siirtojohtoja. Yleisesti käytössä olevat signaalijännitteet on jaettu kolmeen eri tyyppiin taajuuden suuruuden mukaan. Verkonkäskysignaali on sinimuotoinen ja taajuudeltaan 110...3000 Hz. Sähkö-

verkon kantoaaltosignaali on sinimuotoinen ja taajuudeltaan 3...148,5 kHz ja merkinantesignaali taas lyhytaikainen transientti halutussa kohtaa jänniteaaltoa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 4)

Verkon perustaaajuuteen summautuvat signaalijännitteet, syntyvät viestinsiirron kantoaaltosignaaleista, indusoituneista tutka- ja radiosignaaleista, sähköpurkauksista, valokaarilampuista, plasmaleikkureista ja purkauslampuista. Kyseiset signaalit voivat kulkeutua verkkoa pitkin häiriten radiolähtimiä, signaalinsiirtoa ja tiedonkäsittelylaitteita. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 3)

2.2.7 Keskeytykset

”Sähkönjakelun keskeytys on edelleen yksi yleisimmistä häiriöistä etenkin keskijänniteverkon avojohtolinjoilla. Keskeytys voi olla häiriökeskeytys tai suunniteltu korjaus- tai rakennustoimenpiteen vaatima työkeskeytys. Joskus saatetaan myös joutua rajoittamaan sähköntoimitusta tuotanto- tai siirtokapasiteettiongelmiin vuoksi. Häiriökeskeytysten aiheuttajia ovat yleensä salamet, myrskyt, rakenne- ja materiaalivirheet, generaattoriviat, muuntajaviat, maankaivuu, puut ja eläimet.” (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 2)

3 LOISTEHO

Eräät kulutuslaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon ohella myös loistehoa. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Loistehohan johuu kuormituksen reaktiivisuudesta. Reaktiivinen kuorma palauttaa osan energiastaan takaisin. Tämä palaava energia (= virtaa) kuormittaa siirtoverkkoa ja muuntajia, joiden virrankäsittelykyvyn tulee kestää myös loisvirran osuus. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 1-2)

Loisteho ei osallistu niin sanotusti varsinaisen työn tekemiseen vaan pitää yllä tarvittavaa magneettikenttää. Mikäli loistehoa ei tuoteta paikallisesti kuormaa varten, se otetaan sähköverkosta. Tällöin loisteho kasvattaa kuorman virtaa, joka pienentää johdinten kapasiteettia siirtää hyödyllistä pätötehoa. Eli siis pienentämällä loisvirtakomponenttia myös kokonaisvirta pienenee. Tällöin pienennetään samalla pätötehohäviöitä. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 1-2)

3.1 Loistehoa kuluttavia laitteita

Taulukko 3. Eri kuormitusten tyypillisiä tehokertoimia ja loistehotarpeita. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 2)

Kuorma	Tehokerroin $\cos \varphi$ [WVA]	Loistehotarve $\tan \varphi$ [VARW]
Moottorit	0,7...0,85	1,0...0,62
Tyristorikäytöt	0,4...0,75	2,3...0,9
Pienjännitehalogeeni- valaisinjärjestelmät	0,5	1,7
Loistepurkausvalaisimet - kompensoimattomat - kompensoidut	0,5 0,9	2 0,5

3.1.1 Oikosulkumoottorit

Oikosulkumoottorit tarvitsevat loistehoa pitääkseen yllä magneettikenttää. Oikosulkumoottori tekee varsinaisen työn verkosta ottamallaan pätöteholla. Oikosulkumoottoreiden keskimääräinen loistehon tarve on noin 1kvar yhtä pätötehon kW:a kohden. Suhde vaihtelee moottorin suuruuden ja kuormituksen mukaan. Moottorin kuormituksen ollessa pieni loistehon suhde pätötehoon kasvaa. Kuormituksen ollessa nimellinen loistehon suhde pätötehoon pienenee. Tällöin tehokerroin vastaa koneen ilmoitettua tehokerrointa $\cos \varphi$.

3.1.2 Purkausvalaisimet, kuristimet ja hajakenttämuuntajat

Purkauslamppuvalaisimet, kuristimet ja hajakenttämuuntajat ottavat verkosta noin 2kvar / 1kW. Kuristimella varustettujen purkauslamppujen $\cos \varphi$ on vain 0,5:n luok-

kaa. Käytettäessä suuria määriä purkauslamppuvalaisimia kasvaa loistehon määrä suureksi.

3.1.3 Tyristorikäytöt

”Tyristorikäyttöjen ottama loisteho on lähes kokonaan ohjausloistehoa. Loistehon kulutuksen lisäksi tyristorikäytöt usein synnyttävät haitallisia kondensaattoreita kuormittavia yliaaltoja.”

3.2 Loistehon kompensointi

Kulutuslaitteiden tarvitsema loisteho on mahdollista tuottaa paikallisesti laitteiden läheisyyteen sijoitettavilla kompensointikondensaattoreilla. Tuottamalla loistehoa paikallisesti voidaan verkkoa käyttää tehokkaammin, verkossa siirtyvän loistehon määrä pienenee eikä loisvirta kasvata syöttövirran rms-arvoa, joten häviöt ja jännitteen alenema pienenevät. Tyypillisin kompensointitapa Suomessa on rinnakkaiskompensointi. Toinen vaihtoehto on sarjakompensointi mutta sitä käytetään harvemmin, lähinnä pitkillä siirtolinjoilla pienentämään jännitealenemaa. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 1-2)

Kompensointi toteutetaan yleensä kompensointikondensaattoreilla niiden hintatason ja vähäisen huollon tarpeen takia. Kondensaattoreilla kompensointi perustuu siihen, että niiden kapasitiivinen reaktanssi kumoaa kuormituksessa syntyvän induktiivisen reaktanssin. Nykyaikaiset kompensointiparistot ovat usein estokelaparistoja, koska ne eivät resonoi rinnan verkon kanssa ja lisäksi kela suojaa kondensaattoria yliaalloilta. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 5)

3.3 Kompensointi puutarhalla

3.3.1 Keskitetty kompensointi



Kuva 2. Estokelaparisto puutarhalla

Keskitetty kompensointi on yleinen ja käytännössä paras vaihtoehto kompensoinnin toteutukselle. Keskitetyn kompensoinnin oikeanlaista toimintaa on helpompi seurata ja sen ylläpito on helppoa. Puutarhaan on jälkikäteen asennettu kaksi yhteiskooltaan 300 kvarin estokelaparistoa laitoksen rinnalle. Paristot sijaitsevat aivan muuntajan vieressä ja niitä syötetään muuntajasta 2x AXMK 4x185 maakaapelilla.

