



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

**PK-YRITYSTEN JA
PALVELUNTUOTTAJIEN
KÄYTTÄMÄN SÄHKÖN LAATU JA
TOIMENPITEET SÄHKÖN LAADUN
PARANTAMISEKSI**

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotantopainotteisen mekatroniikan
suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
Syksy 2014
Jouko Pylkkänen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

PYLKKÄNEN, JOUKO:

PK-yritysten ja palveluntuottajien käyttämän sähkön laatu ja toimenpiteet sähkön laadun parantamiseksi

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 78 sivua, 42 liitesivua

Syksy 2014

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee kuluttajan käyttämän sähkön laatua, huonosta sähkönlaadusta johtuvia turhia kustannuksia sekä sen sähkölaitteille aiheuttamia häiriöitä.

Työn tavoitteena on energian säästö ja sähköntoimittajalle maksettavien ylimääräisten maksujen, kuten liian suuren liittymän (päävaroke) ylläpitämisen ja loistehomaksujen maksamisen optimoiminen sekä toteuttaa tasalaatuisen sinimuotoisen sähkövirran ja jännitteen saanti kuluttajan sähkölaitteelle.

Työssä tarkastellaan sähkönlaatuun vaikuttavia tekijöitä, suoritetaan tutkimuskoh-teissa mitattujen sähköisten arvojen analysointi sekä määritellään yhdessä laitevalmistajan kanssa kulutuskohteen sähkönlaatuun korjaava toimenpide.

Tutkimuskohteiden mittaustuloksia tarkastellaan yleisellä tasolla. Esimerkkikohteen mittaustulokset esitellään riittävässä laajuudessa, samoin kuin korjaustoimenpiteet. Lisäksi esitellään korjaustoimenpiteiden kustannukset, takaisinmaksuaika sekä saavutettu sähkönlaadun tämänhetkinen tila.

Sähköverkon laatuongelmien selvitys ja laadun korjaus on energian säästön perusta. Tällä tavoin huonosta sähkönlaadusta aiheutuvat käyttöhäiriöt vähenevät sekä sähkölaitteiden elinkaari kasvaa.

Avainsanat: loisteho, kompensointijärjestelmät, välkyntä, sähkönlaatu, harmoniset yliaallot, sähkönlaadun mittaus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering

PYLKKÄNEN, JOUKO:

Power quality and actions to enhance
the power quality in small and medium-
sized enterprises and service providers

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 78 pages, 42 appendices

Autumn 2014

ABSTRACT

This thesis deals with the quality of electric power used by consumers, and further, the extra costs and malfunction of electric equipment due to poor power quality.

The target of the thesis was to show how to minimize the extra costs paid to the power supplier, caused by for example too efficient electricity connection (main fuses) and reactive energy, and how to introduce balanced sinusoidal current/voltage to the electric equipment at the consumer's premises.

The thesis describes factors that have an influence on the power quality, analyzes the electric values measured at the customer's premises, and defines the corrective actions planned together with the device manufacturer, in order to supply better power quality to the customer.

The study results, i.e. the measurements and corrective actions, are analyzed generally. Further, the cost of corrective actions, pay-back time and current level of power quality are introduced.

Solving the problems in the electrical network and correction of the power quality are the basic elements in energy savings. Thus the breakdowns due to poor power quality can be decreased and the life cycle of electric equipment increased.

Key words: reactive energy, compensation, flicker, power quality, harmonics, power quality measurements

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Opinnäytetyön tavoite	3
1.2	Opinnäytetyön rajaus ja aikataulu	3
2	SÄHKÖN LAATU JA LAATUKÄSITTEET	4
2.1	Jakelujännitteen suuruus	8
2.2	Nimellisjännite	8
2.3	Jännitetason vaihtelut	9
2.4	Vertailujännite	9
2.5	Verkkotaajuus	9
2.6	Nopeat jännitemuutokset	9
2.7	Käyttökeskeytykset	10
2.8	Välkyntä	10
2.9	Jännitekuopat ja niiden kestoajat, havahtumisarvot, jäännösjännite	11
2.10	Epäharmoniset yliaaltojännitteet	16
2.11	Jännite-epäsymmetria	17
2.12	Transienttiylijännitteet	17
2.13	Signaalijännitteet	18
2.14	Oikosulkuvirta (liittymän päävarokkeen mukaan)	19
2.15	Sähkömagneettiset ilmiöt	19
2.16	Katkeamaton sähkönsyöttö, UPS	22
2.17	Pätöteho, loisteho, näennäisteho ja tehokerroin	23
2.18	Yliaallot sähköverkossa ja niiden aiheuttajat	27
2.19	Vaihesiirto, vaihe-ero (φ)	31
3	SÄHKÖVERKON LAADUNMITTAUS	33
3.1	Turvallinen mittaustapahtuma	42
3.2	Mittaustoiminnot	47
3.3	Mittaustulosten tarkastelu	51
3.4	Korjausehdotukset verkostomittauksen perusteella	61
3.5	Loistehon kompensointi	63
3.6	Yliaalloilta suojautuminen	65

4	SUODATUKSEN JA KOMPENSOINNIN VALINTA	67
4.1	Kompensoinnin mitoitus ja tavan valinta	67
4.2	Suodatus ja häiriönpoisto	68
5	YHTEENVETO	70
5.1	Sähköverkon ongelmien selvitys	70
5.2	Takaisinmaksuaika	71
5.3	Muita takaisinmaksuesimerkkejä	74
5.4	Päättötyön antama hyöty Sähkörenki Ky:lle	74
	LÄHTEET	75
	LIITTEET	78

LYHENNELUETTELO

NEEAP-3	Suomen kansallinen energiatehokkuuden 3. toimintasuunnitelma
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus- direktiivi
Voltage	Jännite
Voltage ph-n	Jännite vaihe-nolla
Voltage ph-ph	Jännite vaihe-vaihe
Half Cycle Voltage	Puolen jakson jännite
Peak Voltage	Huippujännite
Fundamental Voltage	Perusjännite
Crest Factor Voltage	Jännitteen huippukerroin
Voltage Phi	Jännitteen kulmakerroin $\text{Cos}\phi$
Current	Virta
Half Cycle Current	Puolen jakson virta
Peak Current	Huippuvirta
Fundamental Current	Perusvirta
Crest Factor Current	Virran huippukerroin
Current Phi	Virran kulmakerroin $\text{Cos}\phi$
Frequency	Taajuus,
Frequency 10s	Taajuus 10s
Unbalance Vn %	Suhteellinen jännite-epäsymmetria negat
Unbalance An %	Suhteellinen virtaepäsymmetria negat
Unbalance Vpos	Jännitteen epäsymmetria positiivinen jakso
Unbalance Vneg	Jännitteen epäsymmetria negat. jakso
Unbalance Vzero	Jännitteen epäsymmetria nollajakso
Active Power	Pätöteho
Apparent Power	Näennäisteho
VA fund	Perustaajuinen näennäisteho
Reactive Power	Loisteho

PF	Tehokerroin
DPF	Laskukaava perustaajuinen W/VA
Cos Phi	Vaihekulma: perustaajuisen jännitteen /perustaajuisen virran vaihekulma
Distortion Power	Särö teho
Harmonic Distortion	Harmoninen särö teho
Unbalance Power	Epätasapaino teho
Efficiency Factor	Hyötysuhdekerroin
Harmonic Pollution	Harmoninen kuormitus (saastuminen)
Active load unbalance	Aktiivisen kuorman epäsymmetria
Reactive load unbalance	Reaktiivisen kuorman epäsymmetria
Reactive load unbal angle	Reaktiivisen kuorman epäsymmetriakulma
Inductive load unbalance	Induktiivisen kuorman epäsymmetria
Inductive load unbal angle	Induktiivisen kuorman epäsymmetriakulma
Total load unbalance	Kokonaiskuorman epäsymmetria
Total load unbal angle	Kokonaiskuorman epäsymmetriakulma
Active Energy	Pätöenergia
Reactive Energy	Loisenergia
Apparent Energy	Näennäisenergia
Wh Forward	Kulutettu energia
Loss active	Pätöhäviö
Loss reactive	Loishäviö
Loss unbalance	Epäsymmetriahäviö
Loss Harmonics	Harmoninen häviö
Loss Neutral	O-häviö
Loss Total	Kokonaishäviö
Energy Loss Active	Pätöenergian häviö
Energy Loss Reactive	Loisenergian häviö
Energy Loss Unbalance	Energiaepäsymmetrian häviö
Energy Loss Harmonics	Harmonisen energian häviö

Energy Loss Neutral	Nollaenergiähäviö
Energy Loss Total	Energiähäviö yhteensä
THD V	Jännitteen kokonaissärö
Volts Harmonics	Jänniteylliaallot, sinimuotoinen jännite
Volts Interharmonics	Epäsymmetriset jänniteylliaallot
THD A	Virran kokonaissärö
Amps Harmonics	Virtaylliaallot
Amps Interharmonics	Epäsymmetriset virtaylliaallot
THD W	Tehon kokonaissärö
Power Harmonics	Tehoylliaallot
Pst	Lyhytaikainen välkyntä 10 min mittaus
Plt	Pitkäaikainen välkyntä 2 h mittaus
Pst1min	Lyhytaikainen välkyntä 1min. mittainen
PInst	Hetkellinen välkyntä
Mains Signaling 1V3s	Verkon signaalijännite 1 V vaihtelu 3s
Mains Signaling 1 %	Verkon signaalijännite % nimellisvaihe jännitteestä suhteellinen 1 % vaihtelu
V Tol %	Jännitetoleranssi
V Imb %	Jännitteen epätasapaino
A Imb%	Virtaepätasapaino
Hz Tol%	Taajuustoleranssi (suhteellinen)
Avg (average)	Keskiarvo
Transientti	Nopea virran, jännitteen tai taajuuden muutos
Välkyntä	valonlähteen luminanssin vaihtelu

Lyhenteiden laajempi luettelo nähtävissä liitteessä 1.

1 JOHDANTO

Suomen sähköverkon muodostaa kantaverkko, keskijänniteverkko ja pienjänniteverkko. Yhteensä koko verkoston pituus on noin 401000 km, eli 10 kertaa maapallomme ympärysmitta. Tässä verkon selkärangassa suuremmat jännitteet ovat 2000 kertaa suuremmat kuin kuluttajan kahvinkeitin käyttäjännite.

Tuotetun sähköenergian ja sähkönsiirrosta aiheutuneet kustannukset maksaa lopputukäyttäjä, näin ollen sähköenergian kulutus tulisi olla järkevää ja kustannustehokasta. Energiankulutuksen vähentäminen ja tuhlauksen minimoiminen on tärkeä tavoite niin elinkeinoelämälle, julkiselle sektorille kuin yksityiselle kuluttajallekin. Sama energiansäästöpolitiikka koskee Euroopan unionia sekä kaikkia valtioita. Parantamalla energiatehokkuutta EU myötävaikuttaa ratkaisevalla tavalla kilpailukykyyn, energian toimitusvarmuuteen ja ilmastonmuutosta koskevien, Kioton pöytäkirjaan perustuvien sitoumusten noudattamiseen. EU sitoutui vuoden 2006 lopulla säästämään 20 % uusiutumattoman energian vuosikulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Jotta kunnianhimoinen 20 %:n tavoite uusiutuvien energialähteiden osuudesta energiavalikoimassa voidaan saavuttaa, EU aikoo tehostaa sähköntuotantoon, lämmitykseen ja jäähdyttämiseen sekä biopolttoaineisiin liittyviä toimiaan. Suomen kansallinen ohjeellinen 9 %:n energiansäästötavoite vuodelle 2016 on energiamääränä 17,8 TWh. NEEAP-3:ssa on laskettu Suomessa vuonna 2010 toteutunut energiansäästö, joka on 11,9 TWh, eli noin kaksi kertaa suurempi kuin alun perin vuodelle 2010 asetettu 5,9 TWh energiansäästön välitavoite. Vuonna 2016 toteutuvan energiansäästön on arvioitu ylittävän 25 TWh, eli 43 % enemmän kuin alkuperäinen tavoitetaso. Vuonna 2020 toteutettujen tehostamistoimien arvioidaan säästävän energiaa vuosittain 37,6 TWh. Energian tuottaminen uusiutuvilla energialähteillä on yhä tärkeämpää. Tuulivoima, aurinkovoima ja aurinkosähkö, vesivoima, vuorovesienergia, geoterminen energia ja biomassasta tuotettava energia ovat fossiilisten energialähteiden tärkeimmät vaihtoehdot. (Motiva 2014.)

Sähköenergian käytöstä on saatavilla puolueettomia tutkimuksia, jotka ovat läpileikkaus koko yhteiskunnan rakenteesta. Työ- ja elinkeinoministeriön tukemia energiakatselmuksia ja -analyysseja tehdään yksityisellä ja julkisella palvelusektorilla, teollisuudessa ja energia-alalla.

Elinkeinoelämän keskusliiton julkaiseman tutkimuksen mukaan Pk-yritysten energiakustannukset ovat 4,9 % kokonaisliikevaihdosta ja vastaavasti palveluyritysten 3,1 %. Näistä energiakustannuksista sähköenergian osuus on noin 2/3. Katarin Porsas Oy, jossa tehtyjä toimenpiteitä esitellään jäljempänä tässä opinnäytetyössä, edustaa Pk-yritystä. Kunnallisella palvelusektorilla sähköenergian osuus on keskimäärin 450 kWh/asukas, joten Hollolan kunnalla, jonka väestömäärä on noin 22 000 henkilöä, kokonaissähkönkulutus on 9,9 MWh/v. Sähkön osuus kunnan toimintakuluista on 0,32 %. Kuntahan on palvelun tuottaja, joten toimintakulut ovat yhtä kuin liikevaihto. (Nuutila 2014; Marttinen 2014.)

Sähköenergian käytöllä on merkittävä osuus energian kokonaiskulutuksesta. Sähkönkulutukseen vaikuttaa merkittävästi yleinen asenne, sähkölaitteiden tekniikka sekä sähkön laatu. Sähkölaitteiden tekniikka ja sähkön laatu ovat keskinäisessä vaikutussuhteessa toisiinsa. Sähkölaitteet aiheuttavat sähköverkkoon (sähkön laatuun) häiriöitä, ja vastaavasti huono sähkön laatu vioittaa sähkölaitteita ja aiheuttaa häiriöitä hyvin laaja-alaisesti kuluttajan sähköverkossa. Huono sähkön laatu aiheuttaa kuluttajalle myös merkittävää lisäkustannusta, koska sähkön toimittajat veloittavat kaikesta myymästään sähköstä, eli pätötehosta ja loistehosta. (Motiva 2014.)

Kuluttajalle toimitettavan sähkön laatu on määritelty standardissa SFS-EN 50160. Standardi asettaa ylä- ja alarajat jännitteelle, taajuuden, vähimmäisoikosulkuvirran kulutusasteessa sekä yliaaltovirtapäästöt riittävän alas, sekä toisaalta laitteen särön sietokyvyn riittäväksi, jotta sähkönkäyttäjän ei tarvitsisi kantaa huolta yliaaltoasioista sähkölaitetta hankkiessaan.

Energian käytöstä ja jakautumisesta eri aloille on lisätietoa liitteissä 5 – 8.

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyössä tarkastellaan työn tilaajan sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä, sähkön laadun mittausta, mittaustuloksien analysointia sekä saatujen sähkön laatua kuvaavien sähkösuureitten soveltamista korjaaviin toimenpiteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on syventää asiantuntemusta mittaustapahtumasta ja tulosten analysoinnista. Sähköverkon laadun mittaaminen on aiemmin pääsääntöisesti jäänyt sähköverkon ylläpitäjän vastuulle, joten myös mittaustuloksien informointi kuluttajille on ollut suppeaa. Yksityinen sähköurakoitsija voi antaa laajemman informaation sähköverkon ongelmista sekä esitellä yksilöllisiä korjausratkaisuja hallitessaan mittauksen ja analysoinnin.

1.2 Opinnäytetyön rajaus ja aikataulu

Opinnäytetyö käsittelee sähkönlaadun ongelmien ratkaisuja pienjännitekuluttajan näkökulmasta, koska sähkönjakelulaitoksilla on omat erityisongelmansa sähköverkossa, joskin usein yhteneväiset loppukäyttäjän kanssa.

Sähkörenki Ky suoritti laadunmittaustyön käyttäen lähtökohtana asiakkaan, Kastarin Porsas Oy:n, tarpeita energian säästämiseksi sekä asiakkaan toimeksiannosta. Tutkimustyön eteneminen alkoi keväällä 2013, kun saatiin soveltuva mittauslaitteisto käyttöön. Työn lähtökohdista riippumatta sekä teoriaa että käytännön mittaustuloksia voidaan käyttää apuna ongelmanratkaisussa myös muissa kuin tässä työssä kuvatuissa olosuhteissa. Verkoston laadunmittauksia on suoritettu vuoden 2014 aikana 24 kpl, joten mittaussuoritus, tietojen analysointi sekä ongelman ratkaisu on päivittäistä sähkösuunnittelutyötä. Viimeisin mittaus on suoritettu kuluttajan verkossa 3.11.2014, tämän mittauksen tulokset esitellään opinnäytetyön luvussa 3.4. Työssä käsitellään suuren eläintuontatilan sähköverkon laatua perustilassa (ilman korjaustoimintoja) sekä korjattuna. Samoin käsitellään korjauskustannuksia, takaisinmaksuaikaa sekä saavutettuja teknisiä parannuksia. Valaistuslähteiden uudistusten ja sähkökulutuksen käyttötottumuksien muutosten merkittävä säästöpotentiaali jää tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 SÄHKÖN LAATU JA LAATUKÄSITTEET

Sähkön laatu koostuu jännitteen ja virran laadusta. Sähkömarkkinalain 27 c § mukaisesti sähkön laatu on virheellinen, kun se ei vastaa Suomessa noudatettavia standardeja. Voimassa olevista standardeista SFS-EN 50160 ”Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet” määrittelee jakelujännitteen ominaisuudet pien-, keski- ja suurjännitteisiin vaihtosähköjakeluverkoihin. Vaatimukset koskevat jännitteen laatua liittämiskohdassa. Liittämiskohdalla tarkoitetaan kohtaa, jossa sähkön käyttäjän verkko liittyy yleiseen jakeluverkkoon. Liittämiskohta voi olla myös jakeluverkossa sopimuksen mukainen sähköenergian ostopiste kulluttajan ja verkkoyhtiön välillä. Mittauspiste voi olla jossain muualla liittymiskohdassa tai verkon alueella. Liittämiskohta määritellään liittymissopimuksessa. (SFS-EN 50160 2011, Energiateollisuus 2005.)

Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen soveltamisohjeessa todetaan sähkötoimituksen virheellisyydestä seuraavasti:

Sähkölaki, 27 c §, virhe:

”Sähkötoimitus on virheellinen, jos sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä voidaan katsoa sovitun. Jollei toisin ole sovittu, sähkötoimitus on virheellinen, jos sähkö ei laadultaan vastaa Suomessa noudatettavia standardeja tai jos sähkötoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syyt ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä.”

Sovellusohjeen on laatinut Sähkömarkkinalain mukaisen virheen määrittelytyöryhmä. (Energiateollisuus 2005.)

Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje

Sovellusohjeen sisältö:

Sähkötoimitus käsittää sähkön laadun ja toimitustavan, joista jälkimmäinen pitää sisällään sähkötoimituksen keskeytykset. Ohjeessa on annettu suositus olosuhteet huomioivista keskeytyksien virherajoista, jotka perustuvat olemassa oleviin tilastoihin ja julkaisun taustalla olevan projektin aikana tehtyihin erilaisiin selvityksiin koskien mm. kustannusvaikutuksia ja vianselvityksiä. Sähkön laadun osalta on käyty läpi standardin SFS-EN 50160 ”Yleisen sähkönjakeluverkon jännitteen ominaisuudet” antamat rajoitukset jännitteen

laadulle. Lisäksi ohjeessa on esitetty virheestä aiheutuneen vahingon korvaaminen.

Projektin taustalla on sähkömarkkinalain virhepykälän muotoilu. Laissa virhe on määritelty niin, että sähköntoimitus on virheellinen, jos laatu ei vastaa standardeja tai jos sähköntoimituksen keskeytystä tai keskeytyksiä ei voida pitää syyt ja olosuhteet huomioiden vähäisenä. Sähkön laadun osalta virhemäärittely saadaan standardista, mutta keskeytyksen osalta määrittely on huomattavasti vaikeaselkoisempaa. Laissa tai standardeissa ei ole annettu minkäänlaisia konkreettisia viitearvoja siitä, miten pitkiä tai miten paljon keskeytyksiä erilaisissa olosuhteissa saisi olla. Tämä tarkoittaa sitä, että tähän asti jokainen keskeytyksiin liittyvä reklamaatio on jouduttu arvioimaan tapauskohtaisesti. Tästä johtuen on nähty, että tilannetta selkeyttämään on hyvä laatia selkeät ja perustellut virherajat. Nykyinen lain virhemäärittely on myös viranomaisnäkökulmasta hankala, joten alalla määriteltyjen virherajojen toivotaan auttavan myös viranomaistyötä, ja näin ei tule tarvetta viranomaisen erikseen määrittelemille rajoille. Tämän edellytyksenä on luonnollisesti myös se, että yhtiöt sitoutuvat suositeltuihin virherajoihin. (Energiateollisuus 2005.)

Soveltamisohjeen jälkeen sähkömarkkinalaki on uudistettu, voimassa oleva laki on Sähkömarkkinalaki 588/2013, 9.8.2013. Uudessa laissa soveltamisohjeessa mainitun pykälän korvaa V osan 13 luvun 97§, joka kuuluu

Sähkönjakelussa ja muussa verkkopalvelussa sekä sähköntoimituksessa on virhe, jos sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä voidaan katsoa sovittun, tai kun kuluttajan laskutus on virheellinen tai viivästynyt. Sähköntoimituksessa ei kuitenkaan katsota olevan virhettä, vaikka vähittäismyyjän laskutus on virheellinen tai viivästynyt, jos vähittäismyyjä osoittaa, että virheellisyys tai viivästys on johtunut hänen vaikutusmahdollisuuksiensa ulkopuolella olevasta tekijästä, jonka seurauksia hän ei kohtuudella olisi voinut välttää tai estää. Jollei toisin ole sovittu, sähkönjakelussa ja muussa verkkopalvelussa sekä sähköntoimituksessa on virhe, jos sähkö ei laadultaan vastaa Suomessa noudatettavia standardeja taikka jos sähkönjakelu tai sähköntoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä.