Yliaaltojen lisääntyessä sähköverkoissa estokelaparisto on lähes syrjäyttänyt automaattikkapariston kompensoinnin perusratkaisuna. Käytännössä lähes kaikkien kohteiden kompensoinnit joudutaan toteuttamaan estokelaparistoilla, sillä kaikissa kohteissa esiintyy jossain määrin yliaaltoja. Olemassa oleville perinteisille kompensointiparistoille voidaan korjauksella saada vielä useita käyttövuosia lisää, mutta uusinnat tulee tehdä estokelaparistoilla. Estokelan yleisin viritystaajuus on 189 Hz, mutta se on tarkistettava aina kohteen paikalliselta verkkoyhtiöltä. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 1-5)

3.3.2 Estokelapariston rakenne



Kuva 3. Estokelapariston rakenne. (Nokia capacitors pienjännitetuotteiden tuoteopas, 9)

3-vaiheisen kompensointiyksikön perusrakenteen muodostavat kolme kondensaattoria, jotka on kytketty kolmioon ja jokaisen vaiheen väliin jää yksi kondensaattori. Tällainen yksikkö varustetaan kontaktoreilla, varokkeilla ja purkausvastuksilla sekä estokelaparistoissa kondensaattorin kanssa sarjaan kytkettävällä estokelalla. Suuria kompensointitehoja tuotetaan kytkemällä yksiköitä rinnan. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 5-6)

Kontaktoreiden ohjaus tulee loistehosäätimeltä, joka kytkee tarvittavan määrän yksikön kompensointiportaita käyttöön. Säätimellä voidaan ohjata useita yksiköitä. Kompensointiportaat kannattaa valita siten, että kompensointiparisto koostuu suurimmista ja pienemmistä portaista. Ohjattavia kompensointiportaita voi olla esimerkiksi 6 tai 12 kpl. Havahtumisrajojen ylittyessä säädin ohjaa kytkentätoimenpiteitä halutun tehokertoimen ylläpitämiseksi. Säädin valvoo ohjattavan kompensointiyksi-

kön ja verkon toimintaa sekä kuntoa ja hälyttää tarvittaessa. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 5-6)

3.3.3 Laitekohtainen kompensointi

Laitekohtaisella kompensoinnilla tarkoitetaan sitä, että loistehoa tuottava laite, tässä tapauksessa purkausvalaisin varustetaan kondensaattorilla, joka tuottaa laitteen vaatiman määrän loistehoa. Valaisinvalmistajat asentavat valaisimiinsa kompensointikondensaattorin, joka muuttaa valaisimen tehokertoimen $\cos \phi$:n 0,9: ään. Laitekohtainen kompensointi on kuitenkin poistumassa niiden hankalan ylläpidon vuoksi ja uusissa asennuksissa sitä ei enää suositella. (ST-kortisto 2014, ST 52.15, 4)

3.4 Kompensoinnin vaikutus

Kompensoinnissa pyritään tuottamaan itse tarvittava loisteho mahdollisimman lähellä kulutusta, kun tarvittavaa loistehoa ei enää oteta energialaitoksen verkosta vältytään siirtomatkoilta ja loisvirran aiheuttamilta häviöiltä. Pätö- ja perustaaajuinen loisteho yhdessä muodostavat näennäistehon S . Sähköverkko eli mm. kaapelit, muuntajat ja kytkinlaitteet mitoitetaan kokonaisvirran mukaan, joka sisältää loistehon syntyyn tarvittavan virtakomponentin. Kuva 4 on yksinkertainen todiste siitä.

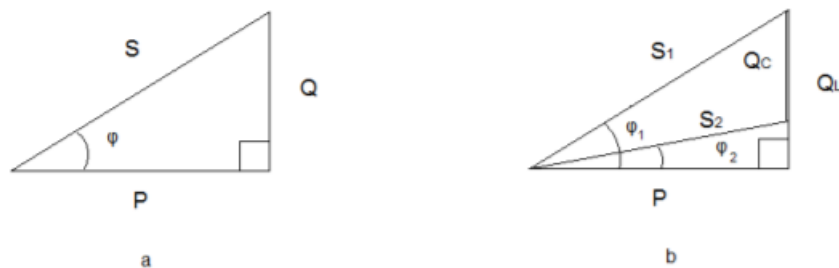
$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

$I = \textit{kokonaisvirta}$
 $S = \textit{näennäisteho}$
 $U = \textit{pääjännite}$

Kuva 4. Kokonaisvirta I pienenee, kun näennäisteho S pienenee

Laite- ja ryhmäkohtaisella kompensoinnilla on vaikutusta ko. laitteiden ja ryhmien virta-arvoihin ja keskitetyllä kompensoinnilla eli tässä tapauksessa estokelapariestolla vaikutetaan taas sähköliittymän sisäisen sähköjakeluverkon virtoihin. Virran pienemisellä on myös suora vaikutus lämpöhäviöihin, kaapeleiden ja keskusten lämpötilat laskevat, näin niiden elinkaari kasvaa.

Kuvassa 5 on tehokolmiolla havainnollistettu kompensoinnin vaikutusta siirrettävään tehoon. Q_L on kuorman kuluttama loisteho, ja Q_C on kompensoinnilla tuotettu loisteho, näiden vaikutus on vastakkainen jolloin $Q_L - Q_C = Q$ ja S_2 on näennäisteho kompensoinnin jälkeen.



Kuva 5. Kompensoinnin vaikutus a) kompensoimaton b) kompensoitu

3.5 Loistehon hinta

”Sähkölaitokset antavat kuluttajan ottaa loistehoa verkosta yleensä noin 20 %:n verran pätötehon huipusta. Ylittävältä osalta peritään loistehomaksu, jonka tariffit vaihtelevat sähkölaitoksittain.”

Kompensoinnilla saavutetaan parempi sähkön laatu, josta on etua niin sähköverkkoyhtiöille kuin asiakkaillekin. Suomen valtakunnallinen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj sekä energiamarkkinavirasto ovat velvoittaneet paikallisia verkkoyhtiöitä huolehtimaan loistehon hallinnasta, ja sähköverkkoyhtiöt ohjaavat asiakkaitaan kompensoimaan loistehoaan loistehomaksuilla.

Puutarhan sähköverkkoyhtiö Caruna Oy on määrittänyt induktiiviselle loisteholle tietyt tariffit, maksut määräytyvät kunkin kuukauden mitatun loistehohuipun perusteella siten, että loistehohuipusta vähennetään sallittu loistehon määrä. Mittausjakso on yksi tunti. Sallitun loistehon määrä on 20 prosenttia laskettuna kuukauden pätöteho huipun suuruudesta. Kapasitiiviselle loisteholle Caruna Oy ei ole asettanut loistehomaksuja. (Caruna Oy 2016, Verkkopalveluhinnasto)

4 MITTALAITTEET

4.1 Fluke 435 II-series energia-analysaattori



Kuva 6. Kuvassa Fluke 435 II-Series energia analysaattori ja kaikki mittauksen suorittamiseen tarvittavat tarvikkeet.

Käytössäni ollut Fluke 435-II series energia-analysaattori tallensi mittaustiedot suoraan sisäiseen muistiinsa, joita oli jälkeempään mahdollista tarkastella ja analysoida käyttäen power log 5.2 ohjelmaa.

Mittauksissa käytin logger tiedonkeruutoimintoa jolla voi muokata mittaasetuksia ja saada analyysit haluamistani valituista parametreista. Valitsin parametreiksi virran, jännitteen, taajuuden, pätötehon, loistehon, näennäistehon, tehokertoimen ja harmoniset yliaallot.

4.2 Flir lämpökamera

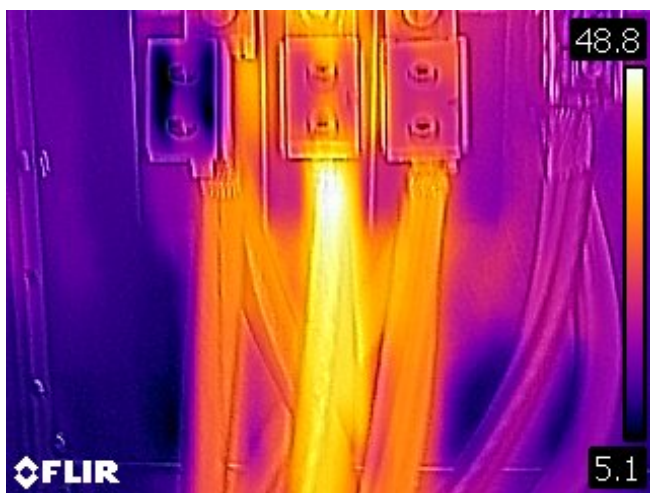


Kuva 7. Kuvassa FLIR C2 lämpökamera.

Ennen energia-analysaattorin kytkemistä kuvasin keskuksen lämpökameralla. Tämä on hyvä tapa tarkistaa ovatko keskuksen liitokset kunnossa ja etteivät johtimet ja suojalaitteet altistu liian suurille lämpötiloille.

5 MITTAUKSET

5.1 Keskuksen kuvaaminen lämpökameralla



Kuva 8. Jakokeskus 1: sen syöttökaapelit 2x AXMK 4x185

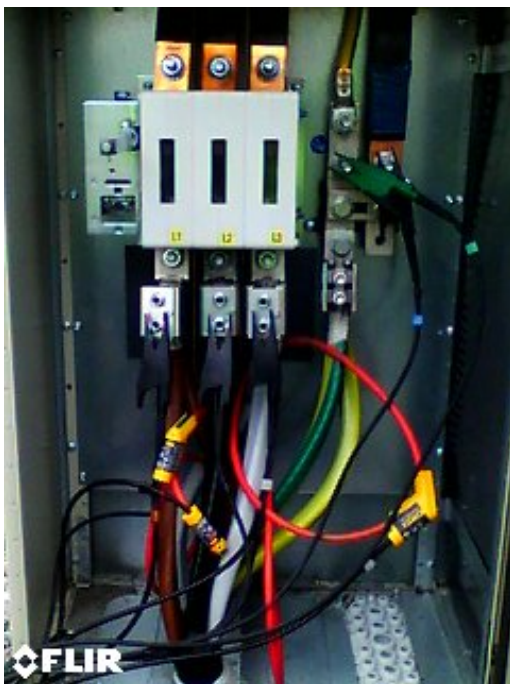
Aloitin työt kuvaamalla keskuksen syöttö- ja ryhmälähtökaapelit. Kuvassa vasemmalta lähtien on vaiheet L1, L2, L3 ja oikealla reunassa tummempana näkyy PEN-johdin. Oikeassa reunassa näkyy lämpötilat, alhaalla ulkoilman lämpötila ja ylhäällä loistaa kuvan lämpimimmän kohdan lämpötila. Kuvasta näkee, että vaihe L2 on näistä selvästi lämpimin (48.8 °C). Vaihe kakkosella on siis suurin kuorma.



Kuva 9. Jakokeskus 1:n ryhmälähdöt.

Ryhmäkaapeleissa ei ilmene ongelmia.

5.2 Mittausten aloitus ja kytkennät



Kuva 10. Mittarin virtapihdit ja jänniteleuat kytkettyinä

Kytkein mittarin suoraan jakokeskus 1: sen syöttökaapeleihin. Punaiset virtapihdit on asetettu jokaisen vaiheen ympärille niin että virran menosuunta on ylöspäin ja PEN-johtimeen päinvastoin. Virtapihtejä asentaessa on tärkeää huolehtia, ettei silmukan läpi kulje muita johtimia. Mustat hauen leuat on kiinnitetty vaiheiden jännitteisiin osiin, maa ja nolla on otettu PEN-johtimen erotuspalikasta niin kuin oikeasta yläkulmasta näkee. Työturvallisuus on hyvä pitää mielessä kytkentöjä suoritettaessa. On tärkeää myös tarkistaa, että oikea virtapihti on valittuna, oikeiden mittaustulosten takaamiseksi (Kuva 11).

SETUP SCALING		FLUKE 435-II V03.02	
AMPS SCALING			
	PHASE	NEUTRAL	
Amp clamp:	◀ i430TF ▶	i430TF	
Range:	AUTO	AUTO	
Nominal range:	300 A	300 A	
Sensitivity:	x10 AC only	x10 AC only	
Ratio:	1:1	1:1	
	PHASE	BACK	
	NEUTRAL		

Kuva 11. Setup Scaling

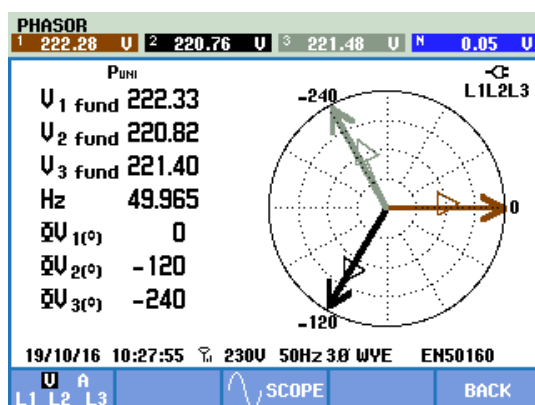


Kuva 12. Kytkenät valmiina

Mittari ja GPS-paikannin tarvitsivat vielä verkkovirran, jotta ne eivät sammuisi kesken mittaussjakson. Mittausjakson pituudeksi päätin 19.10.2016–25.10.2016 eli noin

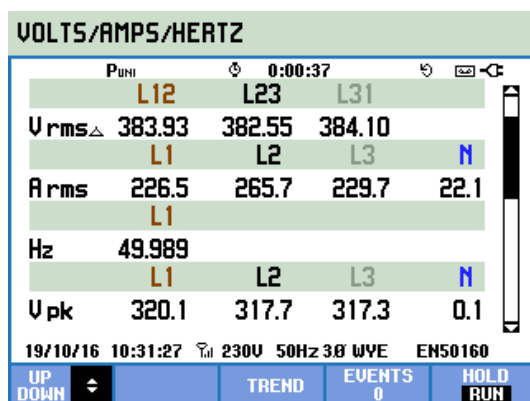
viikon mittaiseksi. Jätin mittarin keskuksen sulakekaappiin (kuva 12). Suojasin lopuksi virtajohdot ja keskuksen ovet säältä.

Otin muutamia kuvakaappauksia havainnollistaakseni tilannetta (kuvat 13-17). Nämä kuvat kertovat vain puutarhan hetkelliset arvot. Kytkenät tarkastin käyttäen analysaattorin PHASOR toimintoa (kuva 13). Suosittelen tekemään aina kyseisen tarkastuksen, kun aloittaa uuden mittauksen.



Kuva 13. Jännitteiden ja virtojen vektorimuodot

Kytkenän oikeellisuuden voin todeta vaihevirran ja vaihejännitteen vaihe-erosta. Jos esimerkiksi vaihe-ero olisi yli 90 astetta, olisi virtapihti väärinpäin, tämän näkee myös pätötehon etumerkistä.



kuva 14. Jännitteet/virrat/taajuus

Aiemmin totesin lämpökameralla L2: sen korkeamman lämpötilan. Kuvasta selviää, että siellä kulkee 30-40 A enemmän virtaa L1 ja L3 nähden.