Standardi SFS-EN 50160, käyttöolosuhteiden määrittäminen:

Epänormaalit käyttöolosuhteet

Tätä eurooppalaista standardia ei sovelleta seuraavissa epänormaaleissa käyttöolosuhteissa:

- a) tilapäisissä syöttöjärjestelyissä, joilla sähkön käyttäjille pyritään varmistamaan sähkön syöttö, kun järjestelyn on aiheuttanut vikatilanne, verkon huolto- tai rakennustyöt tai pyrittäessä minimoimaan käyttökeskeytyksen laajuus ja kesto*
- b) tapauksessa, jossa verkonkäyttäjän asennukset tai laitteet eivät täytä voimassa olevia standardeja tai joko viranomaisten tai jakeluverkko-operaattorin määrittämiä teknisiä vaatimuksia, jotka niille on annettu laitteiden verkkoon liittämiseksi. Näihin luetaan myös johtuville häiriöille asetetut päästörajat. (SFS-EN 50160 2011.)*

Normaalit käyttöolosuhteet

Standardi on laadittu kuvaamaan sähkön laatua EU:n jakeluverkoissa. Sähkön ominaisuuksien tulee täyttää tämän standardin laatuvaatimukset niin, että sähkönkuluttaja voi sähkönostosopimusta tehdessään luottaa sähkön laatuun ja toimintusehtoihin. Sähkön laadun hallintaan vaikuttaa monet muuttuvat tekijät, joten laadunmäärittämissäkin on määritelty ajallisia ja tasollisia määritteitä. Sähkön laatuun vaikuttaa sähkön tuotannon, siirron, jakelun ja käytön olosuhteet. Täysin häiriötöntä sähköä ei voida taata, siispä standardin määrittelemiä rajoja voidaan pitää laadun takarajana ja sähkömarkkinalain sähköntoimituksen virherajana sähkön laadun osalta. (SFS-EN 50160 2011.)

Standardi koskee vain normaaliolosuhteita, joihin ei lueta poikkeuksellisia tilanteita, joihin sähköntoimittaja ei voi vaikuttaa.

Tällaisia ovat esim. poikkeukselliset sääolosuhteet ja muut luonnonkatastrofit, ulkopuolisten aiheuttamat häiriöt, viranomaisten toimista aiheutuneet poikkeukset, työmarkkinataistelut, ylivoimainen este ja ulkopuolisista tapahtumista aiheutuva tehonvaja.
(SFS-EN 50160 2011.)

Yksi yleinen sähkön laadun poikkeaman ja samalla laiterikkojen aiheuttaja on nollavika, jolla tarkoitetaan pienjänniteverkon nollajohtimen katkeamista tai vioittumista. Nollavika aiheuttaa lähes poikkeuksetta jännitetason vaihteluita siinä

määrin, että jännite ei pysy standardin rajoissa. Nollavika on sähkömarkkinalain mukainen sähköntoimituksen virhe. (Energiateollisuus 2005.)

Sähköjakeluyhtiön näkökulmasta koko PJ-verkko on TN-C-järjestelmää.

TN-C-järjestelmässä on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä, eli järjestelmässä kojeen kuori yhdistetään nollajohtimeen (PEN). Mikäli TN-C-järjestelmässä nollajohdin katkeaa, aiheuttaa se pahimmillaan lähes vaihejännitteen suuruisen kosketusjännitteen. Jakeluverkon nollavika aiheuttaa myös laitteille haitallisia yli- ja alijännitteitä. Jakeluverkon kosketusjännitesuojauksessa syötön automaattisen poiskytkennän aika saa olla enintään 5 s. Jakeluverkossa verkon haltijan harkinnan mukaan voidaan hyväksyä pidemmät poiskytkentäajat kuitenkin niin, ettei jännite maahan nähden yksivaiheisen oikosulun aikana ole suurempi kuin 75 V. Mikäli kosketusjännite halutaan aina pitää alle 75 V:n suuruisena, on nollajohdon resistanssin oltava 50 % vaihejohdon resistanssia pienempi, eli PEN-johtimen tulisi olla kaksinkertainen vaihejohtimiin nähden.

Nollavioilta suojautuminen:

- Pienennetään kosketusjännitettä maadoituksilla, eli riittävän pieni maadoitusresistanssi.
- Samanaikaisesti kosketeltavat jännitteelle alttiit osat on yhdistettävä samaan maadoitusjärjestelmään
- Kun nollajohtimen poikkipinta on pienempi kuin vaihejohtimien, on nollajohdin suojattava ylivirralla poikkipinnan edellyttämällä tavalla
- Käytetään kiinteistöissä TN-S-järjestelmää, jolloin käytetään erillistä suojajohdinta ja nollajohdinta koko verkossa. (SFS-Käsikirja 601 2009; SFS Käsikirja 600-1 2012).

Liitteenä (liite 12) on esimerkkejä sähköyhtiön vastauksista kuluttajan sähkölaadun kyselyyn. (KSOY 03122012.)

Laadun määrittämiseen käytetään seuraavia suureita:

2.1 Jakelujännitteen suuruus

Jakelujännitteen suuruus ja jännitetason vaihtelut

Jakelujännitteellä on jännitteen tehollisarvo liittämiskohdassa määrättyä ajankohdana ja aikavälillä. Järjestelmän nimellisjännitteellä U_n kuvataan järjestelmää, sopimuksen mukainen jakelujännite U_c on tavallisesti järjestelmän nimellisjännite. Jännitetason hitailla vaihteluilla tarkoitetaan jännitteen nousemista tai alenemista tavallisesti jakelujärjestelmän tai sen osan kokonaisuorituksen vaihtelun vuoksi. Näistä syistä onkin kuluttajille toimitettavan jännitteen laatu määrätty erillisessä standardissa, jonka asettamien rajojen ylä- tai alapuolella jännitteen ei tulisi vaihdella. (SFS-EN 50160 2011.)

Pienjänniteverkon nimellisjännite = P_j on jännite, jonka nimellinen tehollisarvo on $U_n \leq 1000\text{VAC}$

Pienjänniteverkon nimellisjännite = U_n on 230 VAC vaiheen ja nollajohtimen välillä. (SFS-EN 50160 2011.)

Vikatilanteista pienjänniteverkon nollavika on tyypillinen jännitemuutosten aiheuttaja. Pienjänniteverkon jännitteen seuranta voidaan toteuttaa energiamittareiden kaukoluennan yhteydessä. Jännitetason mittaus suoritetaan tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvona, jolloin saadaan eliminoitua nopeiden ilmiöiden vaikutukset.

2.2 Nimellisjännite

Nimellisjännite U_n on jakeluverkon tunnistejännite ja samalla taso, johon verrataan tiettyjä toimintaominaisuuksia. Pienjänniteverkossa sopimuksen mukainen jännite ja nimellisjännite ovat yhtä suuria. (SFS-EN 50160 2011.)

2.3 Jännitetason vaihtelut

Standardin mukaisesti jännitetason vaihtelun on täytettävä seuraavat vaatimukset: normaaliolosuhteissa jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista tulee olla $U_n \pm 10 \%$, ja kaikkien tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä $U_n +10 \%$ / -15% . Syrjäisten seutujen sähkönjakelussa pitkillä johdoilla jänniteenvaihtelu voi olla alueen $+10 \%$ / -15% ulkopuolella (SFS-EN 50160 2011.)

2.4 Vertailujännite

Referenssijännite on vertailujännite jännitemuutoksille, eli perusarvojännite, jolloin muutoksia voidaan ilmaista prosentteina tai suhteellisina arvoina. Samalla se on jakelujännitteen nimellisjännite. Käyttökeskeytyksessä jännite on liittämiskohdassa alle 5 % vertailujännitteestä. (Energiateollisuus 2005.)

2.5 Verkkotaajuus

Taajuus on jakelujännitteen siniaallon toistojen määrä mitattuna sekunnin aikana. Suomessa jakelujännitteen nimellistaajuus 50 Hz. Yleisten jakeluverkkojen taajuus määräytyy kantaverkosta. Yhteiskäyttöverkossa taajuuden tulee olla 50Hz $+4 \%$ -6% (eli 47Hz...52Hz) 100 % ajasta. Taajuudelle ja jännitetasolle on määritetty rajat, joiden sisällä on pysyttävä 100 % ajasta, koska jännitteen taajuus ja hitaat jännitetason vaihtelut ovat verkonhaltijoiden seurattavissa ja hallittavissa. Taajuus määräytyy pohjoismaisen yhteiskäyttöverkon mukaan, ja Suomessa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj valvoo taajuudensäätöä. Sähkönkäyttöpaikalla ja siihen liitetyillä sähkölaitteilla ei ole vaikutusta taajuuteen. Taajuuspoikkeamia voi esiintyä verkon häiriötilanteissa. (Energiateollisuus 2005.)

2.6 Nopeat jännitemuutokset

Nopea jännitteen muutos on kestoltaan määrittelemätön yksittäinen nopea tehollisarvon muutos.

2.7 Käyttökeskeytykset

Käyttökeskeytykset luokitellaan seuraavasti:

- a) suunnitellut keskeytykset, joista sähkökäyttäjille ilmoitetaan tai
- b) häiriökeskeytykset, jotka aiheutuvat pysyvistä tai ohimenevistä vioista ja jotka liittyvät enimmäkseen ulkopuolisiin tapahtumiin, laitevikoihin tai häiriöihin.

Häiriökeskeytykset luokitellaan:

- 1) pitkä keskeytys, yli 3 minuuttia
- 2) lyhyt keskeytys, enintään 3 minuuttia (SFS-EN 50160 2011.)

Välijänniteverkon automaattinen vian poisto: Joskus verkon vika voidaan yrittää poistaa pika- (PJK)- tai aikajälleenkytkennällä (AJK). Pikajälleenkytkentä on ilmajohdoverkon suojaustoiminto, jossa vika yritetään poistaa automaattisesti keskeyttämällä sähkön saanti vajaan sekunniksi. Mikäli vikatilanne on edelleen päällä, tehdään aikajälleenkytkentä; tällöin sähkötkatkaistaan uudelleen noin minuutiksi. PJK- ja AJK-toistoille standardissa ei ole määritettä.

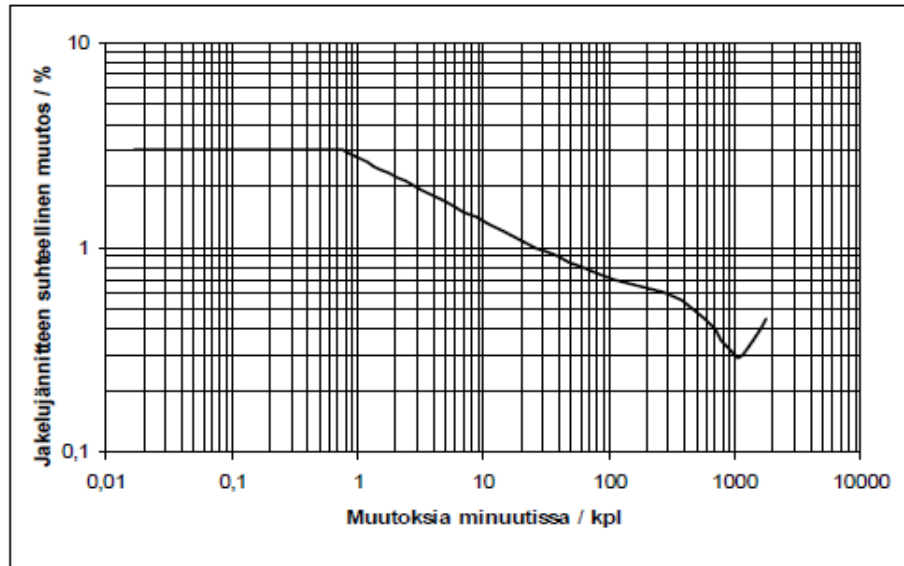
Jos verkolla on pysyvä vika, jota jälleenkytkennät eivät poista, automatiikka jättää katkaisijat auki. Käytännössä tämän jälkeen aletaan pilkkoa jakeluverkkoa automaattisilla kytkentäasemilla kytkentöjä tehden tarkoituksena rajata vika mahdollisimman pienelle alueelle. Korjaustoimenpiteiden jälkeen verkon runkorakenne palautetaan normaaliin (stabiiliin) tilaan.

2.8 Välkyntä

Nopeat jännitemuutokset ja välkyntä

Nopealla jännitteenmuutoksella tarkoitetaan tehollisarvon nopeaa muutosta tasolta toiselle välillä $\pm 10 U_n$ (U_n on nimellisjännite). Standardi määrittelee jännitteen muutoksen suuruuden suuntaan tai toiseen yleensä 5 % nimellisjännitteestä. Kun jännite laskee alle 90 % nimellisjännitteestä, katsotaan kyseessä olevan jännite-

kuoppa. Nopeat jännitteen muutokset johtuvat yleensä asiakkaan laitteiden tai järjestelmän kytkennöistä. (SFS-EN 50160 2011.)



KUVIO 1. Jännitteen suhteellinen muutos. (Energiateollisuus 2005.)

2.9 Jännitekuopat ja niiden kestoajat, havahtumisarvot, jäännösjännite

Jännitekuopalla tarkoitetaan jännitteen äkillistä alenemista välille 1-90 % U_n , jonka jälkeen jännite palautuu lyhyen ajan kuluttua normaalille tasolle, eli jakelujännitteen tehollisarvo on tilapäisesti alentunut jossakin jakelujärjestelmän kohdassa kuopan havahtumisjännitteen alapuolelle. (Energiateollisuus 2005; SFS-EN 50160 2011.)

Jännitekuoppa liittyy tyypillisesti verkon oikosulun tai maasulun syntymiseen ja sen päättymiseen tai muuhun järjestelmän tai siihen liitettyjen asennusten ottamaan äärimmäisen suureen virran kasvuun. Jännitekuoppa on kaksidimensioinen sähkömagneettinen häiriö, joka määritellään sekä jännite- että aika-arvona (kesto-aika). (SFS-EN 50160 2011.)

Jännitekuopan kestoaika

Jännitekuopan kestoajalla tarkoitetaan niiden hetkien välistä aikaa, jolloin jännitteen tehollisarvo laskee jakeluverkon tietyssä kohdassa alle kuopan havahtumisjännitteen arvon ja nousee taas takaisin havahtumisjännitteen arvoon. Monivaihejärjestelmissä jännitekuoppa alkaa silloin, kun jännite yhdessä vaiheessa laskee alle kuopan havahtumisjännitteen arvon ja päättyy silloin, kun jännite nousee kaikissa vaiheissa kuopan havahtumisjännitteen arvoon tai sen yläpuolelle. (SFS-EN 50160 2011.) Jännitekuopan kesto on välillä 0,01 s-3 min. Keskijänniteverkon yksivaiheiset viat saattavat aiheuttaa jännitekuoppia vier eisille johtolähdöille. Jännitekuoppien vuosittainen esiintymistiheys vaihtelee suuresti verkon rakenteen ja kuormituksen mukaan. Standardi antaa jännitekuopille ainoastaan indikaatiiviset (mittausraja-arvot) arvot, joita ei voida pitää sähkömarkkinalain mukaisena virheen rajana. Standardin mukaan jännitekuoppien odotettavissa oleva määrä vuoden aikana voi olla muutamista kymmenistä tuhanteen. Suurin osa jännitekuopista on kestoaltaan alle yhden sekunnin ja suuruudeltaan alle 60 % nimellisjännitteestä. Suurempia ja pidempiä jännitekuoppia voi kuitenkin silloin tällöin esiintyä. Jollain alueilla suuruudeltaan 10–15 % U_n jännitekuoppia voi esiintyä hyvinkin usein asiakkaan asennuksissa tapahtuvien kytkentöjen johdosta. (Energiateollisuus 2005.)

Jännitekuoppien/ylijännitteiden mittaus ja ilmaisu

Mikäli kerätään tilastoa, jännitekuopat ja ylijännitteet tulee mitata Standardin EN 61000-4-30 mukaisesti käyttäen jakelujännitteen nimellisarvoa vertailujännitteenä. Tämän standardin mittauskohteina jännitekuopille ja ylijännitteille ovat jännösjännite (maksimijännitteen tehollisarvo ylijännitteille) sekä kestoaika. Pienjänniteverkoissa näitä ilmiöitä tarkastellaan jakelujärjestelmän mukaan seuraavasti:

- nelijohtimisessa kolmivaihejärjestelmässä vaiheen ja nollan välinen jännite,
- kolmijohtimisessa kolmivaihejärjestelmässä vaiheiden väliset jännitteet,
- yksivaiheisessa järjestelmässä on johtimien välinen jännite syöttötavasta riippuen joko vaiheiden välinen jännite tai vaiheen ja nollan välinen jännite.

Tavanomaisesti kuopan havahtumisjännite on 90 % nimellisjännitteestä ja ylijännitteen havahtumisjännite on 110 % nimellisjännitteestä. Havahtumisarvojen hystereesi on tyypillisesti 2 %, referenssiarvot hystereesille on annettu standardin EN 61000-4-30:2009, kohdassa 5.4.2.1.

Jännitekuoppien arviointi

Jännitekuoppien arviointi on tehtävä standardin EN 61000-4-30 mukaisesti. Jännitekuoppien analysointimenetelmä (tulosten jälkikäsitteily) riippuu arvioinnin tarkoituksesta. Tyypillisissä Pj-verkon analysointimenetelmissä arvioidaan seuraavasti: tarkasteltaessa kolmivaihejärjestelmää vaihemittausten tulokset tulee yhdistää. Vaihemittausten tulosten yhdistäminen tarkoittaa tulosten esittämistä yhtenä ekvivalenttisenä jäännösjännitteenä sekä yhtenä kuopan kestoajana. Kestoajojen yhdistäminen: Kestoajojen yhdistäminen käsittää yhden ekvivalenttisen kuopan muodostamisen, mikäli kuoppa on sarja peräkkäisiä kuoppia. Peräkkäisten kuoppien yhdistämismenetelmää voidaan soveltaa lopullisten tulosten esittämiseen. Joitakin referenssisääntöjä yhdistämiseen on esitetty IEC-raportissa IEC/TR 61000-2-8. (SFS-EN 50160 2011.)

Käyttötaajuiset ylijännitteet, jännitenousun kestoajaksi, havahtumisjännitteet
Käyttötaajuisissa ylijännitteissä johtimen ja maan välillä ylijännite on suhteellisen pitkään, yleensä yli 20 ms kestävä ylijännite. Käyttötaajuisen ylijännitteen takana ovat usein kytkentätoimenpiteet tai viat, esimerkiksi kuorman yllättävä aleneminen, yksivaiheinen vika tai epälineaarisuudet. Standardin mukaan tietyissä olosuhteissa muuntajan yläjännitepuolella esiintyvä vika aiheuttaa pienjännitepuolelle käyttötaajuisen ylijännitteen vikavirran kulkuajaksi. Näiden ylijännitteiden tehollisarvo ei pienjänniteverkossa tavallisesti ylitä arvoa 1,5 kV. Keski-jänniteverkossa ylijännitteen oletettavissa oleva arvo riippuu järjestelmän maadoitustavasta. Maadoitus tehdään joko suoraan tai impedanssin kautta. (SFS-EN 50160 2011.)

Ylijännitteiden arviointi

Ylijännitteiden arviointi tulee tehdä standardin EN 61000-4-30 mukaisesti. Ylijännitteiden analysointimenetelmä riippuu arvioinnin tarkoituksesta.

Tyypillisissä Pj-verkon analysointimenetelmissä arviointi tehdään seuraavasti: tarkasteltaessa kolmivaihejärjestelmää vaihemittausten tulokset tulee yhdistää. Vaihemittausten tulosten yhdistäminen tarkoittaa tulosten esittämistä yhtenä ylijännitteen kestoaikana sekä yhtenä jännitteen tehollisarvon maksimiarvona. Kestoajkojen yhdistäminen käsittää yhden ekvivalenttisen (yhtenmukaisen) ylijännitteen muodostamisen, mikäli ylijännite on sarja peräkkäisiä ylijännitteitä. Peräkkäisten ylijännitteiden yhdistämismenetelmää voidaan soveltaa lopullisten tulosten esittämiseen. Joitakin referenssisääntöjä yhdistämiseen on esitetty IEC-raportissa IEC/TR 61000-2-8.

Yksittäisten sähkökäyttäjien kokemien sähköverkon jännitteen heilahteluiden lisäksi jakeluverkossa esiintyvät yliaallot aiheuttavat monia verkon tekniseen ja toiminnalliseen mitoitukseen liittyviä ongelmia.

Harmoniset yliaaltojännitteet

Harmoniset yliaaltojännitteet ovat sinimuotoisia jännitteitä, joidenka taajuus on jakelujännitteen perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna. Yksittäistä harmonista yliaaltojännitettä kuvataan vertaamalla sen suhteellista amplitudia perustaajuiseen jännitteeseen. Yksittäisiä harmonisia yliaaltojännitteitä (U_h) voidaan yhdessä kuvata harmonisella kokonaissäröllä (THD), joka lasketaan kaavan 1 mukaisesti.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}$$

KAAVA 1. Kokonaissärön laskeminen

Yliaaltojännitteiden takana on pääasiassa sähkökäyttäjien epälineaariset kuormat. Muun muassa erilaiset suuntaajat, teholähteet ja purkauslamput jotka aiheuttavat verkkoon yliaaltovirtoja, jotka aiheuttavat verkon impedanssien kanssa yliaalto-

jännitteitä. Verkon resonanssipiirit saattavat vahvistaa yliaaltoja. (Energiateollisuus 2005.) Standardin mukaan viikon tarkastelujaksolla 95 % yksittäisten yliaaltojännitteiden 10 minuutin tehollisarvoista (U_h) tulee olla pienempiä tai yhtä suuria kuin alla olevan taulukon arvot. Lisäksi jakelujännitteen harmonisen kokonaissärön THD 10 minuutin tehollisarvon tulee olla 95 % ajasta pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %, kun huomioidaan kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40 saakka.