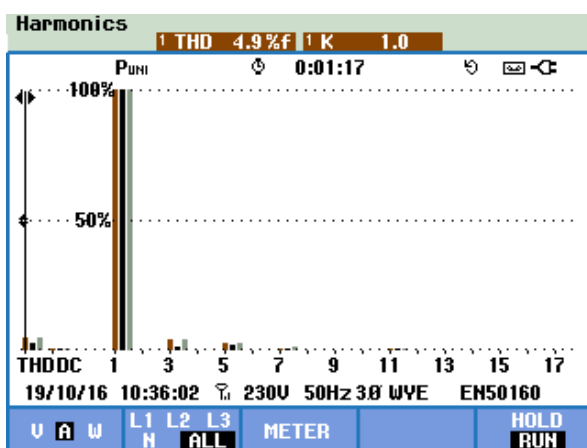
POWER & ENERGY				
	PUNI 0:00:04			
	L1	L2	L3	Total
kW	50.03	58.71	50.59	159.33
	L1	L2	L3	Total
kVA	50.41	58.75	50.87	160.50
	L1	L2	L3	Total
kvar	4.63	0.20	5.60	1.22
	L1	L2	L3	Total
PF	0.99	1.00	0.99	0.99

19/10/16 10:28:39 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160

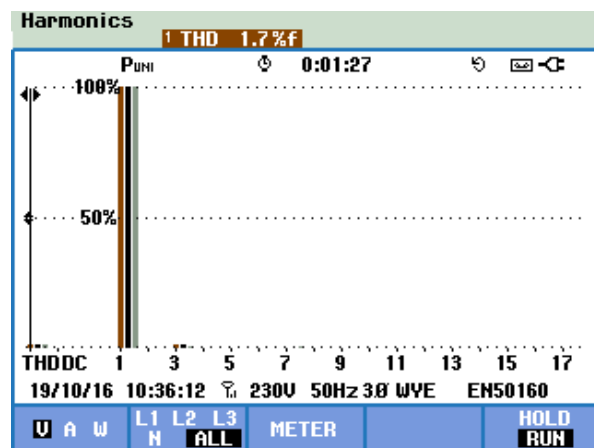
UP DOWN TREND EVENTS 0 HOLD RUN

Kuva 15. Pätöteho (kW), Näennäisteho (kVA), Loisteho (kvar) ja Tehokerroin (PF)

L1:ssä näyttäisi olevan 4.63 kvar kapasitiivista loistehoa ja L3:ssa 5.60 kvar induktiivista loistehoa, tässä tilanteessa ne lähes kumoavat toisensa. Loistehomaksuja ajatellen tämä mittaus todistaa, että puutarhan loistehon kompensointi on erittäin hyvällä mallilla. Mutta pidempiaikainen mittaus kertoo pysyvätkö arvot jatkuvasti yhtä hyvissä lukemissa.



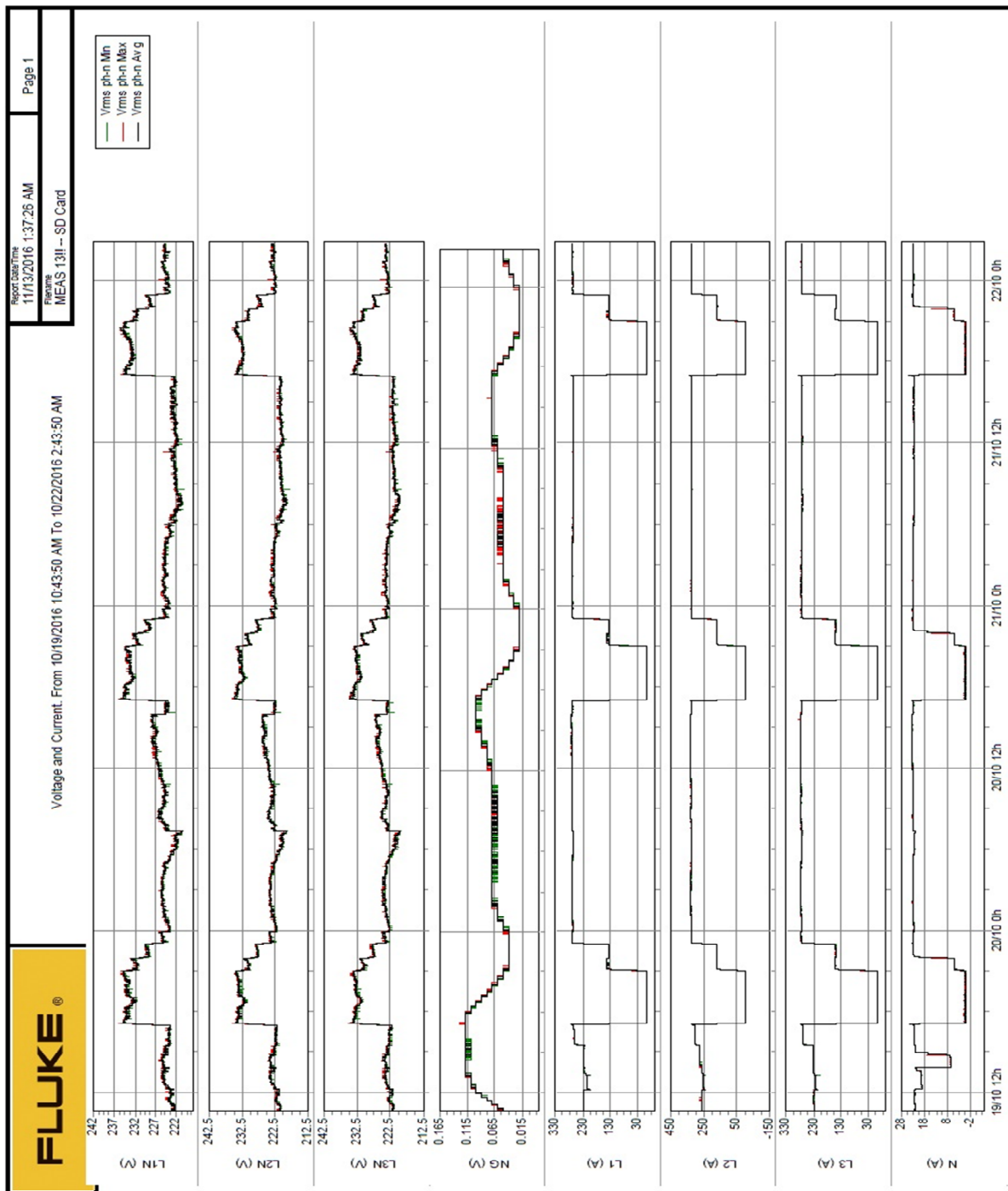
Kuva 16. Virran yliaallot



Kuva 17. Jännitteen yliaallot

5.3 Mittaustulokset mittausjaksolta

5.3.1 Jännite ja virta



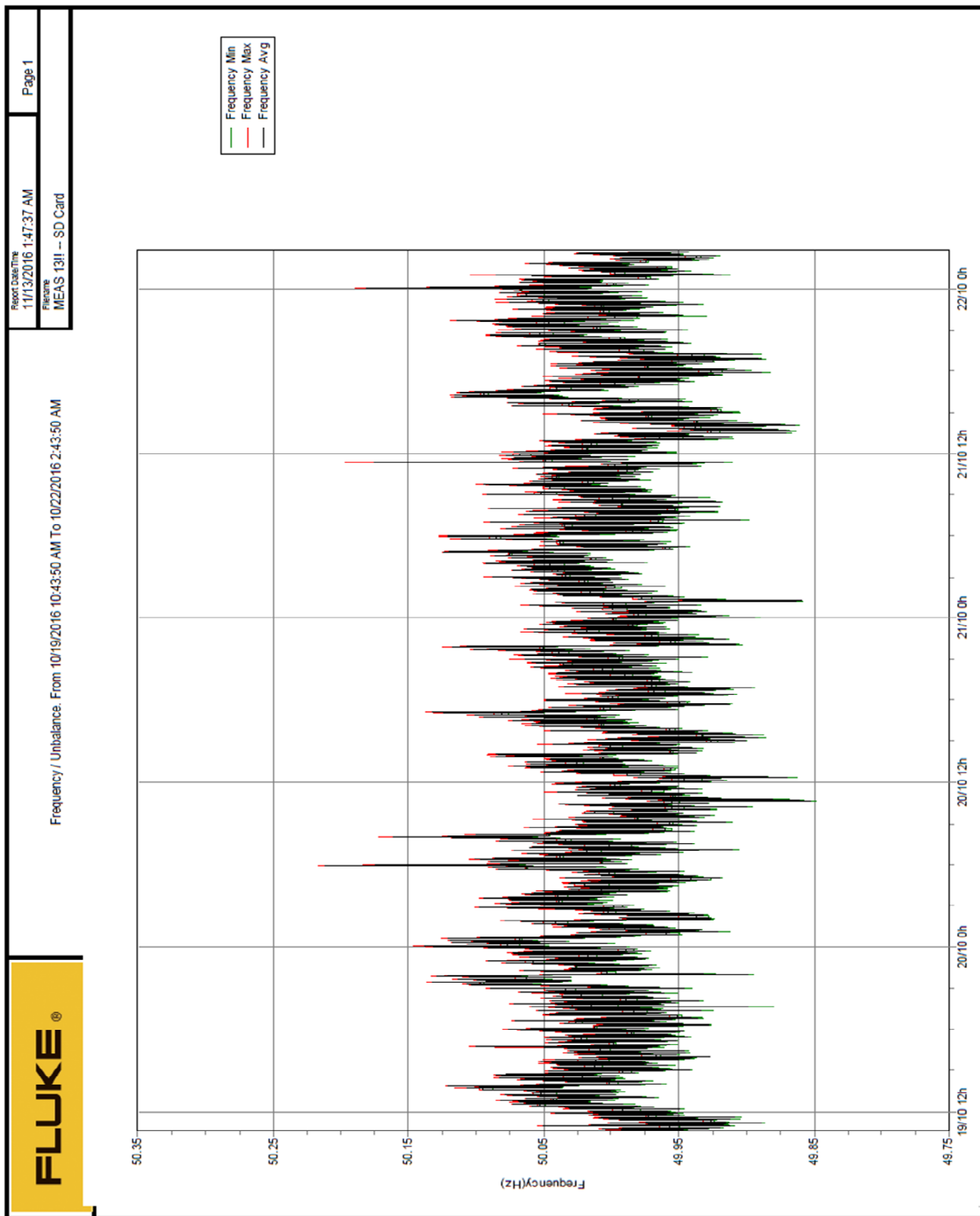
Kuva 18. Jännite ja virta

”Sähköverkon jännite muuttuu kuormitustilanteesta riippuen aina jonkin verran. Standardissa määritetty jännitteen maksimialenema syöttävän verkon liittymiskohdassa on 10 prosenttia. Jännitteen alentuessa laitteistot tarvitsevat toimiakseen enemmän virtaa, tämä aiheuttaa verkkoon suuremman kuormituksen.” Puutarhalla jännite on kuitenkin melko tasainen eikä merkittäviä jännitteen muutoksia ilmene, vaan jännite pysyy normaalilaadun kriteereissä.

Hyvä laatu:	$U_n \pm 4 \%$ ja keskiarvo $U_n \pm 2,5 \%$.
Normaalilaatu:	$U_n \pm 10 \%$
Standardilaatu:	95 % välillä $U_n \pm 10 \%$
Mittaus:	10 min jaksoina viikon ajan

Kuva 19. Jännitteen laatukriteerit. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 8)

5.3.2 Taajuus



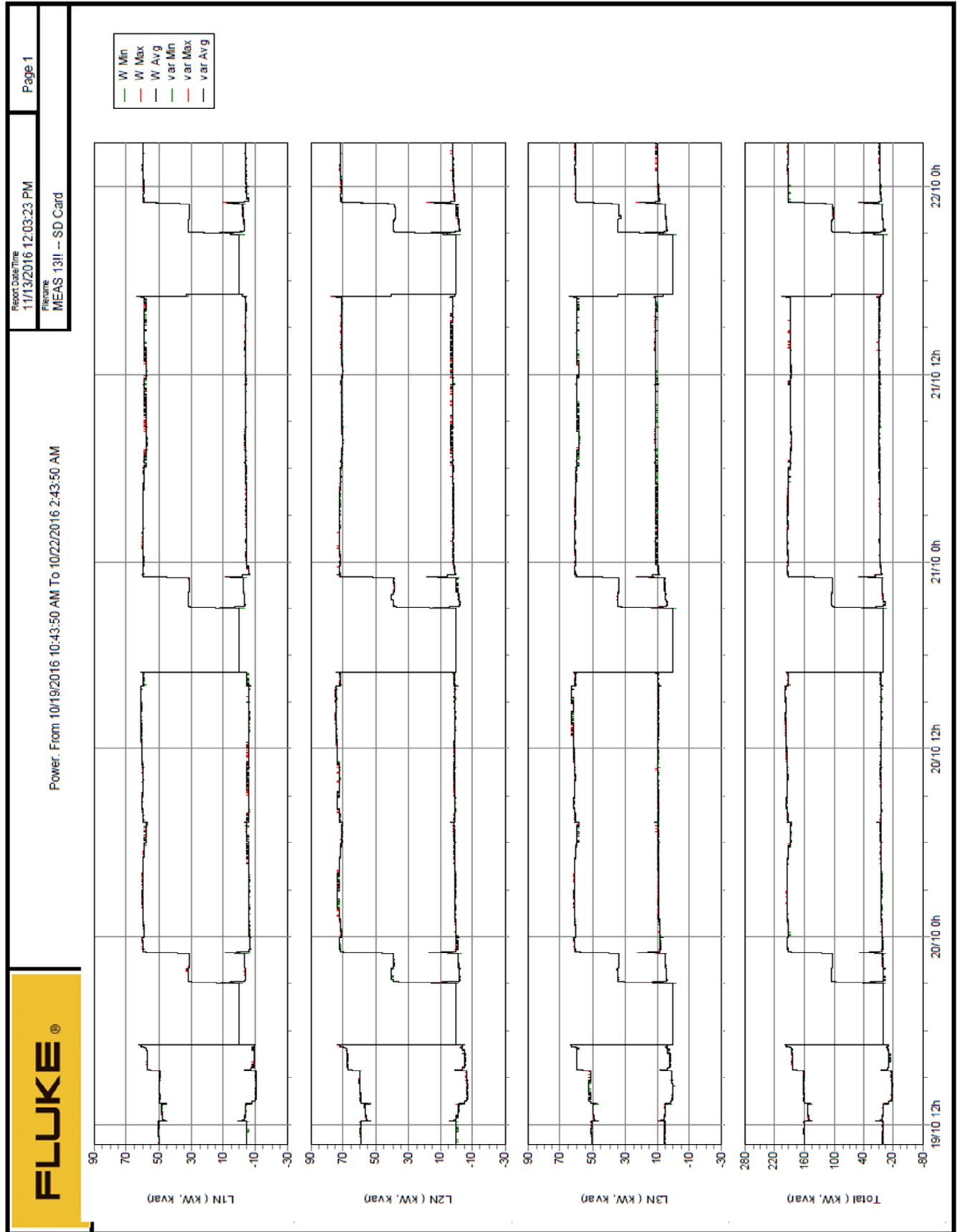
Kuva 20. Taajuus

Kuvasta selviää, että kasvihuoneella ei ilmene taajuuspoikkeamia. Suomessa on määrätty tietyt raja-arvot taajuudelle. Suomessa kaikkien sähköverkkojen perustaajuus on 50 Hz. Standardin SFS-EN 50160 mukaan 99,5 % mittausarvoista tulee olla välillä $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$. Hyvässä ja normaalissa laadussa kaikkien mittausarvojen tulee senerin ohjeiden mukaan olla tällä välillä.