Yliaaltojännitteet ovat osa jännitteen laatua, jonka ylin sallittu taso on määritelty standardissa SFS-EN 50160. Sähkölaitteiden yliaaltoja käsittelevillä standardeilla pyritään rajoittamaan laitteiden yliaaltovirtapäästöt riittävän alas sekä toisaalta laitteen särön sietokyky riittäväksi, jotta sähkönkäyttäjän ei tarvitsisi kantaa huolta yliaaltoasioista sähkölaitetta hankkiessaan. (SFS-EN 50160; Energiateollisuus 2005.)

Taulukosta 1 ilmenevät harmonisten yliaaltojännitteiden arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina nimellisjännitteestä U_c (Pj-verkossa U_n tarkoittaa samaa kuin U_c). Kolmella jaottomien järjestysluku $n = 5 - 25$, kolmella jaollisten $n = 3 - 21$ ja parilliset yliaaltojen $n = 2 - 24$. Harmoninen kokonaissärö tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin THD 8 %. (Energiateollisuus 2005.)

TAULUKKO 1. Parittomat yliaallot

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset		Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)		
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

HUOM. Järjestysluvultaan yli 25 harmonisille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssiolainten vuoksi.

2.10 Epäharmoniset yliaaltojännitteet

Epäharmoniset yliaaltojännitteet, jännitekuopat sekä transientit ovat sellaisia jännitteen ominaisuuksia, joille ei nykyisellä tiedon tasolla ole mielekästä määritellä rajoja. Epäharmoninen ylijännite on sinimuotoinen jännite, jonka taajuus on harmonisten yliaaltojen välissä. Se ei siis ole kokonaisluvulla kerrottu perusaallon taajuus. (Energiateollisuus 2005.) Epäharmonisen yliaallot voivat esiintyä yksittäin tai laajakaistaisena spektrinä. Epäharmonisten yliaaltojännitteiden taso on kasvamassa, koska laitteet sisältävät enenevässä määrin taajuusmuuttajia ja muita säätölaitteita. Lähellä perustaajuutta olevat epäharmoniset yliaaltojännitteet saattavat aiheuttaa myös välkyntää. (SFS-EN 50160 2011.)

Jakelujännitteen epäsymmetria

Epäsymmetriassa vaihejännitteiden tehollisarvot tai niiden väliset kulmat eivät ole yhtä suuria. Pienjänniteverkossa epäsymmetriaa esiintyy jossain määrin aina johdettua siitä, että vaiheet kuormittuvat epätasaisesti yksivaiheisten sähkölaitteiden vuoksi. Epäsymmetrian voi aiheuttaa myös vaiheen yhteys maapotentiaaliin (maasulku) tai yhden vaiheen sulakkeen palaminen.

Standardin mukaan viikon tarkastelujaksolla normaaleissa käyttöolosuhteissa 95 % jakelujännitteen vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvon keskiarvoista tulee olla välillä 0...2 % myötäkomponentista. Pienjänniteverkoston osissa missä osa asiakkaista on yksivaiheisesti kytkettyjä, esiintyy kolmivaiheasiakkaan liittämiskohdassa epäsymmetria-arvoja 3 % saakka. (SFS-EN 50160 2011.)

2.11 Jännite-epäsymmetria

Epäsymmetria määritellään kaavalla 2.

$$Uu = \frac{\text{jännitteenvastakomponentti}}{\text{jännitteenmyötäkomentti}} \times 100 \%$$

KAAVA 2. Epäsymmetria

Epäsymmetria ja nopeat jännitemuutokset ovat jännitetasoa ja taajuutta vaikeammin hallittavissa, koska kyseiset ilmiöt johtuvat pääasiassa sähkönkäyttäjien laitteiden verkkoon aiheuttamista häiriöistä. Nämä jännitteen ominaisuudet on mitattava suoraan asiakkaan liittämiskohdassa. Näiden ilmiöiden vähentämiseksi on olemassa keinoja, jotka tulevat joko verkkoyhtiön tai häiritsevän sähkölaitteiston käyttäjän tehtäväksi.

2.12 Transienttiylijännitteet

Transienttiylijännitteet johtimen ja maan välillä.

Transienttiylijännite on lyhytaikainen värähtelevä tai ei-värähtelevä ylijännite, joka tavallisesti vaimenee nopeasti ja on kestoltaan enintään muutamia millisekunteja. Transientin nousuaika on alle mikrosekunnista muutamia millisekunteihin. Transienttiylijännitteitä aiheuttavat tavallisesti ukkonen, kytkennät, induktiivinen kuorma (Lenzin laki) ja sulakkeiden toimimiset. Sähkönkäyttöpaikoilla esiintyvät transientit aiheutuvat pääasiassa muiden sähkölaitteiden kytkennöistä.

Transientit voidaan jaotella ilmiön keston perusteella seuraavasti:

- Pitkä transientti: $>100\mu\text{s}$, sulakkeen palaminen jolloin huippuarvo voi olla 1-2 kV. Kompensointikondensaattorin kytkentä, huippuarvo 2-3 kertaa

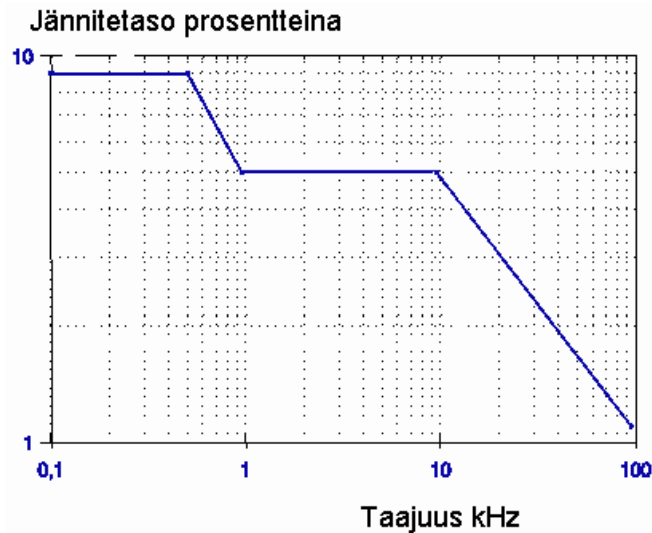
jakelujännitteen huippuarvo, värähtelevä, taajuus muutamasta sadasta hert-
sistä muutamaan kilohertsiin.

- Keskipitkä transientti: 1...100 μ s, suoraan johtoihin osuneet salamaniskut, jolloin amplitudi voi olla jopa 20 kV.
- Johtojen lähelle iskeneen salaman indusoimat jännitteet, amplitudi harvoin yli 6kV, mutta voi olla jopa 20 kV, katkaisijoiden toiminnat.
- Lyhyt transientti: <1 μ s, paikalliset kuormien kytkennät, amplitudi 1-2 kV.

Transienttiylijännitteen energiasisältö vaihtelee huomattavasti aiheuttajan mu-
kaan. Ukkosen aiheuttamalla indusoituneella ylijännitteellä on tavallisesti suu-
rempi amplitudi mutta pienempi energiasisältö kuin kytkennästä aiheutuneella
ylijännitteellä. Standardin mukaan pienjänniteverkossa transienttiylijännitteiden
huippuarvo ei tavallisesti ylitä arvoa 6 kV, mutta suurempiakin arvoja voi esiin-
tyä. Valtaosassa tapauksia pienjänniteasennukset ja loppuasiakkaan laitteet kestä-
vät transienttiylijännitteet, kun ne suunnitellaan standardin EN 60664-1 mukaises-
ti. Tarvittaessa (katso IEC 60364-4-44) laitteiden suojaamiseen tulisi käyttää stan-
dardin IEC 60364-5-53 mukaisesti valittuja ylijännitesuojia. Näiden oletetaan
eliminoivan sekä ilmastolliset että kytkentäylijännitteet.

2.13 Signaalijännitteet

Verkkoyhtiö voi käyttää sähköverkkoa viestisignaalien siirtoon, jolloin verkko-
jännitteeseen lisätään signaali viestin siirtämiseksi. Taajuuksilla 110–3000 MHz
siirretään sinimuotoisia verkkokäskysignaaleja ja taajuuksilla 3 - 148,5 kHz sini-
muotoisia kantoaaltsignaaleja. Lisäksi verkossa siirretään merkinantosignaaleja,
jotka ovat lyhytaikaisia muutoksia tietyssä kohdassa jänniteaaltoa. Standardin
mukaan signaalijännitteen tulee olla pienjänniteverkon liittämiskohdassa, mitattu-
na kolmen sekunnin keskiarvona, yli 99 % päivästä pienempi tai yhtä suuri kuin
kuviossa 2 annetut arvot. Keskijänniteverkolle raja on sama 9 kHz asti. Keskijän-
niteverkossa yli 9 kHz signaalijännitteille ei ole asetettu rajaa.



KUVIO 2. Verkon signaalijännitteet. (SFS-EN 50160 2011.)

2.14 Oikosulkuvirta (liittymän päävarokkeen mukaan)

Oikosulkuvirta I_k määritellään (minimi) liittymän päävarokkeen mukaan.

Sähköverkon suojaus on toteutettava niin, että siinä olevat suojalaitteet katkaisevat ylivirran ennen kuin se aiheuttaa lämpenemisestä tai mekaanisista vaikutuksista aiheutuvaa vaaraa tai vahinkoa eristykselle, liitoksille, päätteille tai johtimien ympäristölle (SFS-Käsikirja 600, 2007). Suojauksen ja komponenttien valinnan perustaksi tarvitaan laskenta tai arvio siitä, millaisia oikosulkuvirran arvoja keskuksissa tai sähkölaitteille esiintyy.

2.15 Sähkömagneettiset ilmiöt

Sähkömagneettiset häiriöt, säteily (verkko ja laitteet)

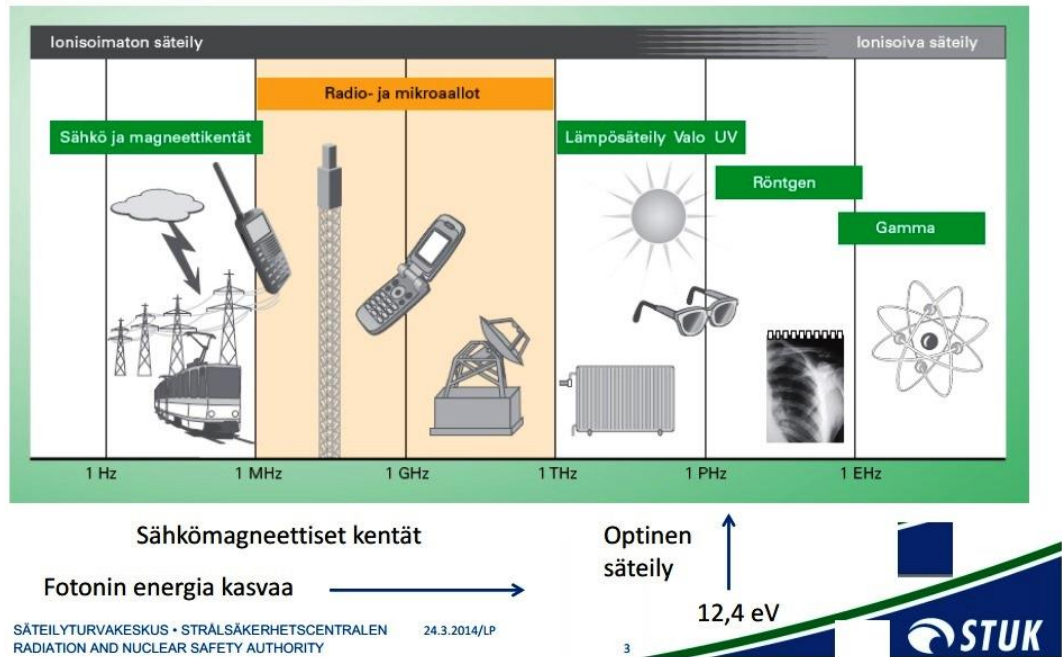
Sähkömagneettisesta ilmiöstä johtuva häiriö etenee jakeluverkon johtimia pitkin. Joissakin tapauksissa sähkömagneettinen häiriöilmiö etenee muuntajan käämitysten kautta ja siten myös toisella jännitteellä toimiviin verkkoihin.

Tällaiset häiriöt saattavat heikentää laitteen, laitteistojen tai järjestelmän suorituskykyä tai aiheuttaa näiden vikaantumisen. (SFS-EN 50160 2011.) Katso liite 2.

Sähkömagneettinen säteily, staattinen magneettikenttä, ionisoimaton säteily:

- pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät
- radiotaajuiset kentät
- optinen säteily

Sähkömagneettisen säteilyn lajit



KUVIO 3. Sähkömagneettisen säteilyn esiintyminen eri taajuusalueilla (Puranen, L. 2014, 2).

Sähkömagneettiset häiriöt, säteily (elolliset)

Turvallisuuskriteeriumien perusteista

Säteilyturvallisuus työpaikalla, 10.12.2009

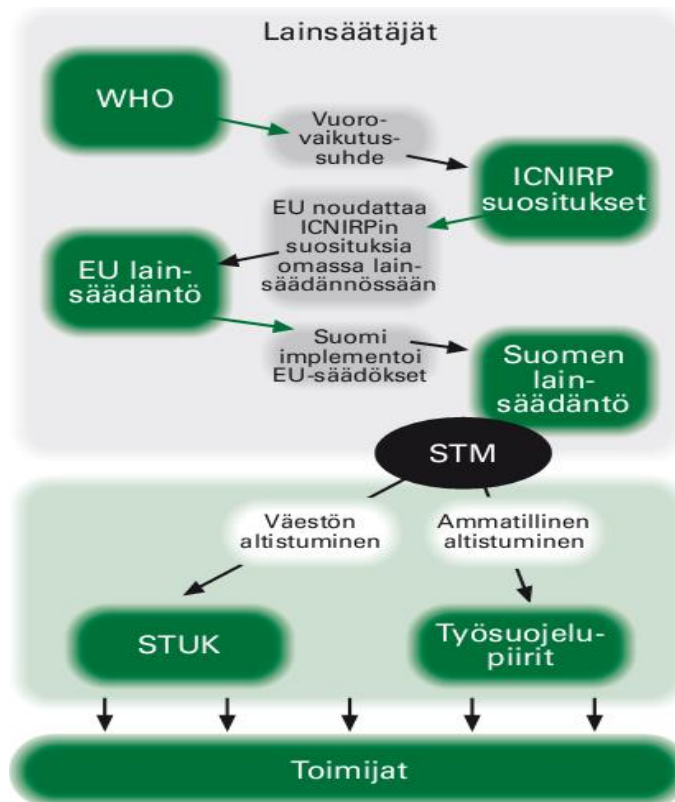
- Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa säteilylain mukaan säteilytoiminnan harjoittaja. Toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että ST-ohjeissa esitetyn mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään.
- Säteilyturvakeskus antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevat yleiset ohjeet, säteilyturvallisuusohjeet (ST-ohjeet), säteilylain (592/1991) 70 §:n 2 momentin nojalla. (EUR-Lex 2012.)

Voimakkaat staattiset magneettikentät voivat aiheuttaa pahoinvointia, päänsärkyä, huimausta ja magnetofosfeeneja (valoistimuksia). Ionisoimattoman säteilyn lähteitä ovat muun muassa seuraavat:

- aurinko
- magneettikuvauslaitteet
- metallinkäsittelyyn ja -jalostukseen käytettävät laitteet ja prosessit
- salamot
- sähköenergian tuotanto, jakelu ja käyttö
- induktiokuumentimet ja valokaariuunit
- hitsauslaitteet
- magneettikenttiin perustuvat kauppojen tuotesuojaportit eli varashälytinpportit ja lentokenttien metallinpaljastimet
- radiotaajuuksilla toimivat tuotesuojaportit (RF-ID)
- mikroaaltokuivaimet
- suurtehotutkat
- yleisradiolähttimet
- teollisuudessa käytettävät muovinsaumaajat ja suurtaajuuskuumentimet

Epäsuora terveyshaitta saattaa syntyä tilanteessa, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien, defibrillaattoreiden, hermostimulaattoreiden, lääkeannostelijoiden ja potilaaseen ulkoisesti kytkettyjen valvontalaitteiden tai kuulokojeen toimintaa.

Kuvio 4 havainnollistaa sähkömagneettiset häiriöiden ja säteilyn valvontaa ja suosituksia maailmanlaajuisesti.



KUVIO 4. Sähkö- ja magneettikenttien valvonta Suomessa (STUK 2014).

2.16 Katkeamaton sähkönsyöttö, UPS

Katkeamaton sähkönsyöttö toteutetaan yleisesti syöttö- tai varasyöttöjärjestelmällä, UPS- tai varavoimageneraattorilaitteistolla tai näiden yhdistelmillä. Katkeamaton syötön vaihto edellyttää nopeiden automaattisesti toimivien elektronisten kytkinten käyttöä. UPS (Uninterruptible Power Supply) -järjestelmä on energiavarastojen tyypillinen sovelluskohde sähkön jakelun luotettavuuden ja laadun hallintaan. UPS-järjestelmiä käytetään varavoimakoneen rinnalla turvaamaan katkeamaton sähkönsyöttö kriittisille erikoiskohteille, kuten tietokonejärjestelmille. UPS-laitteet on suunniteltu turvaamaan sähkönsyöttö 5–15 minuutin ajan ja toimimaan

ns. ride-trough-laitteena (varautuva hetkellinen virtalähde) varavoimakoneen käynnistymiseen asti. Telejärjestelmien ja elektroniikkateollisuuden määrän ja tarpeiden kasvun myötä on myös suurempia UPS-järjestelmiä tullut markkinoille. Suuret (20 kVA–2 400 kVA) on-line-toimivat UPS-laitteet ovat saaneet uusia ominaisuuksia sähkön laadun hallinnan toiminnoista sähkön laadulle asetettavien vaatimusten kasvaessa. (STUK 2014.)

2.17 Pätöteho, loisteho, näennäisteho ja tehokerroin

Pätöteho

Kun vaihtovirtapiirissä kuormana on puhdas resistiivinen kuorma (esimerkiksi lämpövastus), piirissä kuluu todellinen teho eli pätöteho (tunnus P). Tällöin on virtapiirissä jännitteen ja virran suhde 90° kulmassa keskenään samassa vaiheessa, tämä sähköpiiri on optimaalinen sähköpiiri. Tässä sähköisessä kytkennässä kuluttaja saa käyttöönsä kaiken sen sähköenergian, minkä hän sähköenergian toimittajalta on ostanutkin. Pätöteho on varsinainen työtä tekevä teho. Sen SI-yksikkö on watti. Mikäli vaihtovirran jännite U ja virta I eivät ole samassa vaiheessa, pätöteho on pienempi kuin näennäisteho. Tällöin pätöteho lasketaan kaavalla 3 jossa \cos on tehokerroin, ja pätöteho on aina positiivinen.

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

KAAVA 3. Pätöteho

Loisteho

Mikäli vaihtovirtapiirissä on kuormana moottorikuormaa, tarvitaan loistehoa (Q) pyörimisliikkeen aikaansaavan magneettikentän ylläpitämiseksi. Sähköverkosta moottori ottaa pyörimiseen tarvittavan varsinaisen energian eli pätötehon. Moottorin ottama teho vaikuttaa suoraan loistehon tarpeeseen. Käytännössä pienempi moottori tarvitsee enemmän loistetehoa suhteessa kuin suurempitehoinen.

Loisteho voi olla varastoituna magneettikentässä (induktanssi) tai sähkökentässä (kapasitanssi). Mikäli sähköverkossa on kapasitanssia tai induktanssia, eli ei ole puhdasta reaktanssia, osa energiasta varastoituu näihin komponentteihin, ja kaikkea pätötehoa ei ole enää saatavissa.

Loistehon SI-yksikkö on var (reaktiivinen voltiampeeri) ja lasketaan kaavalla 4.

$$Q = U \cdot I \sin(\varphi_u - \varphi_i).$$

KAAVA 4. Reaktiivinen voltiampeeri

Loisteho voi olla negatiivinen, eli komponentti tuottaa loistehoa (esim. kondensaattoriyksiköt), tai positiivinen, jolloin komponentti ottaa loistehoa (moottorit). Loisteho kasvattaa vaihtosähköverkon virtaa ja häviöitä, eli on tällä tavalla eräänlainen sähkösiirtoverkon tarpeellinen loinen.

Loistehoarvo on määritelty kuvaamaan sitä pätötehomäärää, joka vastaavalla pätövirtakomponentilla saataisiin siirtymään. Toisaalta syötettäessä esimerkiksi vaihtovirtakonetta taajuudenmuuttajalla, muuttajan vaihtosuuntaussilta tuottaa myös sähkökoneen tarvitseman loistehon, ja syöttöverkon puolella perusaallon tehokerroin on lähellä ykköstä, eli syöttöverkosta ei juurikaan oteta loistehoa. Loisteho kannattaisi tuottaa mahdollisimman lähellä kulutuspistettä, jottei sähkösiirtoverkkoa tarvitsi ylimitoittaa suuren loistehon vuoksi. Nykyisin jo keskisuuret sähkökuluttajat kompensoivat loistehoa, koska yleensä loisteho on niille maksullista (yleensä jos loisteho on yli 20 % pätötehosta). Pienkuluttajille loisteho on ilmaista, ja nykyisin heidän kulutusmittarinsa mittaavat vain pätötehoa (toki paljon muitakin verkkotietoja). Nykyisellä etäluettavalla mittaritekniikalla myös pienkuluttajien loistehon mittaaminen olisi kuitenkin helppoa.

Näennäisteho

Vaihtovirtapiireissä näennäisteho SI-yksikkö on VA (tunnus S) on tehollisen jännitteen U ja tehollisen sähkövirran I tulo ($S = U \cdot I$).

Jos vaihtovirran jännite ja virta ovat samassa vaiheessa, näennäisteho on yhtä suuri kuin pätöteho P. Jos vaihe-ero on olemassa, näennäisteho on suurempi kuin todellisuudessa kulutettu teho.

Tehokerroin

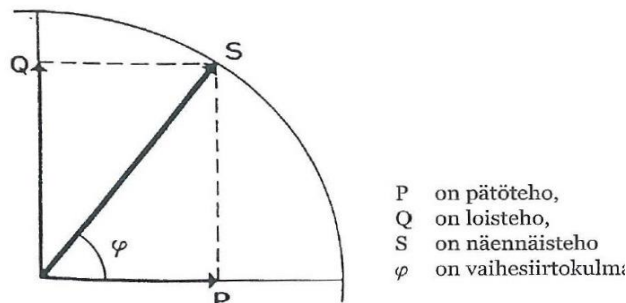
Induktiomootorit tarvitsevat loistehoa Q pyörimisliikkeen aikaansaavan magneettikentän ylläpitämiseen, varsinaisen työn moottori suorittaaakin pätöteholla P.

Tehokerroin ($\cos \varphi$) on vaihtovirtakuormissa pätötehon suhde näennäistehoon ja lasketaan kaavalla 5.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{(U \cdot I)}$$

KAAVA 5. Tehokerroin

Täysin resistiivisen kuorman tehokerroin $\cos \varphi = 1$, ja työtä tekevä pätöteho siirtyy optimaalisesti sähköverkossa.



KUVIO 5. Vaihesiirto on φ suuruinen eli pätötehon (P) ja näennäistehon (S) välinen suhde. (Kauppila, Tiainen, Ylinen 2013, 13)

Osittain induktiivisilla kuormilla, kuten sähkömoottoreilla tehokerroin on alle yhden, ja silloin tarvitaan loistehon kompensointia, jotta sähkön siirto verkossa tapahtuisi ilman suuria häviöitä. Vaihtojännitteen ja -virran vaihe-eroa merkitään kirjaimella φ . Kertoimesta $\cos \varphi$ käytetään nimitystä tehokerroin (engl. power factor). Jos verkossa kuormana on pelkästään resistiivistä vastusta, on kuluttajien tehokerroin 1.0. Generaattorien kehittämä vaihtojännite ja -virta ovat tällöin samassa vaiheessa.

Alla olevassa kuviossa 6 on esitetty yleisimpiä laskentakaavoja, joita tarvitaan vaihtosähkötehoarvojen laskennassa. Kuvioista 7 nähdään, mitä tapahtuu pätö-, näennäis- ja loisteholle, kun kulmakerroin φ muuttuu.

Teho:

$$1\text{-vaihe: } P = U_V * I * \cos \varphi \quad [\text{W}]$$

$$3\text{-vaihe: } P = \sqrt{3} * U_M * I * \cos \varphi \quad [\text{W}]$$

Näennäisteho:

$$1\text{-vaihe: } S = U_V * I \quad [\text{VA}]$$

$$3\text{-vaihe: } S = \sqrt{3} * U_M * I \quad [\text{VA}]$$

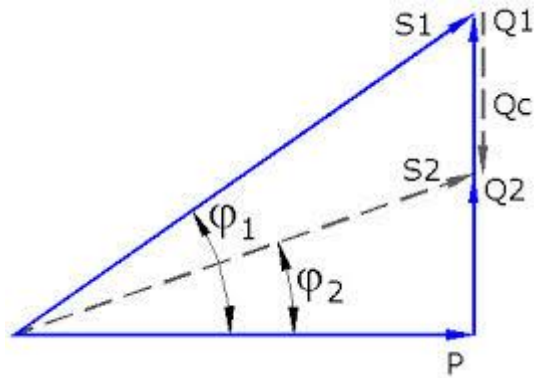
Loisteho:

$$1\text{-vaihe: } Q = U_V * I * \sin \varphi \quad [\text{var}]$$

$$3\text{-vaihe: } Q = \sqrt{3} * U_M * I * \sin \varphi \quad [\text{var}]$$

$\cos \varphi =$ tehokerroin $\varphi =$ vaihekulma

KUVIO 6. Vaihtosähköverkon tehokaavoja (Kajak a 2014, 1).



KUVIO 7. Pätehon, näennäistehon ja loistehon vaikutussuhde kulmakertoimen muuttuessa (peakpwr.com 2014).

2.18 Yliaallot sähköverkossa ja niiden aiheuttajat

Yliaaltoja jakeluverkkoon aiheuttavista komponenteista suurin osa on laitteita, joiden ottama kuormitusvirta ei ole sinimuotoista. Tasavirtakoneet ovat olleet aiemmin suurin yksittäinen yliaaltojen aiheuttaja sähkönjakeluverkoissa. Syynä tähän ovat tasavirtakoneen säätöpiirit, jotka syöttävät harmonisia yliaaltoja verkkoon. Nykyään suurimpia yliaaltojen aiheuttajat ovat kuitenkin tasasuuntaajissa käytettävät pulssisiltakytkenät, kuten 6- ja 12-pulssisillat (diodit tai tyristorit), joiden avulla vaihtojännite saadaan tasasuunnattua halutun kaltaiseksi tasajännitteeksi. (SFS-EN 50160 2011; Energiateollisuus 2005.)

Käytännössä näiden tasasuuntaukseen käytettävien komponenttien aiheuttamat yliaallot aiheutuvat niiden säätöperiaatteista, jotka ovat nolapistekatkaisuohjaus ja ohjauskulmasäätö. Kotitalouksien aiheuttamista häiriölähteistä voidaan mainita muun muassa televisiot, tietokoneet sekä purkausvalaisimet. Esimerkiksi tietokoneiden virtalähteinä käytettävät hakkuriteholähteet, jotka tasasuuntaavat verkon vaihtojännitteen tietokoneen käyttämäksi tasajännitteeksi, syöttävät verkkoon huomattavia määriä harmonisia yliaaltoja. Lisäksi purkausvalaisimien, kuten loisteputkilamppujen (säätölamput), yleistymisen myötä kotitalouskäytössä on vaikuttanut yliaaltojen lisääntymiseen. Loisteputkilamput tarvitsevat toimiakseen erillisen kuristimen, johon varattu energia saa purkautuessaan aikaan valaisimen

syttymisen ja verkkoon kulkeutuvia yliaaltoja. Lisääntynyt taajuudenmuuttajien käyttö esimerkiksi suurten teollisuudessa käytettävien epätahtimoottoreiden ohjauksessa on myös omalta osaltaan lisännyt sähköverkkoihin aiheutuneiden yliaaltojen määrää. Myös verkon jakelumuuntajat itsessään syöttävät jakeluverkkoon lieviä yliaaltoja, jotka aiheutuvat muuntajan rautasydämen epälineaarisuudesta sekä muuntajassa kulkevasta magnetointivirrasta. Muuntajien aiheuttamat yliaallot näkyvät etenkin muuntajaa verkkoon kytkettäessä, jolloin muuntaja syöttää useiden kymmenien sekuntien ajan harmonisia yliaaltoja verkkoon. Tällöin magnetointivirta voi olla suuruusluokaltaan lähellä muuntajan normaalia kuormitusvirtaa tai jopa sitä suurempi. Normaalitilanteessa muuntajan magnetointivirta on vain muutamia prosentteja kuormitusvirrasta. Myös kondensaattoriparistojen kytkeminen verkkoon tai irti verkosta aiheuttaa yleensä yliaaltoja. Harvinainen yliaaltojen aiheuttaja on korona, jonka vaikutus yliaaltojen syntymiseen näkyy poikkeuksellisten ilmasto-olosuhteiden aikana, kuten pitkien kylmien ja sateisten jaksojen aikana. Käytännössä koronan aiheuttamat yliaallot ovat merkityksellisiä ainoastaan pitkillä, useiden kilometrien pituisilla siirtoverkon osuuksilla, joissa koronan aikaansaamien yliaaltojen aiheuttaman virtakomponentin suuruus voi olla jopa satojen ampeerien suuruusluokkaa. Jakeluverkoissa koronan aiheuttamat yliaaltojen virtakomponentit ovat huomattavasti pienempiä kuin siirtoverkoissa johtuen lyhyemmistä siirtomatkoista, eikä koronaa näin ollen voi juurikaan pitää merkittävänä yliaaltojen syntymekanismina jakeluverkoissa. (SFS-EN 50160 2011 ; Energiateollisuus 2005.)

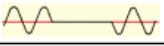
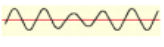
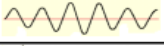
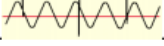
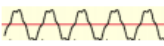
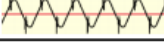
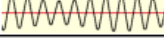
Sähköverkoissa esiintyvät yliaallot ovat merkittävä tekijä arvioitaessa kuluttajalle toimitettavan sähkön laatua. Yksittäisen sähkönkäyttäjän kannalta yliaaltojen verkkoon aiheuttamat virta- ja jännitesäröt ovat merkittäviä, sillä niiden suuruus vaikuttaa suoraan sähköllä toimivien kotitalouslaitteiden toimintaan ja käyttöön. Kuluttajan kannalta pahimmassa tapauksessa yliaallot voivat aiheuttaa kotitalouslaitteen rikkoutumisen tai jopa hengenvaaran käyttäjälleen. Lisäksi sähkön epätaustainen laatu voi nostaa kuluttajan loistehomaksuja. (SFS-EN 50160 2011; Energiateollisuus 2005.)

Teollisuusyrityksille sähkön huonosta laadusta aiheutuvia haittoja on mm. tuotannon mahdollinen katkeaminen, joka voi pahimmassa tapauksessa käydä yritykselle hyvinkin kalliiksi. Lisäksi häiriöt voivat ilmentyä laatuvirheinä tai viallisina ja epäluotettavina tuotteina. Näistä syistä onkin kuluttajille toimitettavan jännitteen laatu määrätty erillisessä standardissa SFS-EN 50160, jonka asettamien rajojen ylä- tai alapuolella jännitteen ei tulisi vaihdella. (Energiateollisuus 2005.)

Yksittäisten sähkökäyttäjien kokemien sähköverkon jännitteen heilahteluiden lisäksi jakeluverkossa esiintyvät yliaallot aiheuttavat monia verkon tekniseen ja toiminnalliseen mitoitukseen liittyviä ongelmia. Käytännössä nämä ongelmat jäävät verkon omistajan harteille eivätkä näy kuluttajalle juuri millään tavalla. Tämä on seurausta siitä, että sähkölain mukaan jakeluverkon haltija on vastuussa jakelu-jännitteen laadusta siinä pisteessä, jossa yksittäinen sähkön käyttäjä liittyy jakeluverkkoon. Jakeluverkon omistajan kannalta tämä tarkoittaa sitä, että verkon suunnittelu ja komponenttivalinnat ovat tärkeitä yliaalloilta suojauduttaessa. (Energiateollisuus 2005.)

Harmoniset yliaallot aiheuttavat jännitteen tai virran käyrämuodon vääristymisen samalla tavalla jokaisen jakson aikana. Toisin sanoen käyrämuoto on vääristymisestä huolimatta symmetrinen, joskaan ei sinimuotoinen. Epäharmoniset yliaallot puolestaan aiheuttavat jännitteen tai virran käyrämuodon jaksoihin epäsymmetri-aa. Harmonisen ja epäharmonisen yliaallon aiheuttamaa jännitteen käyrämuodon säröytymistä on havainnollistettu taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Häiriöiden vaikutus jännitteenkäyrään (VTT 2006, 12).

Häiriötyyppi	Kuvaus	Mahdolliset syyt
Sähkön jakelun katkos (> 1min)		Huoltotoimet, linjaviat, onnettomuudet, sää, tuuli, salamät, jää
Pitkäaikainen ylijännite		Pieni kuormitus, huono säätö
Pitkäaikainen alijännite		Raskas kuorma, voimakkaat kuormitushuiput, ei loistehonsäätöä, huono tehokerroin
Hetkelliset katkokset		Katkasijoiden laukeaminen, vian selvitystilanne, syötön vaihto
Jännitekuopat		Suurien kuormien kytkentä, hetkelliset viat, katkaisijoiden toiminta, induktiiviset kuormat
Hetkelliset ylijännitteet		Piirin kapasitanssi, suurten kuormien poiskytkentä, vaihevika
Transienttijännitteet		Valaistus, kapasitiivien kytkentä, virtasuojan laukeaminen, epälineaariset kuormat, häiriöt
Harmoniset virran yliaallot		Epälineaariset komponentit, korkeataajuiset kytkennät, TV, tietokoneet, valaistus, huono tehokerroin, laitteiden aiheuttama signaalihäiriö
Jaksolliset häiriöt (< 0,5 sykliä)		Tehoelektroniikkalaitteet
Välkyntä		Eritaajuinen jännitteen vaihtelu, valaistus, loistehon vaihtelu
Jännite-epätasapaino		Epätasainen kuormitus, kompensointikondensaattorit, moottorit

Jakeluverkossa esiintyvien harmonisten tai epäharmonisten komponenttien yksikönä käytetään THD:ää (Total Harmonic Distortion), joka kertoo paljonko tutkitavan jännitteen tai virran aaltomuodossa on yliaaltokomponentteja verrattuna sähköverkon perusaallon suuruuteen. Standardissa SFS-EN 50160 on määritelty jakeluverkossa esiintyvien harmonisten komponenttien suurimmat yliaaltopitoisuudet verrattuna verkon nimellijännitteeseen ja -virtaan. Standardissa ei kuitenkaan ole määritelty epäharmonisille yliaalloille minkäänlaisia raja-arvoja, sillä niiden ilmeneminen on verkossa huomattavasti harmonisia yliaaltoja harvinaisempaa. (Energiateollisuus 2005.)

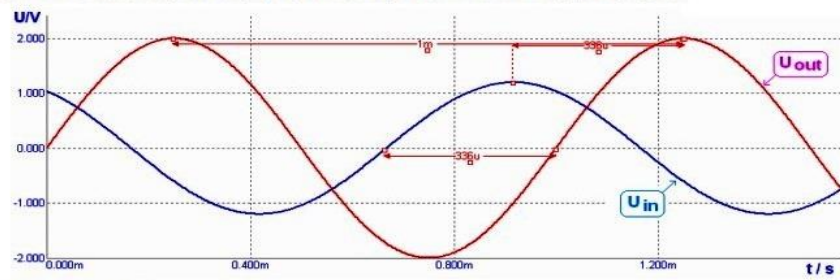
Yliaalloilla on suuri merkitys sähköjakeluverkossa, koska sähköjakeluverkoissa yliaaltojännitteet (jännitesärö) ovat tulleet ongelmaksi epälineaaristen kuormitusten lisääntyessä. Epälineaariset kuormat ottavat verkosta tai syöttävät verkkoon perustaajuisesta sinikäyrästä poikkeavia virtoja, jotka aiheuttavat verkon impedansseissa perustaajuudesta poikkeavia jännitteitä. Tällainen säröytynyt jännite

aiheuttaa sinimuodosta poikkeavia virtoja myös lineaarisella kuormituksella. Resonanssi-ilmiöt voivat merkittävästi vahvistaa jakeluverkossa esiintyviä yliaaltoja. Useimmin jakeluverkkoa kuormittaa kolmas yliaalto (150 Hz) ja viides yliaalto (250 Hz). Pääsääntöisesti 1-vaihekuormitukset tuottavat kolmannen yliaallon ja 3-vaihekuormitukset muut yliaallot. Kolmas yliaalto summautuu nollajohtimessa, jossa se näkyy kolmen vaihejohtimen yliaaltojen summana. On huomioitava tässä yhteydessä, että TN-C-järjestelmässä, jossa syöttävänkaapelin koko on esimerkiksi AL 3x50mm²+ Cu 16mm², eli Pen-johtimen johtokyky on alle puolet äärijohtimen johtokyvystä, nousujohdon rinnalle on ehdottomasti lisättävä lisäpotentiaalintasausjohdin. Uusien valaistusjärjestelmien yhteydessä voivat vaihejohtimissa kulkevat yliaallot kohota 30 prosenttiin kuormitusvirrasta, mikä merkitsee, että kuormitus nollajohtimessa on 3 x 30 %, eli 0,9 x vaihevirta. Ongelmallisia tiloja ovat esimerkiksi eläintuotantotilat (ilmastoinnin ja säätötekniikka), toimistot (säätötekniikka, tietokoneiden virtalähteet) ja teatterit (himmennetyt valojärjestelmät). Edellä mainituissa tiloissa voi N-johdoissa esiintyä 50 Hz:n virtoja, jotka ovat olleet suuruudeltaan 2-3 -kertaisia vaihejohtimien kuormitusvirtoihin verrattuna. Näiden ongelmien syynä on useasti kolmas harmoninen yliaalto. (SFS-EN 50160 2011; Energiateollisuus 2005.)

2.19 Vaihesiirto, vaihe-ero (φ)

Vaihesiirto tarkoittaa vaiheen muutosta signaalinkäsittelyn aikana, eli signaalin vaiheen muutos tulo- ja lähtösignaalin välillä. Vaihe-ero tarkoittaa kahden, toisiinsa lukitun signaalin vaihe-eroa, eli kahden toisiinsa lukitun signaalin vaiheiden välinen ero. Vaihesiirto ja vaihe-ero ovat mittausteknisesti sama asia. Vaihe-eroa on havainnollistettu kuviossa 8.

VAIHEIDEN VÄLISEN ERON TULKINTA JÄNNITE-AIKA -KUVAAJASTA



Kuvaajan tulkinta:

- Jaksonaika (τ) on 1 ms
- Signaalien välinen aikaero on 336 μ s, ja lähtö (U_{out}) on jäljessä tuloon (U_{in}) verrattuna, josta johtuen aikaero (Δt) on negatiivinen! eli: $\Delta t = -336 \mu$ s
- Toisaalta, jaksollisesta signaalista kun on kysymys, lähtö voisi olla myöskin 664 μ s edellä, jolloin aikaero (Δt) olisi: + 664 μ s

KUVIO 8. (Signaalin vaiheen muutos tulo- ja lähtösignaalin välillä (Kajak b, 3)

3 SÄHKÖVERKON LAADUNMITTAUS

Sähköverkon laatuun vaikuttavat monet erilaiset häiriötyypit, jotkut häiriöistä ovat hyvin lyhytaikaisia ja niiden esiintymistiheys voi olla jaksollisia tai ajallisesti aivan epämääräisiä. Häiriöiden aiheuttajina voivat olla kuluttajan omat toimilaitteet tai sähköverkosta tulevat jännitteen tason ja muodon muutokset. Edellämainittujen sähköverkon häiriöiden havaitseminen ja todentaminen voi olla selkeästi aistein havaittavissa, kuten esimerkiksi valojen vilkkuminen, koneiden käyttöhäiriöt, sähköjohtimien ja laitteiden poikkeuksellinen lämpeneminen ja jopa lyhytaikaiset jännitekatkokset. Tämän lisäksi sähköverkossa esiintyy piileviä, vaikeasti havaittavia jännitteen laatuongelmia, joita ovat esimerkiksi säröt, kuopat, transienttijännitteet, epäharmoniset ja harmoniset aallot, välkyntä ja verkon epätasainen kuormitus. Edellä mainittujen ongelmien todentaminen ja analysointi vaatii mittauslaitteen, joka pystyy mittaamaan nopeita laadun muuksia sekä rekisteröimään (tallentamaan) ne luettavaan muotoon. Näiden mittausarvojen perusteella voidaan paikallistaa ongelma ja tehdä tarvittavat korjaustoimenpiteet.

Tällä hetkellä on saatavissa muutamien valmistajien mittauslaitteita, joilla voidaan sähköverkon laatua luotettavasti mitata ja analysoida. Tässä opinnäytetyössä tutustaan yhden valmistajan mittauslaitteeseen, jonka avulla voidaan suorittaa nämä mittaukset ja analysoida tuloksia.

Esitellään Fluke 435II, 3-vaiheinen energia- ja sähkönlaatuanalysointilaitteisto

Fluke 435II:n ominaisuuksia:

- kymmenen sähkönlaatuparametria yhdessä näytössä EN50160-standardin mukaisesti
- automaattinen trendipiirto: jokainen mittaus tallentuu aina automaattisesti ilman erillisiä määrittämiä
- mittaa kaikki kolme vaihetta ja nollan
- sähkön syöttöpuolen mittausten turvaluokitus 600 V CAT IV/1000 V
- reaaliaikainen vianhaku

- voi mitata samanaikaisesti AC-lähtötehoa ja DC-ottotehoa tehoelektronikkajärjestelmissä lisävarusteena saatavan DC-virtapihdin avulla
- voi mitata RMS-tietoja nopeasti sekä näyttää puolijaksot ja aaltomuodot saadaksesi tietoja sähköjärjestelmän dynamiikasta (generaattorien käynnistys, UPS-kytkennät jne.).



KUVIO 9. Fluke 435 3-vaiheinen energia- ja sähkönlaatuanalysointilaitteisto (Fluke.com).

TAULUKKO 3. Käyttöympäristö

Käyttölämpötila	0 °C ~ +40 °C; +40 °C ~ +50 °C akku irroitettuna
Säilytyslämpötila	-20 °C ~ +60 °C
Kosteus	+10 °C ~ +30 °C: 95% RH, ei kondensoiva
	+30 °C ~ +40 °C: 75% RH, ei kondensoiva
	+40 °C ~ +50 °C: 45% RH, ei kondensoiva
Enimmäiskäyttökorkeus merenpinnasta	Käyttöympäristö CAT IV 600 V ja CAT III 1000 V, enintään 2000 m
	Käyttöympäristö CAT III 600 V ja CAT II 1000 V, enintään 3000 m
	Enimmäissäilytyskorkeus 12 km
Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC)	Täyttää EN 61326 (2005-12) -standardin vaatimukset päästöjen ja häiriönsiedon osalta
Liitännät	mini-USB-B, eristetty USB-portti tietokoneeseen liittämistä varten SD-korttipaikka sijaitsee laitteen akun takana

Taulukossa 4 on esitetty mittarin valmistajan antamat raja-arvot, joiden mukaisissa olosuhteissa mittaria tulee käyttää, jotta se toimisi asianmukaisesti.