Hyvä laatu:	$50 \text{ Hz} \pm 1\%$
Normaalilaatu:	$50 \text{ Hz} \pm 1\%$
Standardilaatu:	95 % mittauksista välillä $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ ja kaikki $50 \text{ Hz} + 4\% / -6 \%$. Saareke- tai varavoimakäytössä 95 % välillä $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ ja kaikki $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$.
Mittaus:	10 s jaksoina viikon ajan. Mittausjaksoille lasketaan keskiarvo.

Kuva 21. Taajuuden laatukriteerit. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 8)

5.3.3 Pätö- ja loisteho



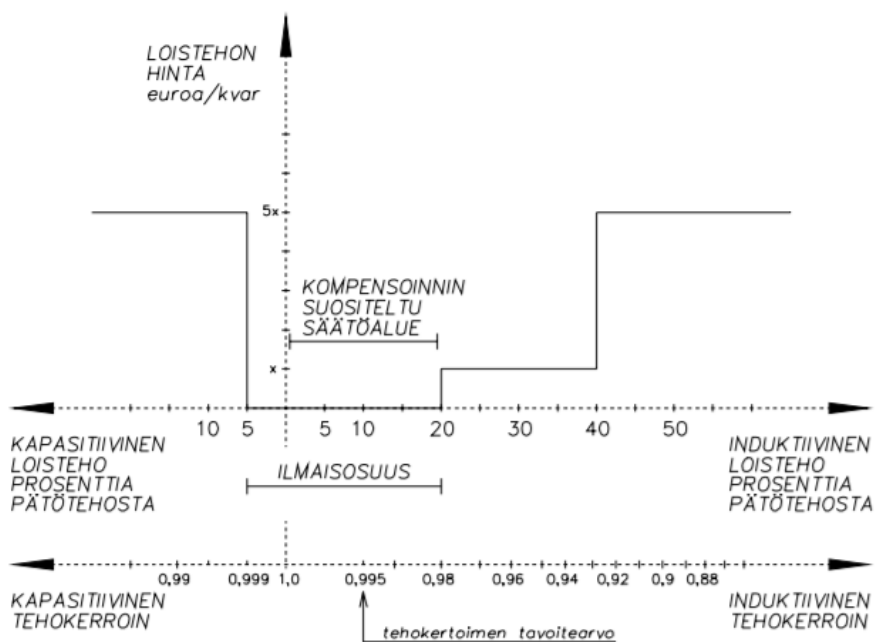
FLUKE®

Kuva 22. Pätö- ja loisteho

Oletin että tehomittauksista löytäisin toimenpiteitä aiheuttavia ongelmia, mutta tämä mittaustulos osoittaa juuri päinvastoin. Laitoksen loisteho pysyttelee hyvin lähellä nolaa koko mittausjakson ajan. Lukuun ottamatta piikkejä jotka näkyvät kuvassa 22, kun pätöteho nousee kahdessa portaassa neljän tunnin sammuksissa olon jälkeen. Tarkemmin sanoen joka ilta puutarhan suurpainenatriumvalaisimet sammuvat neljäksi tunniksi, tällöin myös valaisinkohtaiset rinnankytketyt kompensointikondensaattorit tyhjenevät. Kun kuormat taas käynnistyvät niin kondensaattorit alkavat taas varautua, joten ne eivät pysty heti tuottamaan loistehoa paikallisesti vaan tämä induktiivinen loisteho otetaan automaattisesti suoraan verkosta. Loistehohuippu käy parhailaan noin 50 % verrattaessa pätötehuippuun. Tästä ei kuitenkaan synny loistehomaksuja, koska suurin loistehopiikki kestää vain muutaman minuutin ja koko loistehojakso 15 minuuttia. Sen jälkeen kondensaattorit alkavat taas tuottaa loistehoa paikallisesti ja verkko palaa normaaliin tilaansa.

Tarkemmista analyyseistä selvisi, että kasvihuoneella tapahtuu jonkin verran ylikompensointia. Ylikompensointi tarkoittaa tilannetta, jolloin verkossa olevat kompensointiratkaisut tuottavat enemmän loistehoa kuin on tarpeen. Tällöin loistehon suunta muuttuu ja ylimääräinen loisteho siirtyy energiayhtiön verkkoon. Kun loistehoa tuotetaan verkkoon tarvittavaa enemmän, kutsutaan sitä kapasitiiviseksi loistehoksi.