TAULUKKO 4. Fluke 435 II Mitattavat suureet(Fluke 2012, 27-7)

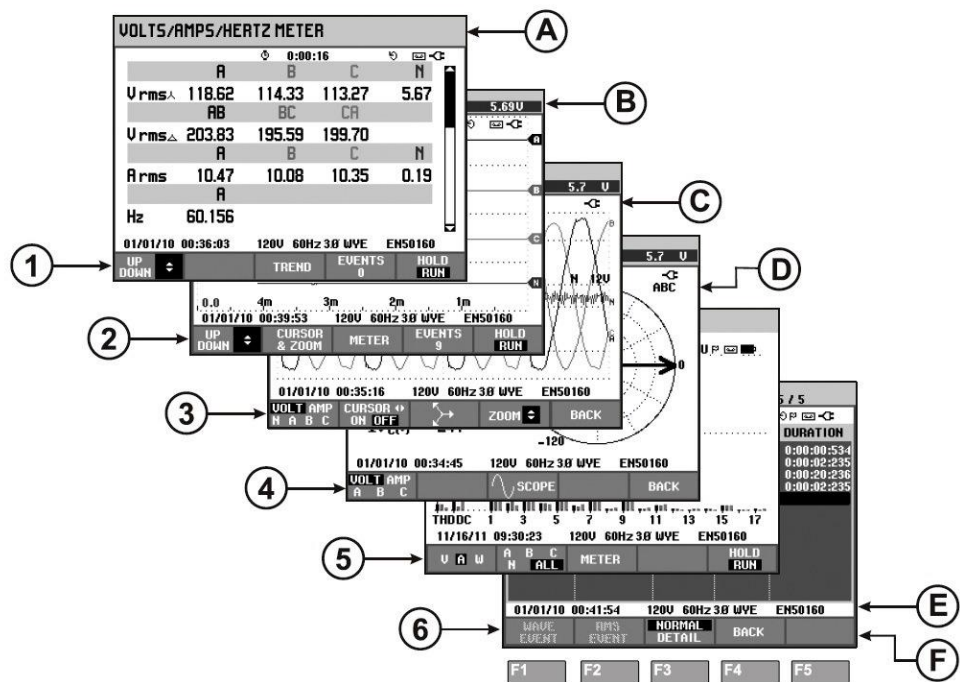
Mittausmenetelmä

Vrms, Arms	10/12 jakson jatkuva, aukoton intervalli käyttäen 500/416 ² näytettä per jakso, IEC 61000-4-30-standardin mukaisesti
Vpeak, Apeak	Korkein absoluuttinen näytearvo 10/12 jakson ajalta, näytteen erottelukyky 40 µs
Jännitteen huippukerroin (CF)	Mittaa Vpeak- ja Vrms-arvojen suhdetta
Virran huippukerroin (CF)	Mittaa Apeak- ja Arms-arvojen suhdetta
Hz	Mitataan 10 sekunnin välein IEC61000-4-30-standardin mukaisesti. Vrms ^{1/2} - ja Arms ^{1/2} -arvot mitataan yhden jakson ajalta, alkaen perustaajuuden nollassa leikkauksesta ja päivitetään jokaisella puolijaksolla. Tämä tekniikka on erillinen kussakin kanavassa IEC 61000-4-30-standardin mukaisesti.
Harmoniset yliaallot	Lasketaan 10/12 jakson aukottomista harmonisen ryhmän jännite- ja virtamittauksista IEC 61000-4-7-standardin mukaisesti
W	Pätötehon täys- ja perustaajuusarvojen näyttö. Laskee hetkellisen tehon keskiarvon kussakin vaiheessa 10/12 jakson ajalta. Pätötehon kokonaisarvo PT = P1 + P2 + P3.
VA	Näennäistehon täys- ja perustaajuusarvojen näyttö. Laskee näennäistehon käyttäen Vrms x Arms -arvoa 10/12 jakson ajalta.
VAR	Loistehon perusarvon näyttö. Laskee perustaajuuden myötäkomponenttien loistehon. Kapasitiivinen ja induktiivinen kuorma osoitetaan kondensaattori- ja induktorikuvakkeilla.
VA yliaallot	Harmonisten aaltojen aiheuttama kokonaisuuhäiriöteho. Lasketaan kullekin vaiheelle ja koko järjestelmälle näennäistehon kokonaisarvon ja perustaajuuden pätötehon pohjalta.
VA epäsymmetria	Koko järjestelmän epäsymmetriateho. Lasketaan symmetristen komponenttien menetelmällä näennäistehon perustaajuudelle ja kokonaisarvolle.
Tehokerroin	Laskennallinen kokonaisteho W/VA
Cos φ	Perustaajuuden jännitteen ja -virran välisen kulman kosini.
DPF	Laskennallinen perustaajuinen teho W/VA
Energia / energian hinta	kWh-arvoissa käytettävät tehoarvot kerätään pitkältä aikaväliltä. Energian hinta lasketaan käyttäjän määrittämän kWh:n hintamuuttujan avulla.
Epäsymmetria	Syöttöjännitteen epäsymmetria arvioidaan symmetristen komponenttien menetelmällä IEC61000-4-30-standardin mukaisesti
Välkyntä	IEC 61000-4-15-standardin mukainen välkyntämittaus. Sisältäen 230V, 50Hz ja 120V, 60Hz lampumallit
Transienttimittaukset	Tallentaa signaalin verhoikäyrään liipaistun aaltomuodon. Mahdollista liipaista myös kuoppaan, kohoumaan, katkokseen ja virtatasonon.
Käynnistysvirran mittaus	Käynnistysvirran mittaus alkaa, kun puolijakson Arms-arvo ylittää raja-arvon ja päättyy, kun puolijakson Arms-arvo on yhtä suuri tai alle raja-arvon, josta on vähennetty käyttäjän valitsema hystereesi-arvo. Mittaus on käynnistyksen keston aikana mitattujen puolijaksojen Arms-arvojen neljoiden neliojuri. Jokainen puolijakso on aukoton ja ei-päälekkäinen, IEC 61000-4-30-standardin suositusten mukaisesti. Käynnistyksen kesto merkitään pisteiviivoilla. Puolijaksojen Arms:n huippuarvon voi mitata kursoreilla.
Verkon signaalijännitteet	Mittausten pohjana käytetään joko vastaavan 10/12 jakson rms-arvon epäharmonista tallennetta tai neljän lähimmän 10/12 jakson rms-arvon epäharmonisen tallenteen rms-arvoa IEC 61000-4-30-standardin mukaisesti. Raja-arvojen asetus Monitor-tilassa EN50160-standardin mukaisesti.
Aikasykronointi	Lisävarusteena saatava GPS430-II-aikasykronointimoduuli mahdollistaa aikapoiikkeaman arvon ≤ 20 ms tai ≤ 16,7 ms käytön tapahtumien ja aikakytkettyjen mitausten aikamerkinnoissa. Kun sykronointi ei ole käytettävissä, sallittu aikapoiikkeama on ≤ 1 s/24 h

Ylläolevasta taulukosta 4 selviävät ne suureet, joita mittarilla voidaan mitata.

Mittarin näyttötilat 1 – 6

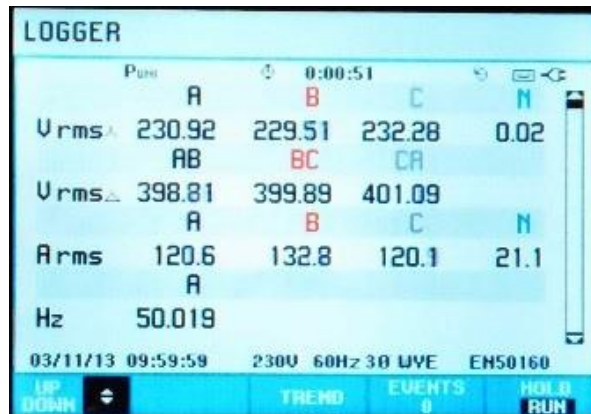
Mittarissa Fluke 435 II on kuusi erilaista näyttötilaa, Logger monimittaustila, trendinäyttö, aaltomuotonäyttö, vektorinäyttö, pylväs näyttö ja tapahtumalistaus. Kuvioden 9 – 15 yhteydessä on lyhyesti selvitetty kunkin näytön sisältö ja tarkoitus.



KUVIO 10. Näyttötyypit (Fluke 2012, 5-1).

1. Mittarinäyttö

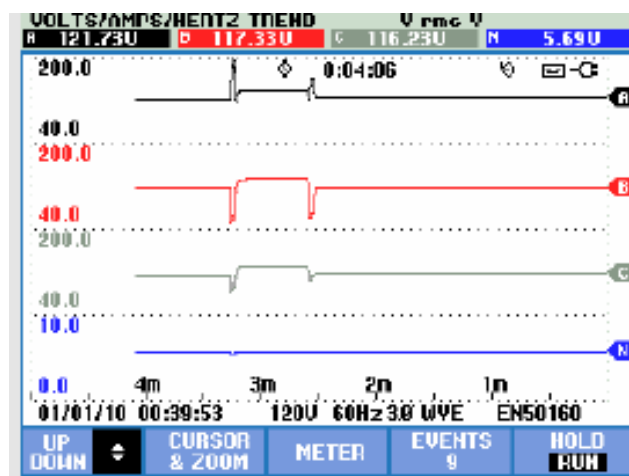
- yleisnäkymä tärkeistä numeerisista mittaustuloksista
- mittarinäytössä olevat numeroarvot tallentuvat muistiin ja tallennetaan kun tilasta poistutaan



KUVIO 11. Logger monimittaustila (Fluke 2012, 21-2).

2. Trendinäyttö

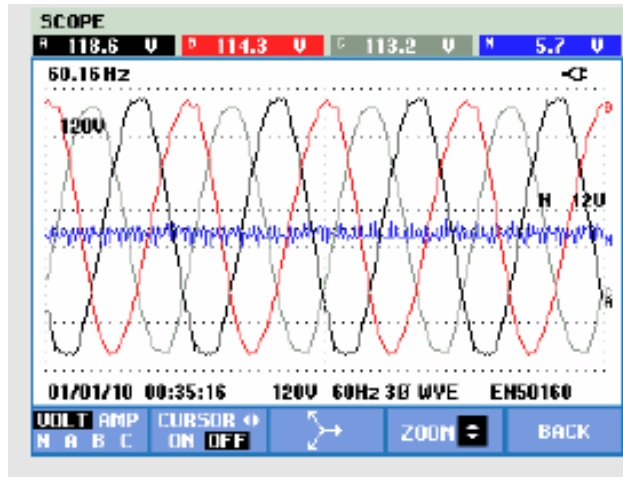
- näyttää mittarinäytön suureiden vaihtelut ajan suhteen



KUVIO 12. Trendinäyttö (Fluke 2012, 8-2).

3. Aaltomuotonäyttö

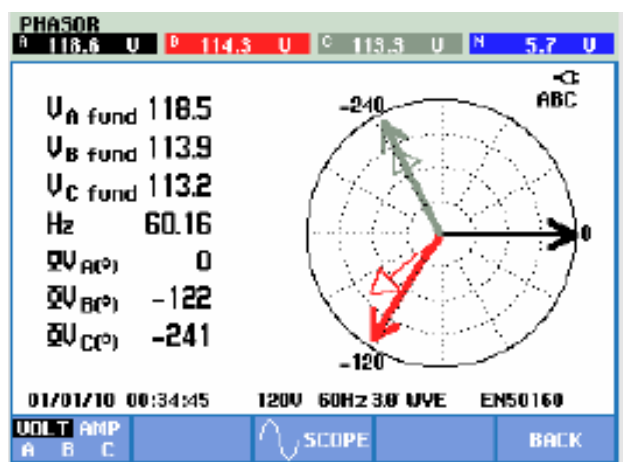
- näyttää jännitteen ja virran aaltomuodot oskilloskoopin näytöllä



KUVIO 13. Aaltomuotonäyttö (Fluke 2012, 7-1).

4. Vektorinäyttö

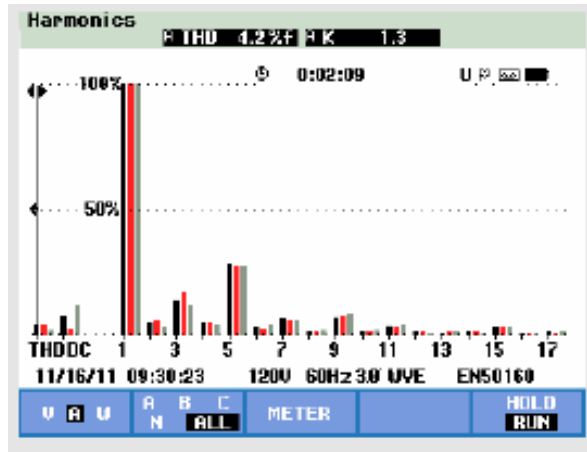
- näyttää jännitteen ja virran vaihe-eron vektorinäytöllä



KUVIO 14. Vektorinäyttö (Fluke 2012, 6-3).

5. Pylväsnäyttö

- näyttää mittausparametrien esiintymisen prosentteina pylväsnyhtöllä



KUVIO 15. Pylväsnäyttö (Fluke 2012, 10-2).

6. Tapahtumalistaus

- listaus tapahtumista, jotka ilmenivät mittauksen aikana
- listaus sisältää seuraavat tiedot: alkamispäivä, alkamisaika, vaihe ja kesto

VOLTS/AMPS/HERTZ EVENTS				
START 01/01/10 01:22:44		EVENT 6 / 6		
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
01/01/10	01:22:46:858	B DIP	32.5 V	0:00:02:377
01/01/10	01:22:46:882	B SWL	138.1 V	0:00:00:076
01/01/10	01:22:47:373	B SWL	106.0 V	0:00:01:062
01/01/10	01:22:49:375	B DIP	5.1 V	0:00:02:343
01/01/10	01:22:49:525	C SWL	132.5 V	0:00:00:066
01/01/10	01:22:49:641	C SWL	134.9 V	0:00:02:077

01/01/10 01:24:43 120V 60Hz 3Ø UVE EN50160

STATUS: NORMAL BACK


EVENT: EVENT: DETAIL


KUVIO 16. Tapahtumalistaus (Fluke 2012, 8-3).


TAULUKKO 5. Fluke 435 II:n mittaustilat (Fluke 2012, 27-4).


Scope (oskilloskoopinäyttö)	4 jänniteaaltomuotoa, 4 virta-aaltomuotoa, Vrms, Vfund, Arms, A fund, V @ kursorin kohdalla, A kursorin kohdalla, vaihekulmat
Volts/Amps/Hertz	Vrms vaihe-vaihe, Vrms vaihe-nolla, Vpeak, V huippukerroin (CF), Arms, Apeak, A huippukerroin (CF), Hz
Kuopat ja kohoumat (Dips and Swells)	Vrms½, Arms½, Pinst, ohjelmoitavilla liipaisutasoilla tapahtumien havaitsemiseksi
Harmoniset yliaallot (Harmonics) DC, 1 ... 50	Jänniteyliaallot, THD V, virtayliaallot, virran K-kerroin, tehoyliaallot, THD W, tehon K-kerroin, jännitteen epäharmoniset, virran epäharmoniset, Vrms, Arms (suhteessa perustajukseen tai kokonais RMS-arvoon) Fluke 437-II @ 400 Hz: DC, 1 ... 13
Teho ja energia (Power and Energy)	Vrms, Arms, Wfull, Wfund., VAfull, VAFund., VAharmonics, VAunbalance, var, PF, DPF, CosQ, tehokkuuskerroin (Efficiency factor), Wforward (käytetty teho), Wreverse (syötetty teho)
Energiahävikkilaskuri (Energy Loss Calculator)	Wfund, VAharmonics, VAunbalance, var, A, Loss Active, Loss Reactive, Loss Harmonics, Loss Unbalance, Loss Neutral, Loss Cost (perustuen käyttäjän määrittelemään hintaan per kWh)
Inverterin tehokkuus (Inverter Efficiency)	Wfull, Wfund, Wdc, Efficiency, Vdc, Adc, Vrms, Arms, Hz Note: vaatii lisävarusteena saatavan AC/DC-virtapihdin
Epäsymmetria (Unbalance)	Vneg%, Vzero%, Aneg%, Azero%, Vfund, Afund, jännitteen vaihekulmat, virran vaihekulmat
Käynnistysvirta (Inrush)	Inrush current (käynnistysvirta), Inrush duration (käynnistykseen kesto), Arms½, Vrms½
Sähkönlaadun seuranta (Monitor)	Vrms, Arms, jänniteyliaallot, jännitteen THD, Pit, Vrms½, Arms½, Hz, dips (kuopat), swells (kohoumat), interruptions (keskeytykset), rapid voltage changes (nopeat jännitemuutokset), unbalance (epäsymmetria) ja mains signalling (verkon signaalijännitteet). Kaikkia parametrejä mitataan samanaikaisesti EN50160-mukaisesti. Liputus (Flagging) osoittaa kuopista ja kohoumista johtuvat epäluotettavat muut lukemat IEC61000-4-30-mukaisesti. Huomio: ei käytössä 400 Hz:n mittauksissa (Fluke 437-II)
Välkyntä (Flicker)	Pst (1min), Pst, Pit, Pinst, Vrms½, Arms½, Hz. Huomio: ei mallissa Fluke 434-II Huomio: ei käytössä 400 Hz:n mittauksissa (Fluke 437-II)
Piikinmittaus (Transients)	Transientiaalimuodot: 4x jännite, 4x virta, liipaisu: Vrms½, Arms½, Pinst Huomio: ei mallissa Fluke 434-II
Verkon signaalijännitteet (Mains Signaling)	Suhteellinen signaalijännite tai absoluuttinen jännite joka on keskiarvoistettu 3 sekunnin jaksoissa, kaksi käyttäjän aseteltavaa taajuutta Huomio: ei mallissa Fluke 434-II Huomio: ei käytössä 400 Hz:n mittauksissa (Fluke 437-II)
Power Wave	Vrms½, Arms½, W, Hz sekä jännite-, virta- ja tehoaaltomuodot Huomio: ei mallissa Fluke 434-II eikä 400Hz:n mittaustilassa
Tiedonkeruu (Logger)	Mittaa jopa 150 sähkönlaatuparametriä kaikilta 4 vaiheelta samanaikaisesti.
Shipboard V/A/Hz (437)	Vrms, V tol %, V imb %, V mod, A rms, A imb %, Hz, Hz 10 s, Hz dev, Hz dev %, Hz mod, Hz mod % (kaikki MIL-STD-1399-300B-mukaisesti). Huom: ei malleissa Fluke 434-II/435-II


Ylläolevassa taulukossa 5 on lyhyesti selvitetty erilaiset mahdolliset mittaustilat.


 Mittaustoiminto: käytössä oleva mittaustoiminto näytetään näytön yläosassa.


 Mittausarvot: tärkeimmät numeeriset mittauservat. Väri on erilainen eri vaiheille sekä virroille ja jännitteille. Jos kursorimittaus on käytössä, näytetään kursorin kohdalla olevat mittauservat.



 Tila-indikaattorit. Seuraavat symbolit voivat ilmestyä näytölle ja ne ilmaisevat analysaattorin ja mittauksen tilan:



 Indikaattori kertoo että käytössä on 150/180 jakson (3 s) aggregointiväli (yhdistämisväli) (perustaajuus 50/60 Hz). Mikäli indikaattoria ei ole näkyvässä, aggregointiväli on 10/12 jaksoa (perustaajuus 50/60 Hz). Indikointi ei ole käytössä rms-lukemille.



-**9999:59:59** Aika jonka kyseinen mittaus on ollut käynnissä. Aika on muotoa: hh:mm:ss. Mikäli on valittu ajastettu käynnistys, kellonaika laskee alaspäin ja sen etumerkkinä on -.


 Mittaustulos voi olla epävakaata/epäluotettava. Esimerkiksi taajuuslukema mikäli referenssikanavalta A (L1) puuttuu jännite.


 Liputus IEC61000-4-30 normin mukaisesti. Liputus kertoo että kuoppa, kohouma tai katkos on esiintynyt mittausjakson aikana, jolloin ne ovat vaikuttaneet mittaustulokseen huomontavasti

 /  Mittausdatan tallennus on käynnissä/pois käynnistä.

  Kiertosuunnan ilmaisin.

  Akku/verkkolaitteen symboli. Akkukäytössä näytetään akun varaustila.

 Näppäimistö lukittu. Pidä ENTER-nappia painettuna 5 sekunnin ajan avataksesi/lukitaksesi näppäinlukko.

 Päänäyttö mittaustulokseen.

KUVIO 17. Näytöllä ilmoitettavat mittauksenaikaiset toiminnot (Fluke 2012, 5-3).

3.1 Turvallinen mittaustapahtuma

Mittaus suoritetaan turvallisesti noudattamalla seuraavia ohjeita (SFS 6002 2009):

- Suorita mittauskytkennät jännitteettömässä laiteistossa mikäli mahdollista.
- Tee mittausjohtimien asennus jännitteisessä laiteistossa jännitetyönä tai mikäli on mahdollista tee mittaustyö lähityönä.
- Suojaa tarvittaessa mittausalueen lähellä olevat jännitteiset osat.
- Huomioi ympäristöolosuhteiden aiheuttamat erityisvaatimukset.
- Lukitse tai eristä mittaustila niin, etteivät ulkopuoliset pääse lähialueelle.
- Varoita, tiedota mittaustapahtumasta lähialueen ulkopuolisella varoituskyltillä, jossa ilmenee: mittausaika, mittauksen suorittaja, yhteistiedot, päiväys.
- Huomioi! Mittausalueelle voi sähköverkon vikatilanteessa tunkeutua ulkopuolinen henkilö (maallikko, opastettu henkilö, ammattimies).

Lisäksi tulee huomioida seuraavat mittauslaitteen valmistajan turvallisuusohjeet ja turvallisuus tiedotteet:

Turvallisuustiedot: Lue ensin

Fluke 434-II/435-II/437-II kolmivaiheinen energia- ja sähkönlaatuanalysointilaitteisto täyttää seuraavat standardit:

IEC/EN61010-1-2001,

CAN/CSA C22.2 No 61010-1-04 (ml. hyväksyntä „CSA-MS“),

UL std No 61010-1,

Safety Requirements for Electrical Equipment for Measurement, Control and Laboratory Use, osa 1: Yleiset vaatimukset, turvaluokitus: 600V CAT IV 1000V CAT III Pollution Degree 2.

Käytä analysointilaitetta ja sen lisävarusteita vain kuten tässä käyttöohjeessa on kerrottu, muuten analysointilaitteen tai sen lisävarusteiden suojaus voi heikentyä.

KUVIO 18. Turvallisuustiedote (Fluke2012 , 1-4).

Fluke 435 II valmistajan turvallisuusohjeet ilmenevät alla olevasta kuviosta.

- Älä kytke suojamaa-tuloon mitään jännitteitä. Käytä sitä vain analysaattorin maadoittamiseen.
- Älä kytke analysaattoria jännitteisiin, jotka ylittävät sen jänniteluokituksen.
- Älä ylitä mittapäiden, -johtojen tai virtapihtien omia jänniteluokituksia.
- Käytä vain oikean turvaluokituksen (CAT) omaavia jännite- ja virtamittapäitä, -johtoja ja -adaptereita.
- Älä ylitä analysaattoriin kytkettyjen lisävarusteiden alinta yksittäistä turvaluokitusta (CAT). "Ketju on niin vahva kuin sen heikoin lenkki".
- Noudata paikallisia ja kansainvälisiä turvamääräyksiä ja -ohjeita. Käytä henkilökohtaisia suojarusteita (hyväksytyt jännitetyökäsineet, kasvosuojaus ja suojavaatetus) estääksesi sähköisku- ja valokaarivaara kun työskennellään vaarallisten jännitteisten johtimien läheisyydessä.
- Akkukotelon kansi tulee olla suljettuna ja lukittuna ennen analysaattorin käyttöä.
- Älä käytä analysaattoria mikäli jokin kansi tai luukku on auki. Vaarallinen jännite voi olla kosketettavissa.
- Kiinnitä erityishuomiota irroittaessasi ja kiinnittäessäsi joustavia virtapihtejä: tee piiri jännitteettömäksi tai käytä tarvittavia suojarusteita.
- Älä käytä eristämättömiä, metallisia BNC- tai banaaniliittimiä.
- Älä kytke metalliesineitä tuloliittimiin.
- Käytä vain BC430-verkkolaitetta/akkulaturia.
- Ennen käyttöä tarkista että valittu verkkojännite on oikea, eli että BC430:ssa oleva kytkin on paikallista verkkojännitettä vastaavassa asennossa (katso kuva alla).
- Käytä vain paikallisten turvamääräysten mukaisia pistokeadaptereita BC-430 verkkolaitteessa.
- Irroita kaikki jännitemittakohdot ja virtapihdit analysaattorista ennen sen puhdistamista.
- Käytä vain hyväksytyjä varaosia.

- Älä kytke suojamaa-tuloon mitään jännitteitä. Käytä sitä vain analysaattorin maadoittamiseen.
- Älä kytke analysaattoria jännitteisiin, jotka ylittävät sen jänniteluokituksen.
- Älä ylitä mittapäiden, -johtojen tai virtapihtien omia jänniteluokituksia.
- Käytä vain oikean turvaluokituksen (CAT) omaavia jännite- ja virtamittapäitä, -johtoja ja -adaptereita.
- Älä ylitä analysaattoriin kytkettyjen lisävarusteiden alinta yksittäistä turvaluokitusta (CAT). "Ketju on niin vahva kuin sen heikoin lenkki".
- Noudata paikallisia ja kansainvälisiä turvamääräyksiä ja -ohjeita. Käytä henkilökohtaisia suojarusteita (hyväksytyt jännitetyökäsineet, kasvosuojaus ja suojavaatetus) estääksesi sähköisku- ja valokaarivaara kun työskennellään vaarallisten jännitteisten johtimien läheisyydessä.
- Akkukotelon kansi tulee olla suljettuna ja lukittuna ennen analysaattorin käyttöä.
- Älä käytä analysaattoria mikäli jokin kansi tai luukku on auki. Vaarallinen jännite voi olla kosketettavissa.
- Kiinnitä erityishuomiota irroittaessasi ja kiinnittäessäsi joustavia virtapihtejä: tee piiri jännitteettömäksi tai käytä tarvittavia suojarusteita.
- Älä käytä eristämättömiä, metallisia BNC- tai banaaniliittimiä.
- Älä kytke metalliesineitä tuloliittimiin.
- Käytä vain BC430-verkkolaitetta/akkulaturia.
- Ennen käyttöä tarkista että valittu verkkojännite on oikea, eli että BC430:ssa oleva kytkin on paikallista verkkojännitettä vastaavassa asennossa (katso kuva alla).
- Käytä vain paikallisten turvamääräysten mukaisia pistokeadaptereita BC-430 verkkolaitteessa.
- Irroita kaikki jännitemittakohdot ja virtapihdit analysaattorista ennen sen puhdistamista.
- Käytä vain hyväksytyjä varaosia.

KUVIO 19. Mittauslaitteen valmistajan turvallisuusohjeet (Fluke 2012, 1-5,6).

Seuraavissa kuvioissa 19 – 21 on havainnollistettu mittarin kytkentää erilaisissa käyttö- ja mittaussympäristöissä.



KUVIO 20. Analysaattorin kytkentä jännitetyönä (Fluke.de).



KUVIO 21. Analysaattorin kytkentä jännitetyönä (lähityönä) (pceinstruments.de).



KUVIO 22. Mittaustapahtuma on käynnissä lukitussa tilassa (Sähkörenki Ky).

Liitteessä 11 on esitetty joitakin perusmittausten tuloksia graafisina kuvioina havainnollistamaan myös muitakin kuin tässä työssä käsitellyn asiakkaan luona olevaa tuotantoympäristöä.

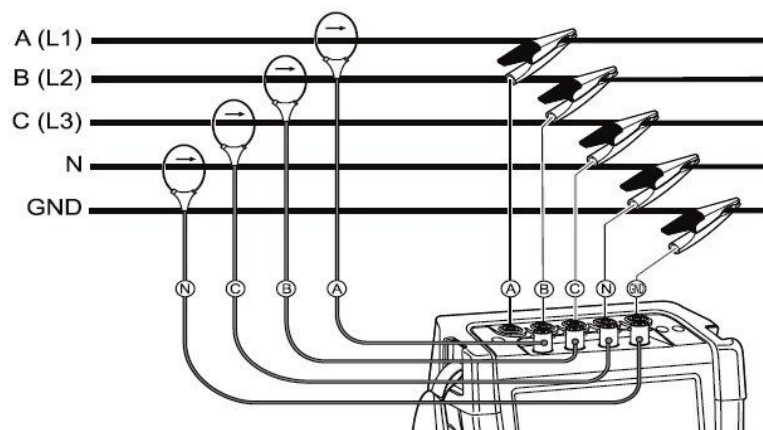
3.2 Mittaustoiminnot

Fluke 435 II mittarin mittaustoimintoja on esitelty tarkemmin liitteissä 3 ja 4.

Tärkeimmät mitattavat suureet:

- vaihekohtaiset jännitteet (Phase voltages)
- vaihekohtaiset virrat (Phase currents)
- huippukerroin (Crest Factor), $1,8 \geq$ tarkoittaa säröytynyttä aaltomuotoa => kokonaissärö THD
- harmoniset yliaallot (Harmonics), vaihekohtaiset jännite- ja virtayliaallot sekä kokonaissäröt
- välkytä (Flicker), vaihekohtaiset lyhyt- ja pitkäaikaiset jännitteen välkyn-täarvot
- kuopat ja kohoutumat (Dips Swells), nopeat min. puolen jakson pituiset jännitteen kuopat tai kohoutumat
- taajuus
- epäsymmetria (Unbalance), jokaisen vaiheen jännite tulisi olla 1 %:n sisäl-lä kaikkien kolmen vaiheen keskiarvosta.

Mittauksen kytkentä

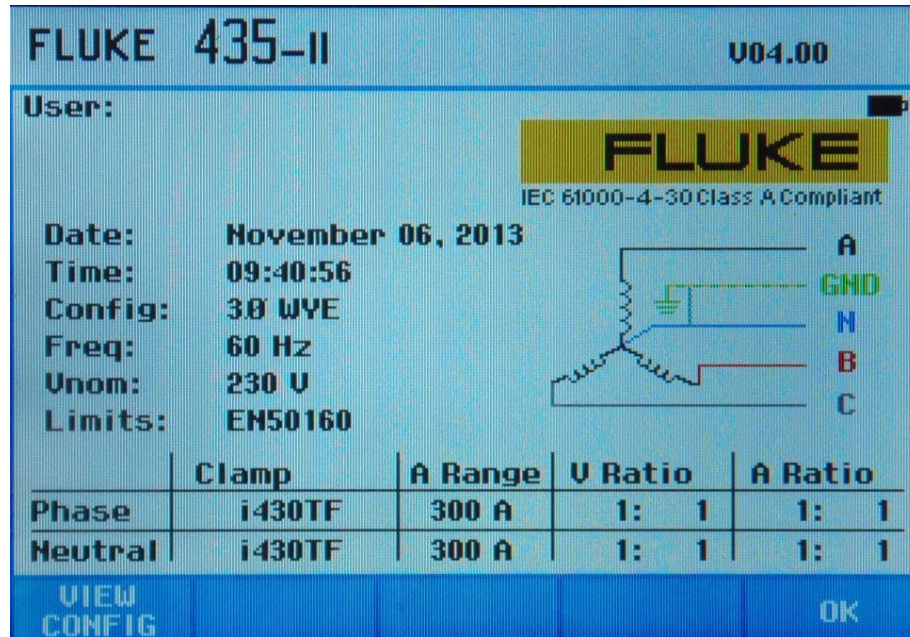


Kuva 6-2. Analysaattorin kytkeminen 3-vaihejärjestelmään

Kytke ensin virtapihdit eri vaiheiden A (L1), B (L2), C (L3) ja nollajohtimen N ympärille. Virtapihteihin on merkitty virran kulkusuunta.

Tee seuraavaksi jännitekytkennät. Aloita maajohtimen kytkemisellä ja kytke sitten eri vaiheet, A (L1), B (L2) ja C (L3). Kytke aina maajohdin ja tarkista että virtapihdit ovat täysin suljettuina johtimien ympärillä.

KUVIO 23. Analysaattorin kytkentä kolmevaiheverkkoon (Fluke 2012, 6-2).



KUVIO 24. Fluke 435 II perusnäyttö: päiväys, aika, taajuus, virta/kerroin, jännite/kerroin, kytkentälaji (tähtiverkko) ja johtimien värikoodi esiaseteltuina (Sähkörenki Ky).

Mittaustavan valinta

Mittaustavan valintaan vaikuttaa ensisijaisesti tarvittavan tiedon laajuus, joten voidaan valita jokin spesiaalialue, kuten esimerkiksi epäsymmetria tai välkyntä. Käytännössä yksinkertaisemmaksi ja tehokkaammaksi mittaustavaksi on kuitenkin todettu Logger-toiminto.

Logger-toiminto:

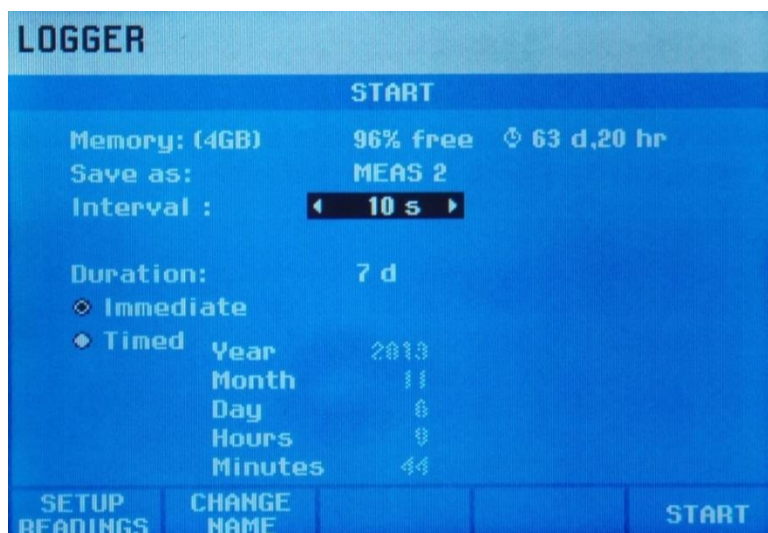
Loggeri on tiedonkeruutoiminto, jolla voidaan tallentaa monia eri lukemia samanaikaisesti. Lukemat tallennetaan asetetuin aikajaksoin. Kun jakso loppuu, tallennetaan muistiin valittujen näyttöiden minimi, maksimi ja keskiarvot. Seuraava mittausjakso alkaa annettujen aikaparametrien (esimerkiksi 10 s) mukaisesti. Toimintoon voidaan valita erilaisia mittaustapahtumia valmiiksi ja niitä voidaan käyttää eri mittauskohteissa suoraan ilman erillisiä muutoksia. Ainoastaan kohteen tunniste tulee merkitä.

Logger-toimintoon voidaan esivalita esimerkiksi seuraavia mitattavia suureita:

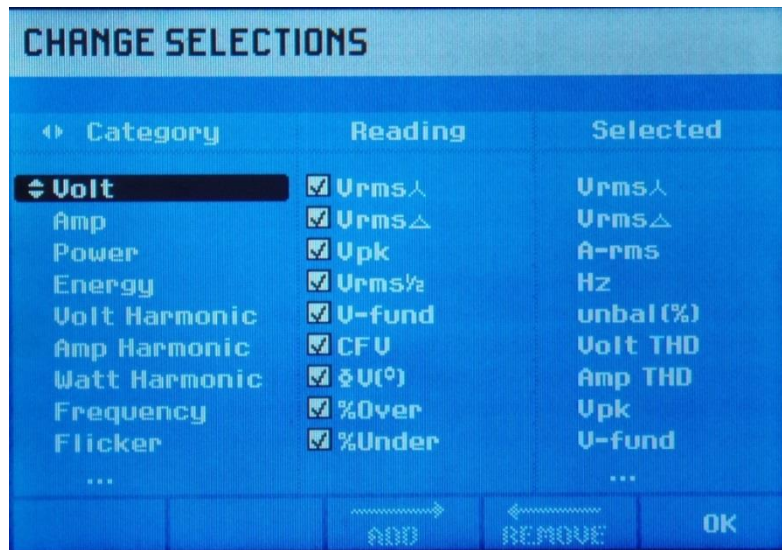
Pääkategoriat:

- mittausaikavälinpituus (Interval 0.25 s-2 h)
- kokonaismittausaika (1h-7vr)
- jännite
- virta
- teho
- energia
- jänniteyliaallot
- virtayliaallot
- tehoyliaallot
- taajuus
- välkyntä
- epäsymmetria
- signaalijännitteet.

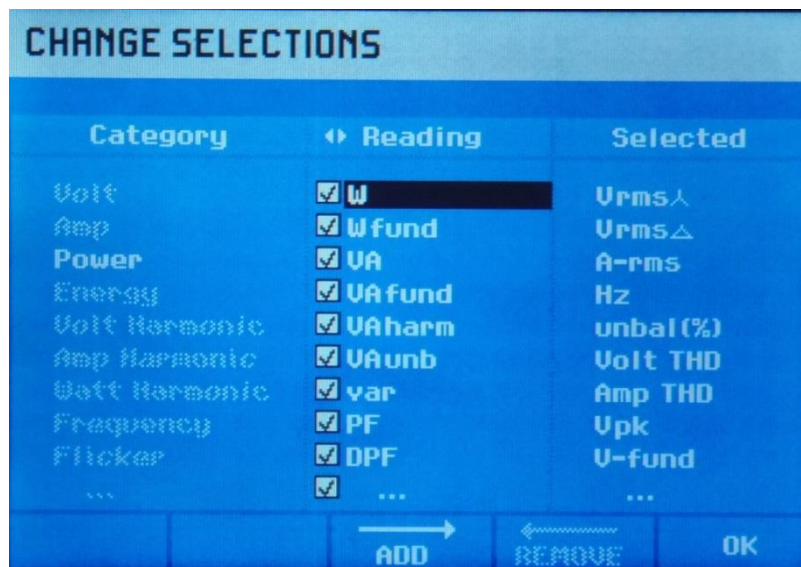
Jokaisen kategorian alta löytyy alivalikko, josta voi valita spesiaalimittausvalintoja. Seuraavana muutamia kuvallisia esimerkkejä Logger-toiminnon valikosta:



KUVIO 25. Mittauksen aikajakson valikko (Sähkörenki Ky).



KUVIO 26. Jännitekategoria alivalikko (Sähkörenki Ky).



KUVIO 27. Tehokategorian alivalikko (Sähkörenki Ky).

Mittaustetojen tallennus

Mittaustiedot tallentuvat joko niin, että kokonaismittausaika on umpeutunut tai mittaja keskeyttää mittauksen ja tallentaa mitaustiedot. Mittaustiedot tallentuvat SD-kortille, suurin tuettu kortti on 32 Gb. Tallennetut tiedostot voidaan purkaa suoraan mittarista USB-kaapelilla, nopeampi tapa on kuitenkin PC:n kortinlukija. Mittarin PC-ohjelmalla toimii Power Log -ohjelma, jolla voidaan tarkastella mitaustuloksia.

3.3 Mittaustulosten tarkastelu

Power Log -ohjelmalla valitaan ne mittauskategoriat, joita tarkastellaan.

Seuraavissa kuvissa esitetään kuvaleikkauksia eri mitaussyureista kommentoituina.

MEAS 1 -- Kastarin Porsas_2014.fpg | 5.11.2014 22:00:32 | Page 2

Measurement Summary

Measurement topology	Wye mode
Application mode	Logger
First recording	3.11.2013 9:59:12
Last recording	3.11.2013 11:59:07
Recording interval	0h 0m 5s 0msec
Nominal Voltage	230 V
Nominal Current	300 A
Nominal Frequency	60 Hz
File start time	3.11.2013 9:59:12
File end time	3.11.2013 11:59:07
Duration	0d 1h 59m 55s 0msec
Number of events	0
Events downloaded	No
Number of screens	0
Screens downloaded	No
Power measurement method	Unified
Cable type	Copper
Harmonic scale	%H1
THD mode	THD 40
CosPhi / DPF mode	DPF

Recording Summary

RMS recordings	1440
DC recordings	0
Frequency recordings	1440
Unbalance recordings	1440
Harmonic recordings	1440
Power harmonic recordings	1440
Power recordings	1440
Power unbalance recordings	1440
Energy recordings	1440
Energy losses recordings	1440
Flicker recordings	1440
Mains signaling recordings	1440

Events Summary

Dips	0
Swells	0
Transients	0
Interruptions	0
Voltage profiles	0
Rapid voltage changes	0
Screens	0
Waveforms	0
Intervals without measurements	0
Inrush current graphics	0
Wave events	0
RMS events	0

KUVIO 28. Asetusten yhteenveto (Sähkörenki Ky).

Kastarin Porsas Oy:n sähköverkon testausmittaus suoritettiin 3.11.2014, testaukset A ja B.

A: mittaustapahtumat on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 9.

Aika 3.11.2014 klo 10.00.12 (vuosimerkintä 2013 on virheellinen)

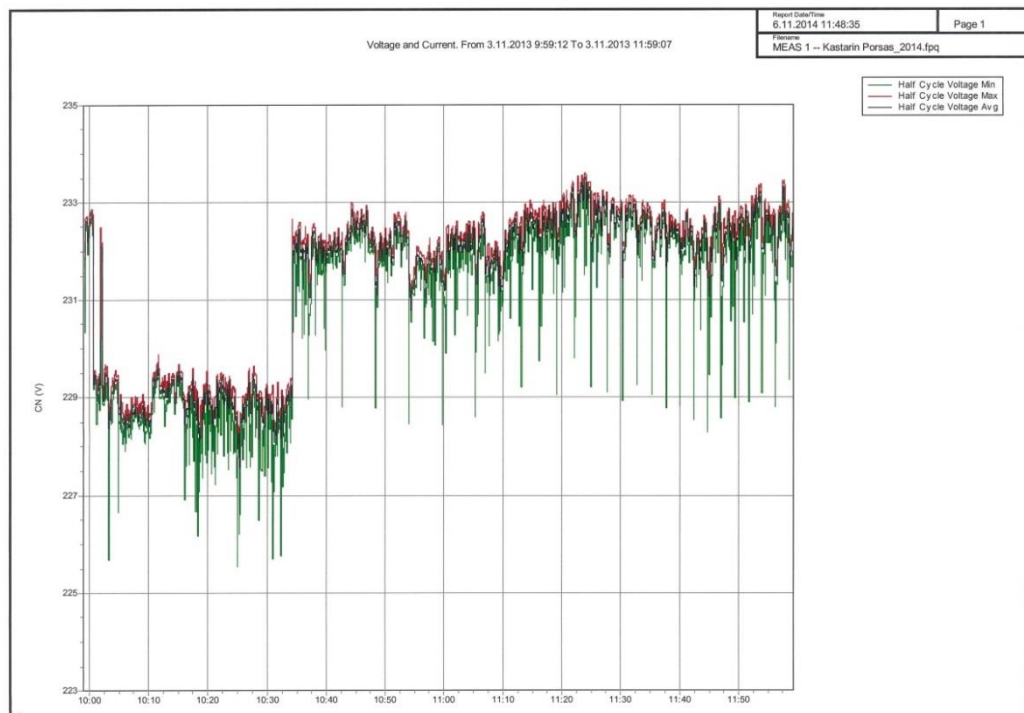
Sähköverkko on kompensoituna.

B: mittaustapahtumat on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 10.