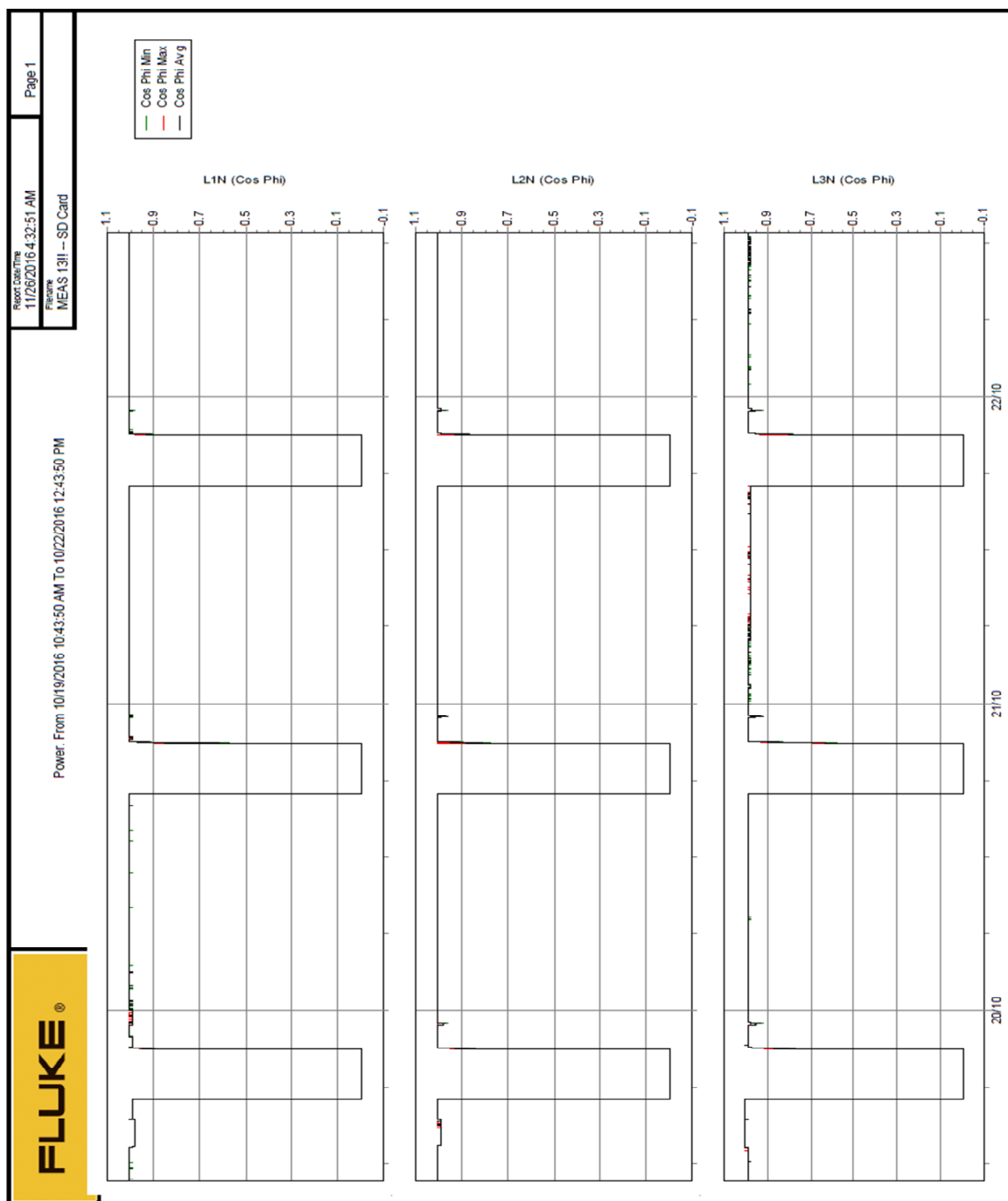
Ylikompensointijakso kesti muutaman tunnin ja sen huippu oli 6 % verrattaessa pätötehuippuun. Tämä ei ole kuitenkaan ainakaan tällä hetkellä tilannetta muuttava tekijä, koska sähköverkkoyhtiö Caruna Oy ei laskuta asiakkaitaan kapasitiivisesta loistehosta. Mutta jos vertaa Tampereen sähkölaitoksen loistehon hinnoittelun periaatteen (kuva 23), voisi tästä pieni lasku tulla.



Kuva 23. Tampereen sähkölaitoksen loistehon hinnoittelun periaate. (Tampereen sähkölaitos 2012, loistehon hinnoittelu ja kompensointi, 3)

Tampereen sähkölaitos aloitti kapasitiivisen loistehon laskuttamisen 1.1.2014. Se salii 5 prosentin kapasitiivisen loistehon päätötehuippuun nähden ja hinta pomppaa suoraan viisinkertaiseksi toisin kuin induktiivisessa loistehossa.

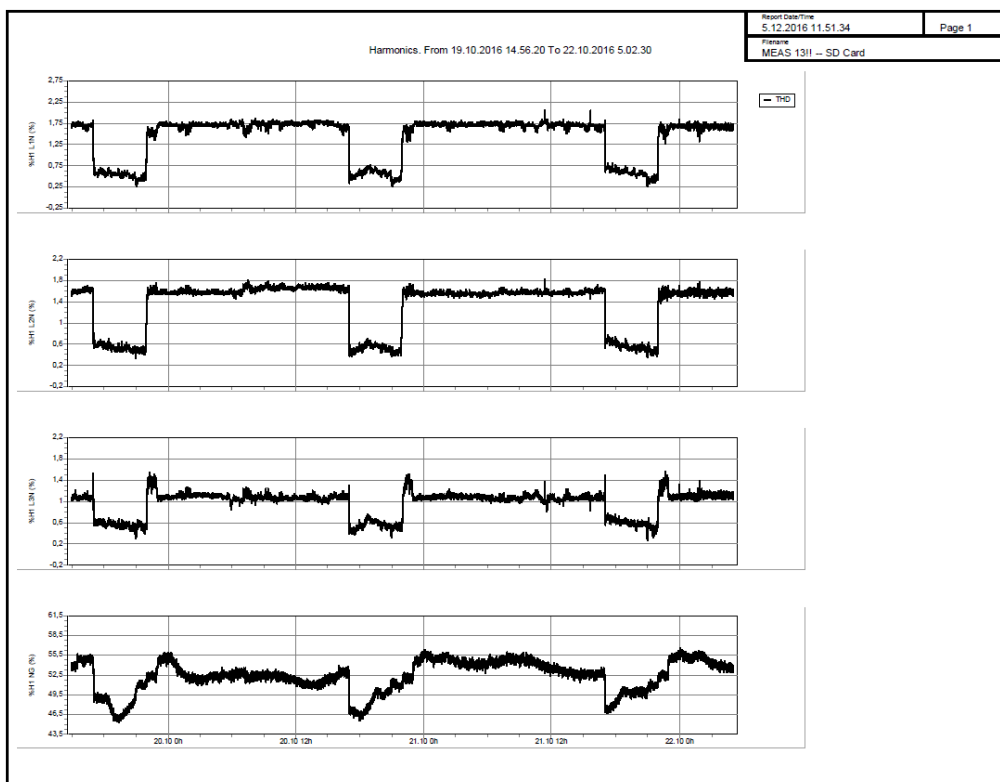
5.3.4 Tehokerroin



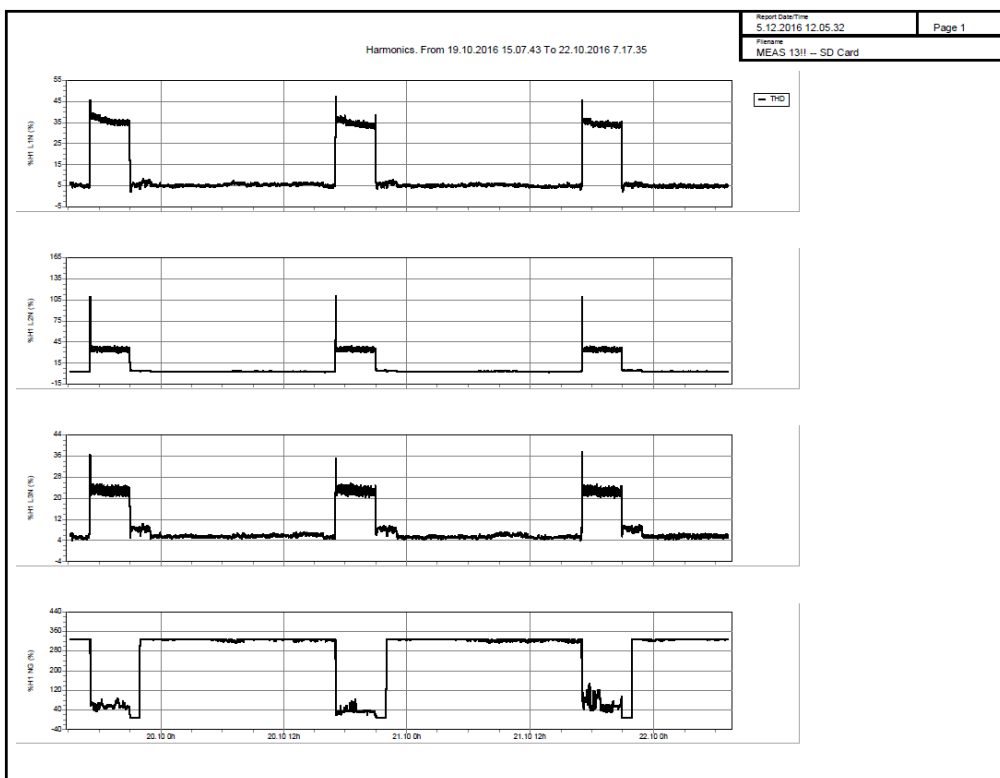
Kuva 24. Tehokerroin

Kuvassa 24 näkyy, että tehokerroin pysyy jatkuvasti lähellä ykköstä muutamaa poikkeamaa lukuun ottamatta, jotka johtuvat edellä mainitsemistani asioista. Tehokertoimella mitataan pätötehon suhdetta näennäistehoon, joten mitä lähempänä ykköstä arvo on sen parempi. Täysin resistiivisen kuorman tehokerroin on 1. Esimerkiksi hehkulampun tehokerroin on ~1.