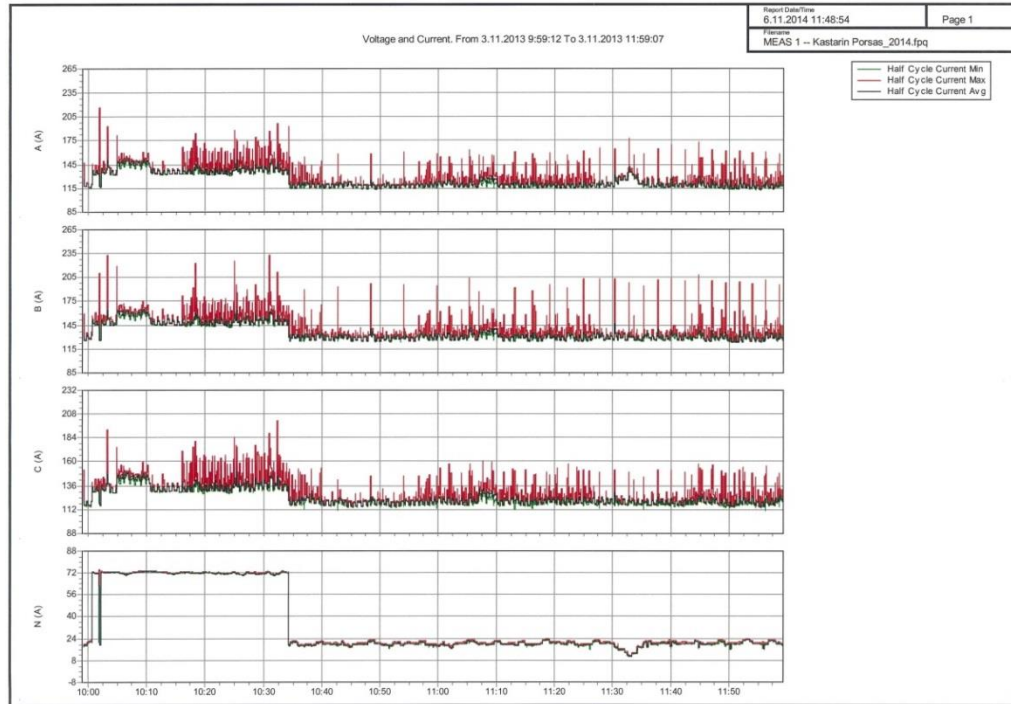
Aika 3.11.2014 klo 10.05.12–17 (vuosimerkintä 2013 on virheellinen)

Sähköverkko ei kompensoituna.

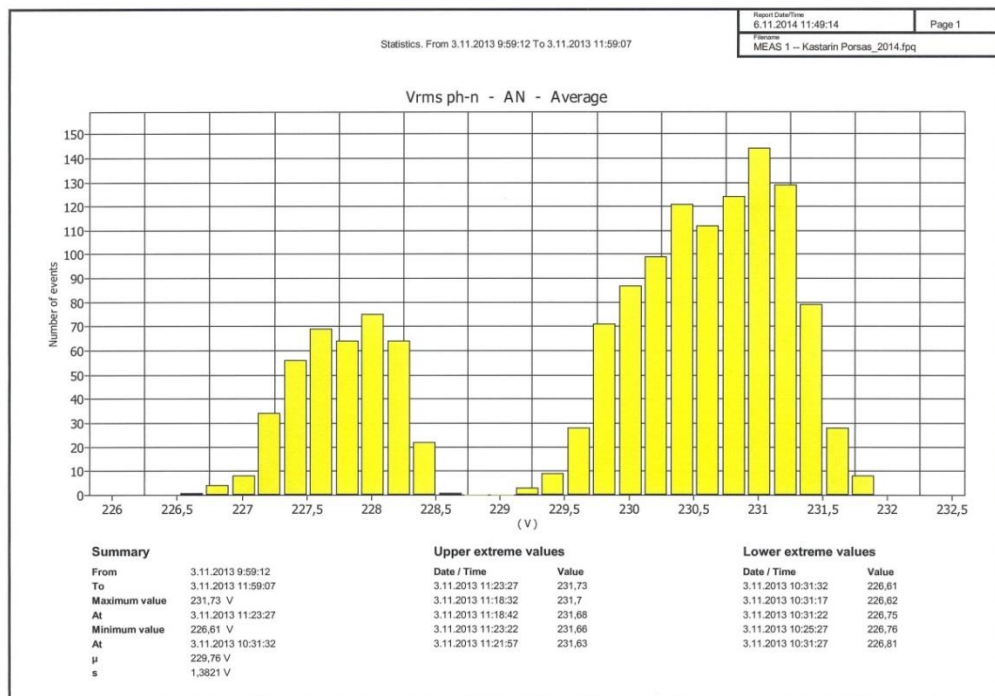
Sähköverkon laatua kuvaavia graafisia kuvia (kuviot 28 – 45) ilman sähköverkon kompensointia ja kompensoituna. Kuvioista voidaan havaita selkeästi kompensoinnin vaikutus sähköverkosta saatuun sähköenergiaan. Kompensointi on käynnistetty noin klo 10.35, mikä havaitaan grafiikasta selvästi.



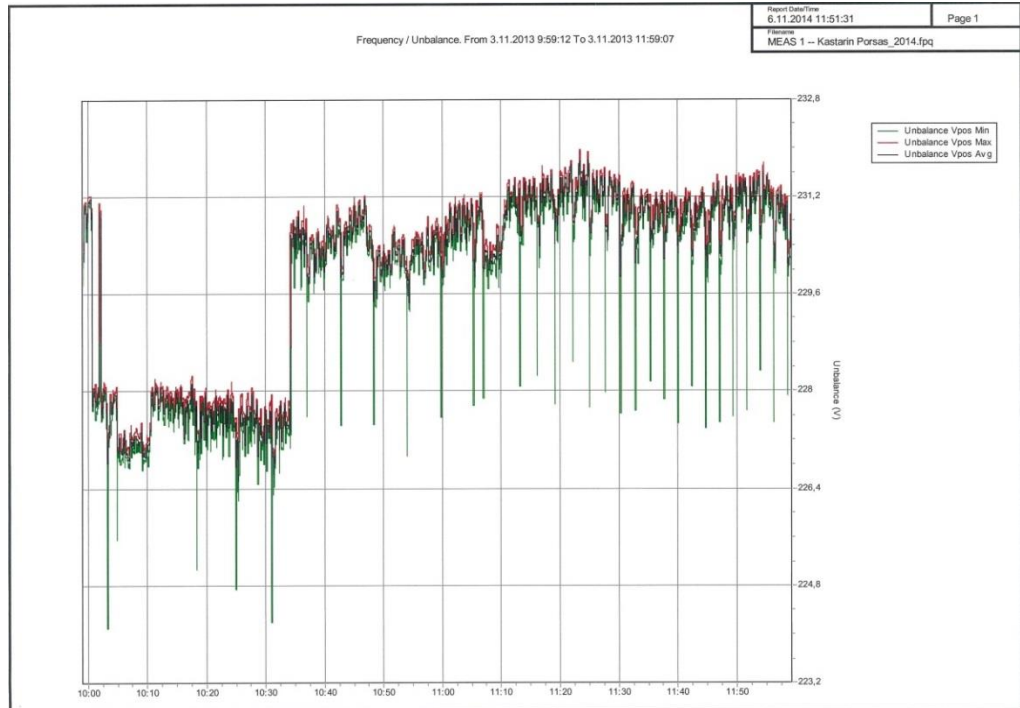
KUVIO 29. Jännitteen muutokset (kuopat), kompensointi päälle noin 10.35



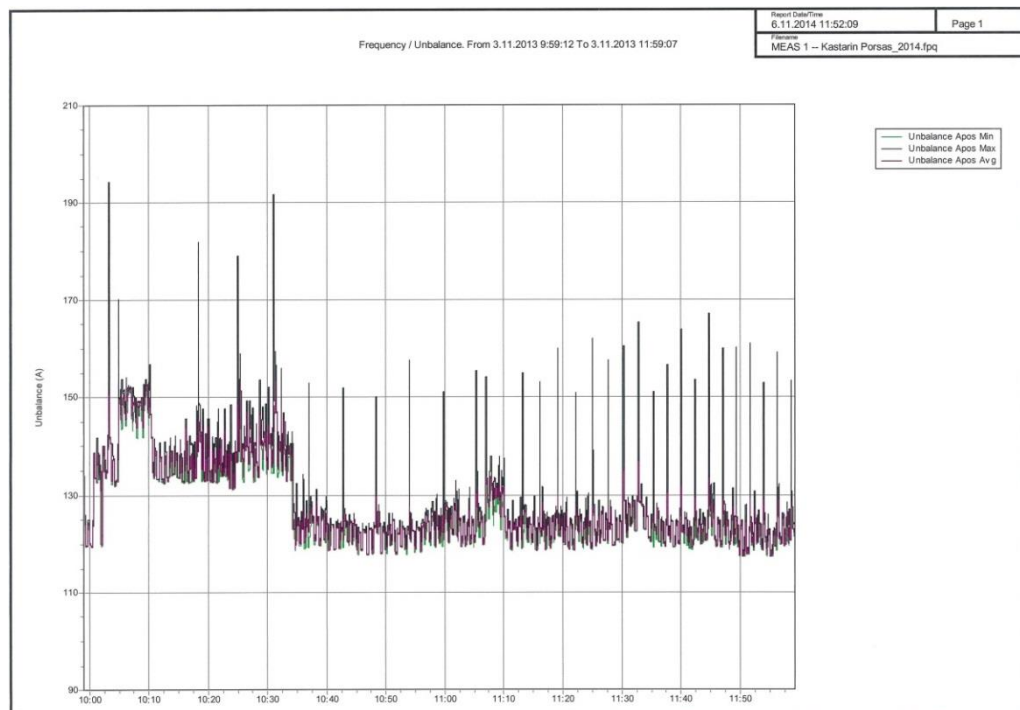
KUVIO 30. Jännitteen ja virran muutokset, kompensointi päälle noin 10.35



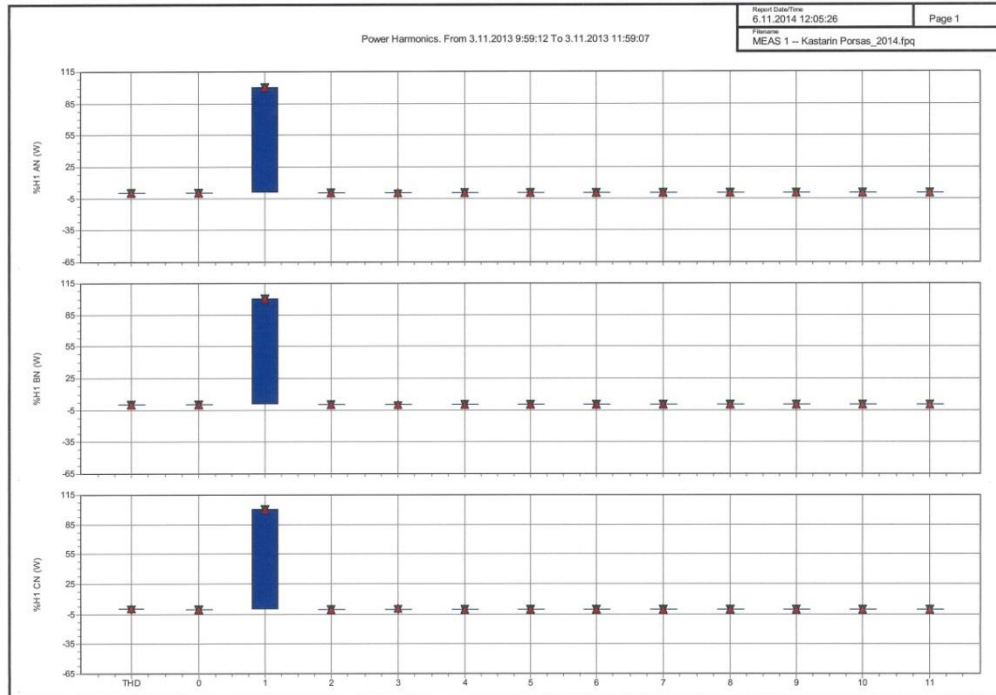
KUVIO 31. Jännitteen muutokset, kompensointi päälle noin 10.35



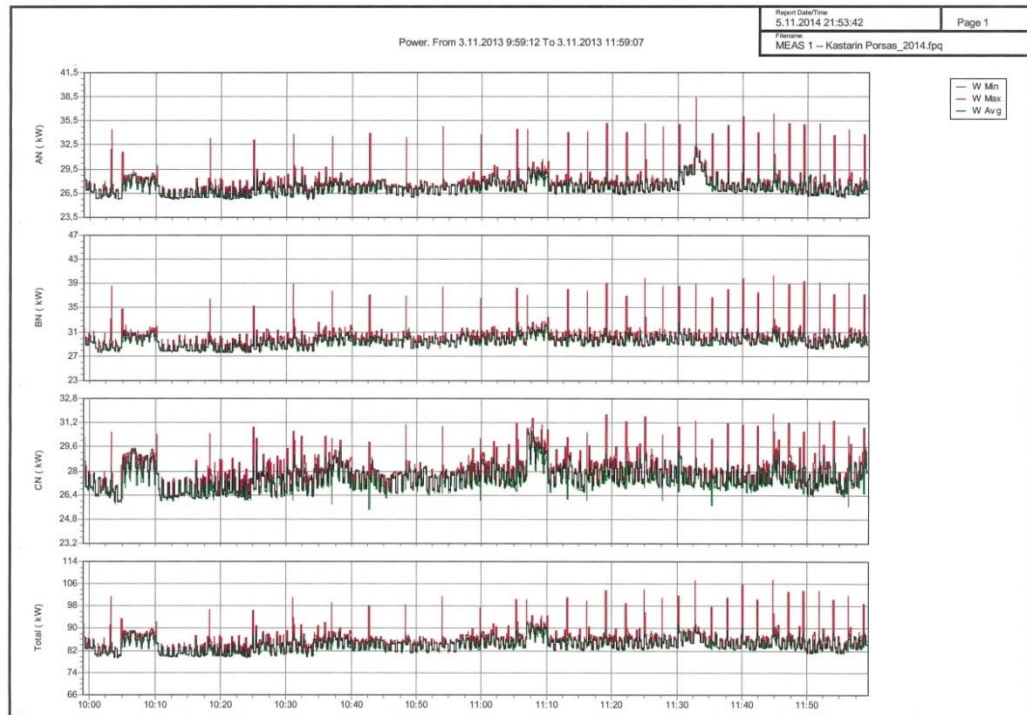
KUVIO 32. Jännite epäsymmetria, kompensointi päälle noin 10.35



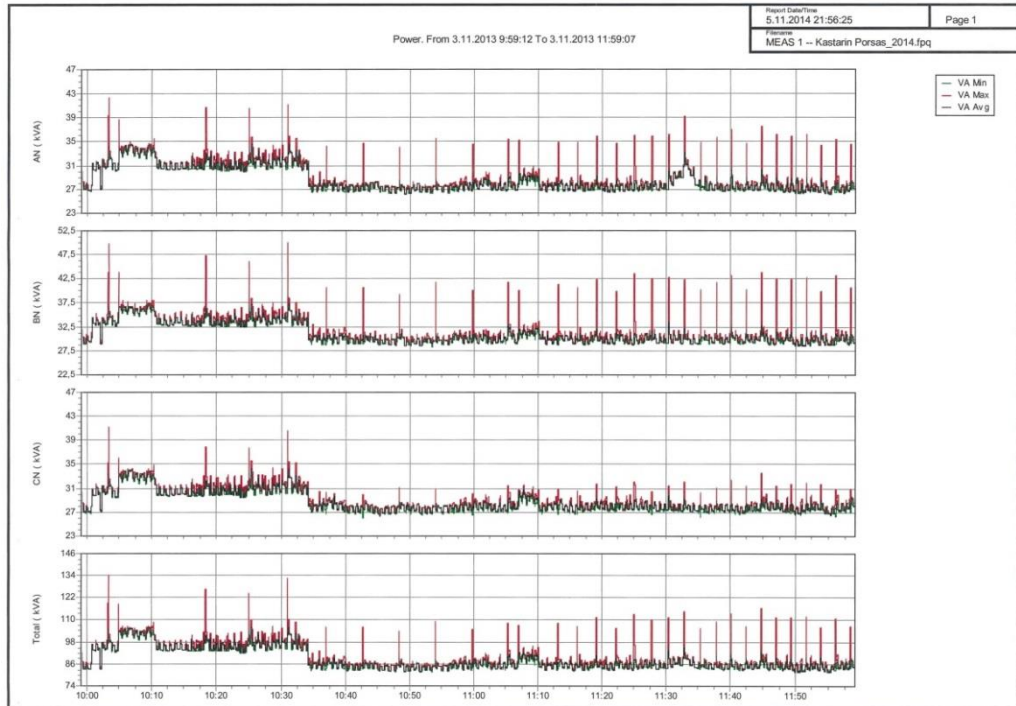
KUVIO 33. Virta epäsymmetria, kompensointi päälle noin 10.35



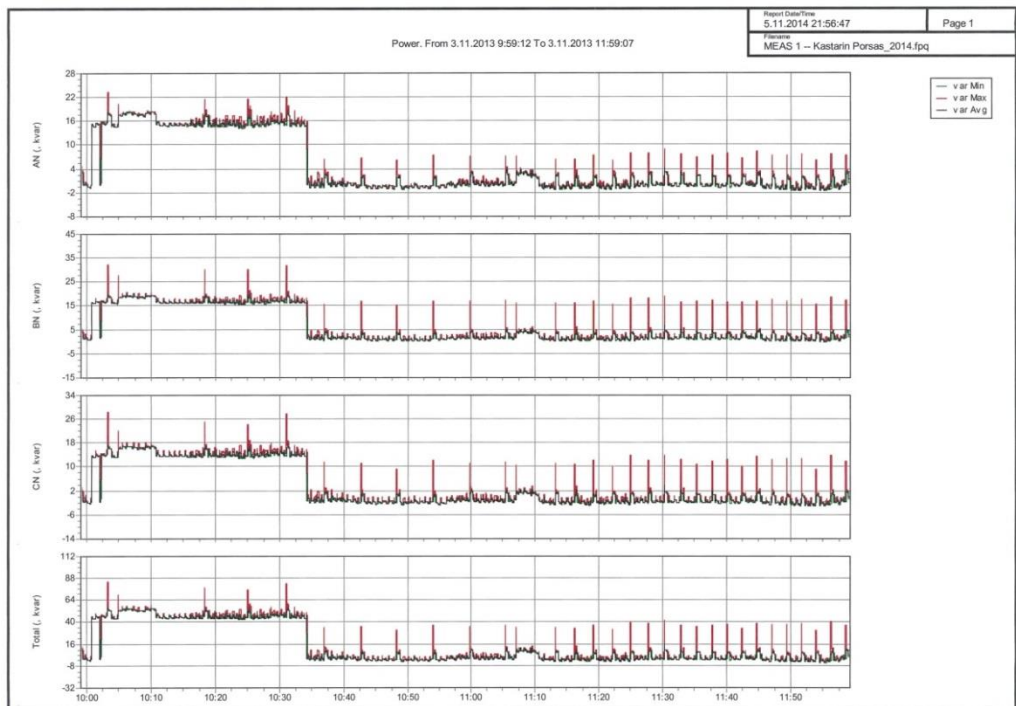
KUVIO 34. Harmoninen teho



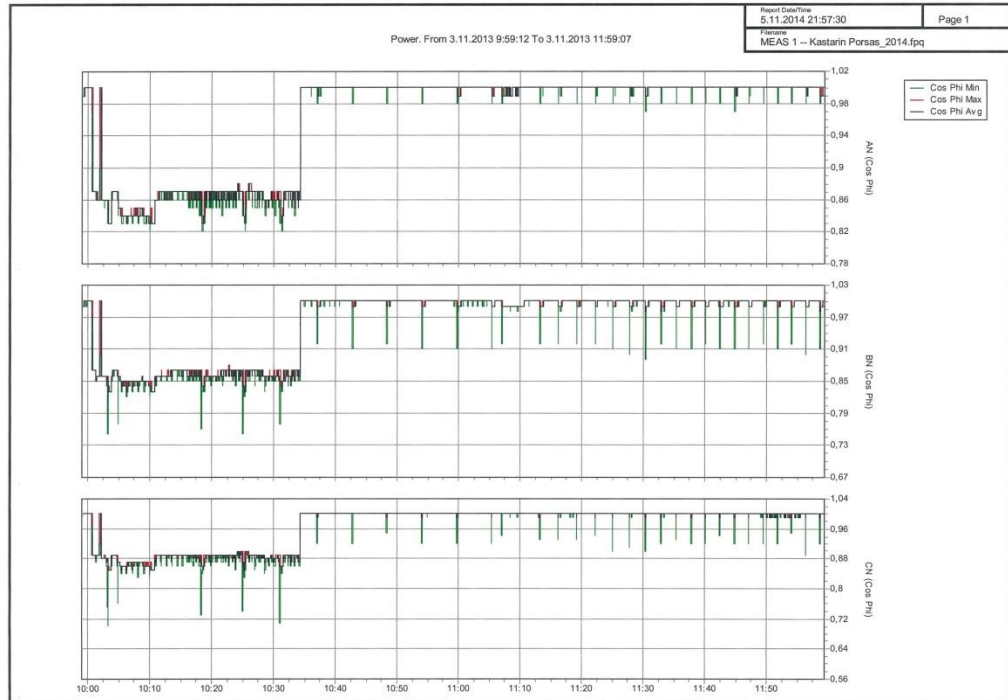
KUVIO 35. Pätöteho, kompensointi päälle noin 10.35