5.3.5 Yliaallot



Kuva 25. Jännitteen yliaaltojen THD-arvot



Kuva 26. Virran yliaaltojen THD-arvot

Taulukko 4. Harmonisten yliaaltojännitteiden arvot liittymiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina nimellisjännitteestä Un. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 9)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
kolmella jaottomat		kolmella jaolliset		järjestysluku h	suhteellinen jännite
järjestysluku h	suhteellinen jännite	järjestysluku h	suhteellinen jännite		
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Harmoninen yliaaltojännite lasketaan järjestyslukuun 40 saakka. Mittausjakso on 10 minuuttia ja taulukon maksimi-arvot tulee olla alitettuina 95 % ajasta jokaisen viikon aikana. Lisäksi jännitteen kokonaissärökerroin saa olla enintään 8 %. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: sähkön laatu, 9)

Vaiheiden yliaaltojännitteiden THD- arvot pysyvät hyvissä lukemissa, alle 2 prosentissa, nollajohtimen kokonaissärö oli maksimissaan 56 %.

Taulukko 5. Suurimmat sallitut yliaaltovirrat liittymiskohdassa tarkasteltuina. (Männistö ym. 2006, 44-45)

Referenssivirta	Suositeltava raja	
≤ 25 A	Saa käyttää laitestandardien mukaisia laitteita.	
> 25 A – 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 10 % referenssivirrasta.	
> 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 8 % referenssivirrasta, mutta kuitenkin vähintään 20 A sallitaan. Lisäksi yksittäisten yliaaltojen osalta:	
sekä kaikki kj-verkkoon liittyneet sähkökäyttäjät.	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta
	< 11	7,0 %
	11–16	3,5 %
	17–22	2,5 %
	23–34	1,0 %
> 34	0,5 %	

Yliaaltovirroille standardissa ei aseteta vaatimuksia, vaan suosituksia.

Kuvassa 26 vaihe L1: sen THD-arvo on maksimissaan 45 %, L2: sen 105 % ja L3: sen 36 %. Vaiheiden yliaaltovirrat ovat saman vaiheiset, joten ne summautuvat suoraan nollajohtimeen. Tästä johtuu nollajohtimen suuri THD-arvo (320 %). Vaiheiden yliaaltovirtojen maksimiarvot johtuvat kuormituksen poiskytketymisestä. Kun poistetaan sellaista kuormaa joka tuottaa vain vähän yliaaltoja, prosentuaalinen osuus kasvaa paljon. Kuormituksen ollessa päällä kaikkien vaiheiden THD- arvot pysyvät alle 8 prosentissa.

6 YHTEENVETO

Pienenä yhteenvetona voisin loppuun sanoa, että puutarhan loistehon kompensointi on hyväkuntoisten kompensointimenetelmien ansiosta hyvällä tasolla. Tehokerroin on kuormituksen ollessa normaali, jatkuvasti päälle 0,99: n, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Ylikompensointia laitoksella on niin kuin aiemmin totesin, tämä ei kuitenkaan tässä vaiheessa ole vakavaa. Laitos siis ei tarvitse lisäkompensointia. Nykyiset estokelaparistot ovat hyvässä kunnossa ja näin suodattavat verkon yliaaltoja, ainakaan niitä ei suuremmin mittauksissa ilmennyt.

Koska mittauksissa ei ilmentynyt ongelmakohtia, nämä loistehomaksut ja sähkökatkokset mistä alussa oli puhetta vaativat lisätarkasteluja, jos asiakas näin haluaa. Puutarha voi näiden mittausten perusteella jatkaa kurkun viljelyään rauhassa huolehtimatta sähkön laadusta.

LÄHTEET

ST-kortisto, 2014, ST 52.15 – Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa.

ST-kortisto, 2014, ST 52.16 – Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa.

ST-kortisto, 2006, ST 52.51.02 – Sähkönlaatu. Jännitteenaleneman minimoiminen.

ST-kortisto ST, 2006, 52.51.03 – Sähkön laatu. Harmoniset yliaallot.

Erkki Rupp, 2001, Yliaallot.
SAMK/TEKPO/Erkki Rupp

Energiateollisuus, 2014, Sähkötöimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje.

http://energia.fi/files/881/Sahkontoimituksen_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 4: Sähkö laatu.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf

H. Honkanen, (Loisteho, yliaallot ja kompensointi), Kajaanin ammattikorkeakoulu.

<http://docplayer.fi/2335967-Loisteho-yliaallot-ja-kompensointi.html>

Tampereen sähkölaitos, Loistehon hinnoittelu ja kompensointi.

https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittyminen/TSV-urakoitsijalle/Documents/Loistehon%20hinnoittelu%20ja%20kompensointiohje%20TSV_01-12-2012_internet.pdf

Nokian capacitors, Pienjännitetuotteiden tuote-opas.

<http://www.sahkonumerot.fi/5704580/doc/brochure/>

Caruna Oy, 2016, Verkkopalveluhinnasto.

https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/web_30091285_caruna_oy_verkkopalveluhinnasto_010316_6s_2015_fi1.pdf?.1tKPT7X2bEc4LMUX.yVXIKedLkX.X7V

Männistö, M., Hietalahti, L., Seesvuori, R., Seesvuori, V & Wilén, T. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Tampere: Tammer-Paino Oy.

SFS -käsikirja 600-1: SFS 6000-5-52 B.52.2, SFS 6000-5-52 523.6, SFS 6000-5-52 524.2, SFS 6000-5-52 Liite 52E.

Tehosiirto 1 PJ (0,4 kV toimitus)

	alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu €/kk	46,10	57,16
Tehomaksu €/kW, kk	2,85	3,53
Loistehomaksu €/kVAr, kk	6,14	7,61
Siirto c/kWh	2,79	3,46

Tehosiirto 2 PJ (0,4 kV toimitus)

	alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu €/kk	46,10	57,16
Tehomaksu €/kW, kk	4,77	5,91
Loistehomaksu €/kVAr, kk	6,14	7,61
Päiväsiirto, talvi c/kWh	2,51	3,11
Yösiirto, talvi c/kWh	1,62	2,01
Päiväsiirto, kesä c/kWh	1,62	2,01
Yösiirto, kesä c/kWh	1,62	2,01
Päiväsiirto, talvi: ma-la, klo 7-22 ajalla 1.11.-31.3.		

Caruna Oy:n tehosiirtotuotteet