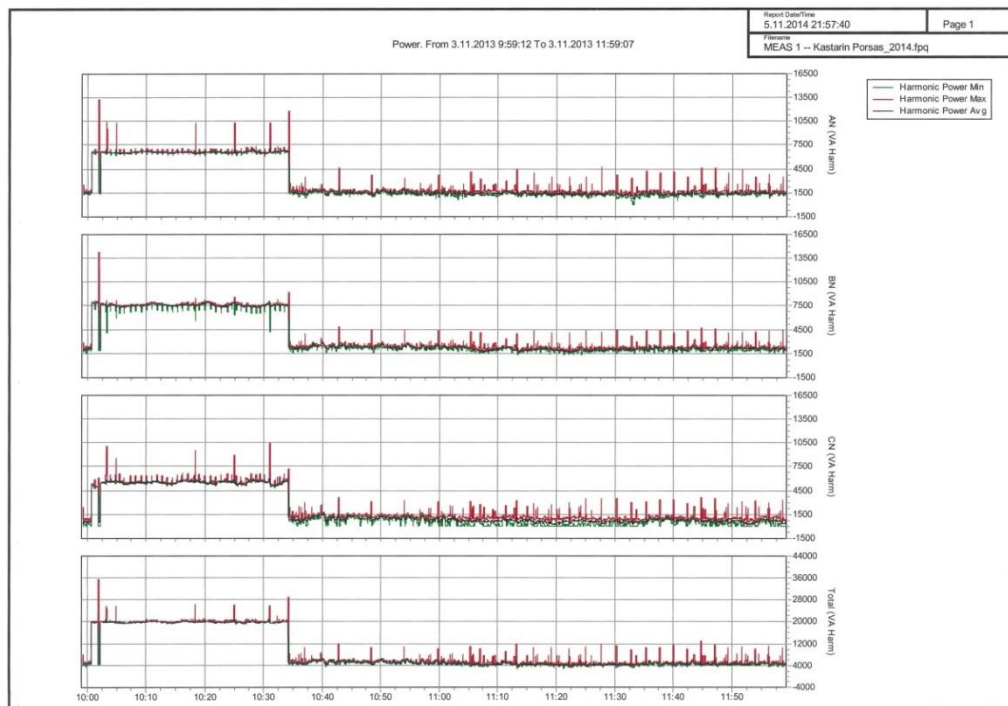
KUVIO 36. Näennäisteho, kompensointi päälle noin 10.35



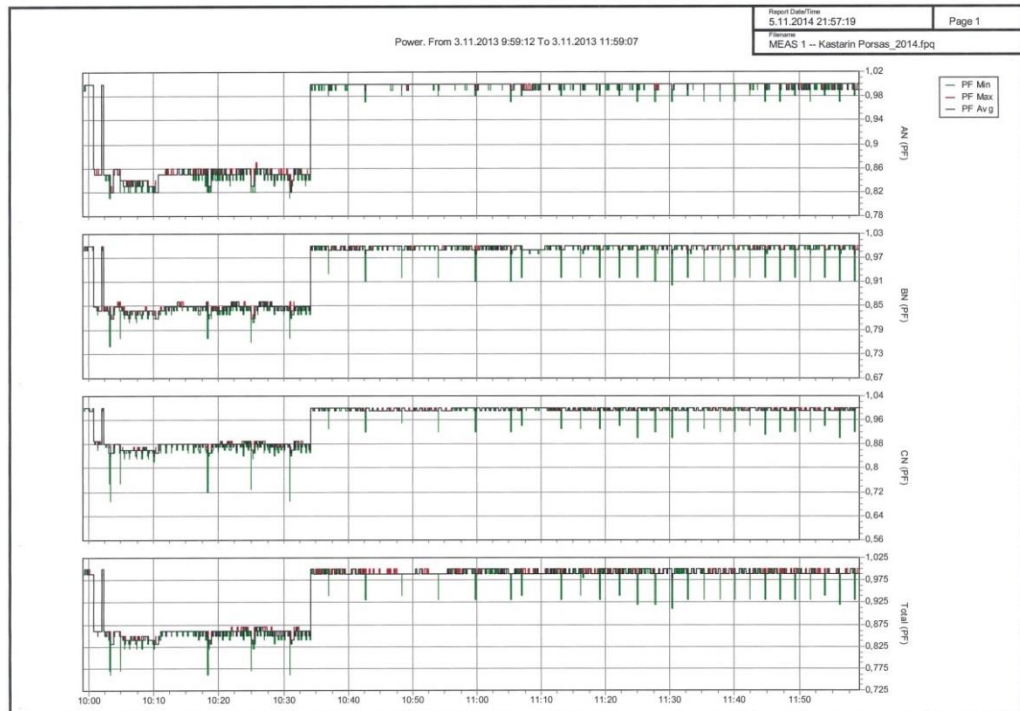
KUVIO 37. Loisteho, kompensointi päälle noin 10.35



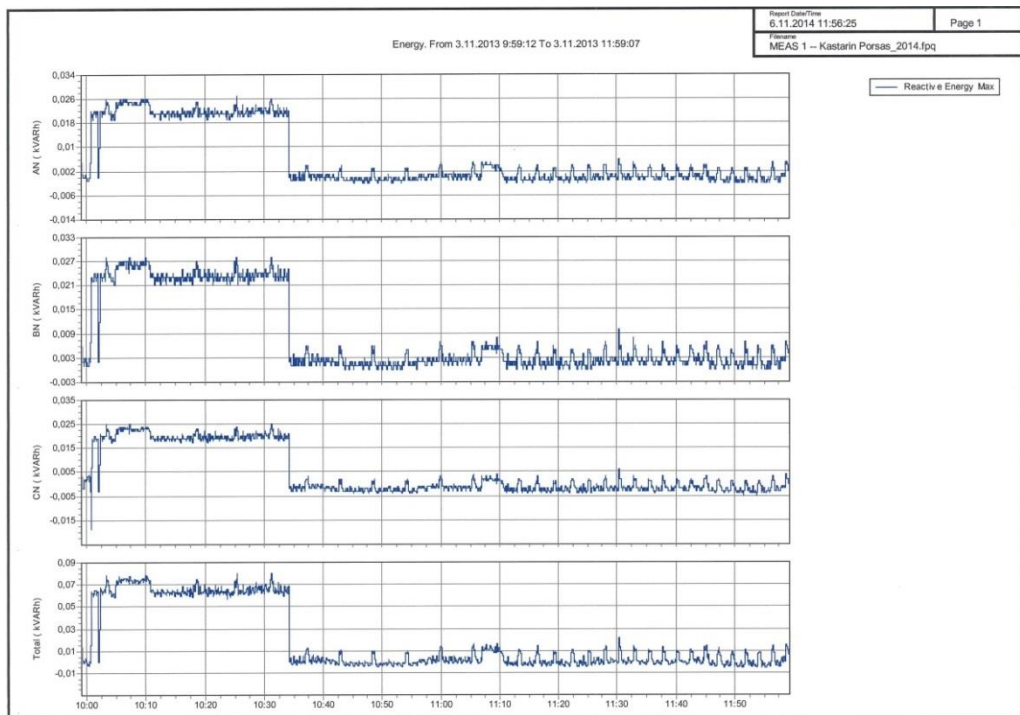
KUVIO 38. Tehon vaihekulma (L1, L2, L3,N), kompensointi päälle noin 10.35



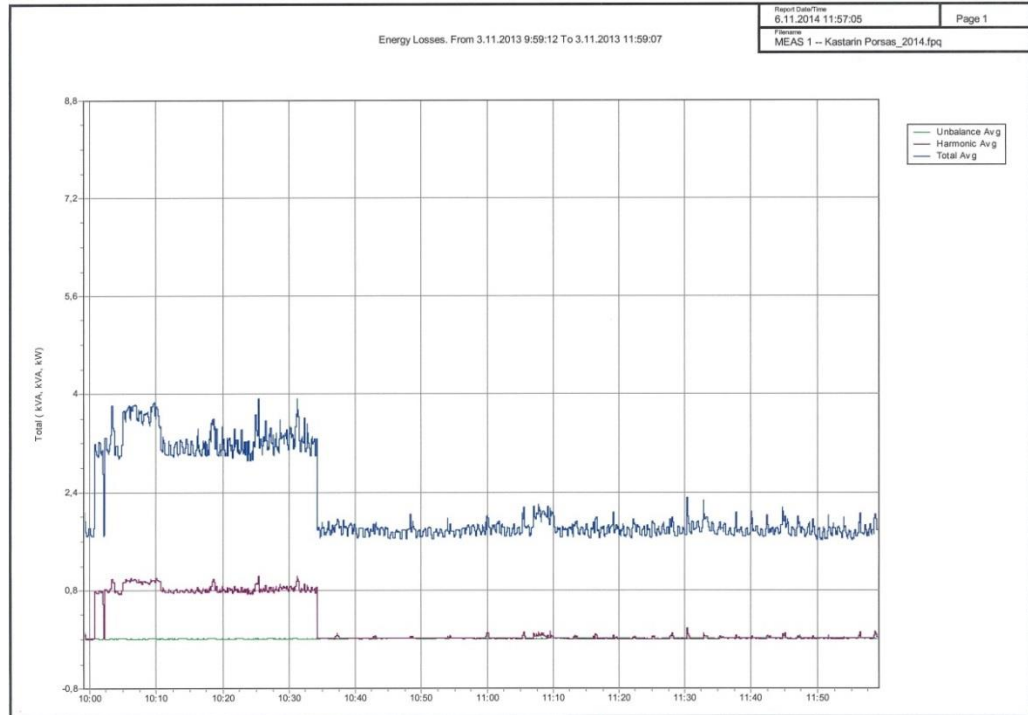
KUVIO 39. Harmoninen näennäisteho, kompensointi päälle noin 10.35



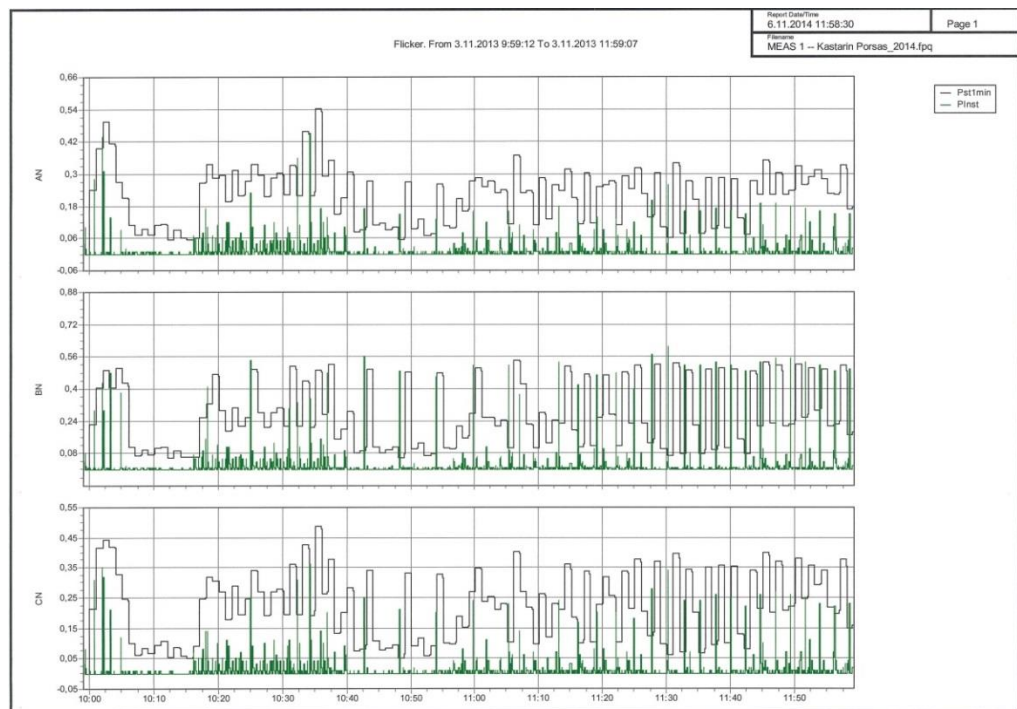
KUVIO 40. Tehokerroin, kompensointi päälle noin 10.35



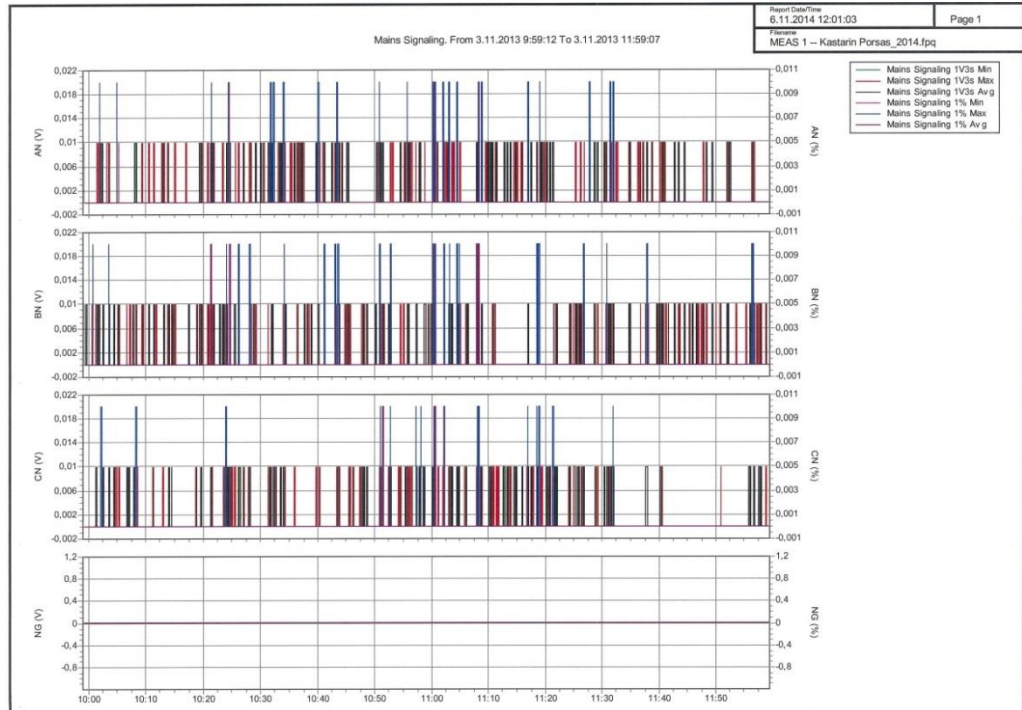
KUVIO 41. Loistehon energiakerroin, kompensointi päälle noin 10.35



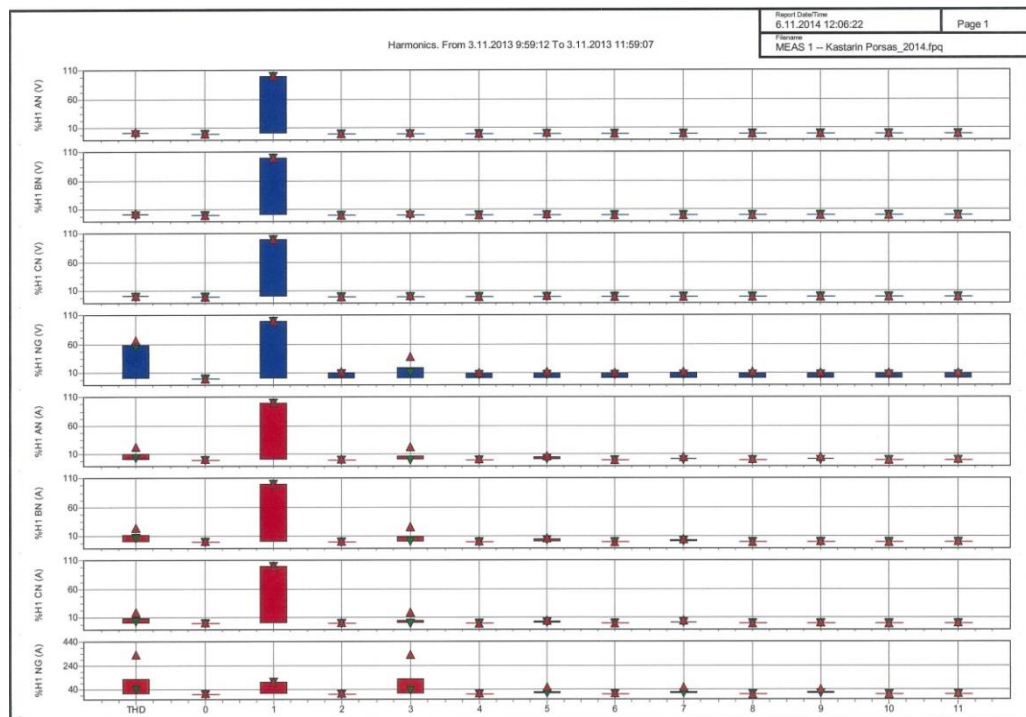
KUVIO 42. Näennäistehon energia, kompensointi päälle noin 10.35



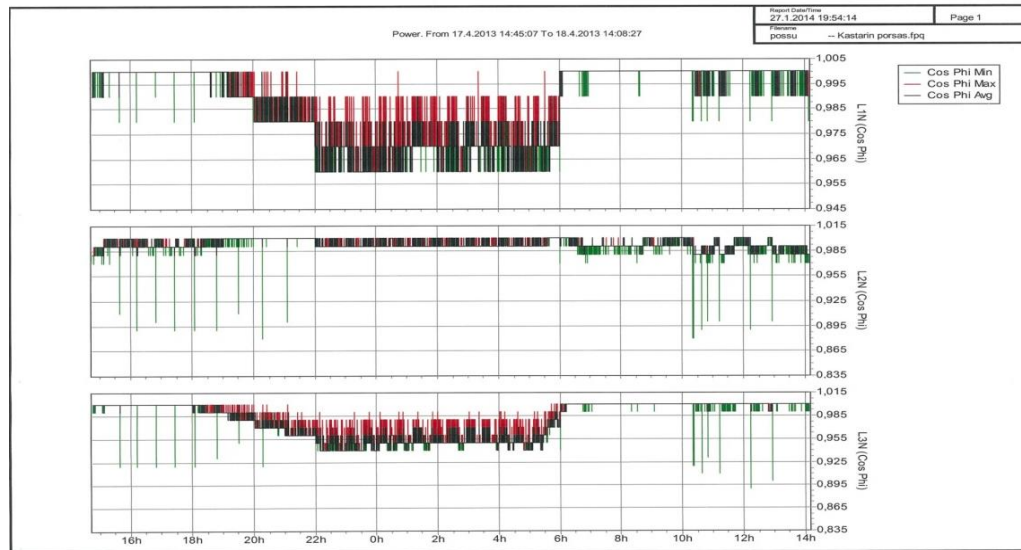
KUVIO 43. Välkyntä (lyhytkestoiset jännite muutokset)



Kuvio 44. Verkosignaalit jännite/prosentti vertailu vertailujännitteeseen



KUVIO 45. Harmoniset virrat, jännitteet (0 -11aaltoon)



KUVIO 46. Kompensoitu Pj-verkko, kohde on Kastarin Porsas. Tehokertoimet kohtuullisen hyvät: 54 kpl ilmastointisäädintä, 550 kpl loistevalaisinta.

3.4 Korjausehdotukset verkostomittauksen perusteella

- Saadut mittaustulokset lähetettiin laitevalmistajalle, joka arvioi tarvittavan kompensoinnin sekä estokelakytkennän teholuokan.
- Valmistaja antoi kompensoinyksikön tekniset tiedot ja tarjouksen tuotteen toimittamisesta.
- Työn tilaaja hyväksyi tarjouksen, toimitusaika oli 3viikkoa.
- Asennus suoritettiin välittömästi, samalla korjattiin jo vaurioituneita pääkeskuksen mekaanisia osia samoin kuin eristevaurioituneita kaapeleita.
- Esimerkkimittauskohteessa asennettiin loistehon kompensoiva ja harmonisen kolmannenaallon suodattava (automaattisella estokela/kompensointilaiteella, kuvio 46) yksikkö.



KUVIO 47. Automaattinen loisteho/estokela yksikkö (Sähkörenki Ky).

3.5 Loistehon kompensointi

Sähkön toimittajat veloittavat kaikesta myymästään sähköstä; pätötehosta, joka pyörittää esimerkiksi moottoreita sekä tarvittavasta loistehosta, jolla ylläpidetään mm. moottorien magneettikenttiä. Asiakas joutuu maksamaan myös kuluttamastaan loistehosta. Jos loisteho tuotetaan sähkölaitoksella, siirtoverkko laitteineen on mitoitettava myös sitä varten, eli yli todellisuudessa tarvittavan kapasiteetin.

Niinpä loisteho kannattaakin ehdottomasti tuottaa siellä, missä sitä tarvitaan. (Alstom Grid. 2014, 3)

Tulokset huomataan nopeasti:

- laskutettava pätöteho huippu laskee
- pienemmät sähkölaskut, ei loistehomaksuja
- asiakkaan laitteiden ja jakeluverkon oikea mitoitus merkitsee säästöjä
- verkon siirtokapasiteetti kasvaa = sähkön siirto- ja jakeluverkkojen vahvistamistarve pienenee
- kompensointi pienentää jännitteen alenemaa
- kompensointi pienentää häviöitä = sähköiset komponentit (keskukset, kaapelit, ohjainlaitteet) eivät lämpene tarpeettomasti
- oikein mitoitettu ja kompensoitu sähköverkko toimii häiriöttä
- suodatetaan elektronisten laitteiden verkolle aiheuttamia yliaaltoja ja niiden häiriövaikutuksia.

Kuviossa 47 on lyhesti selostettu yliaaltojen ja loistehon kompensoinnin teoria.

Yliaaltojen ja kompensoinnin lyhyt teoria asiakaskäyttöön

Yliaaltojen suodatus

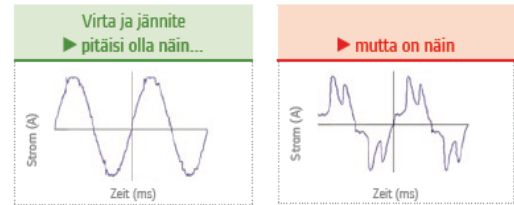
Sähkösäätökäytöt (prosessiteollisuus, hissit, ilmastointi jne.) keskeyttämättömät tietokoneiden, elektronisten laitteiden jne. teholahteet vääristävät virran muotoa (aiheuttavat harmonisia yliaaltoja).

Yliaaltojen vaikutus sähkösiirtoon ja -jakeluun

- Ylimääräiset häviöt (loppukäyttäjä maksaa)
- Virtajohtojen lämpeneminen
- Melu (muuntajat)
- Lisämaksu heikosta tehokertoimesta (esim. ≈ 0.95)

Yliaaltojen vaikutus verkkoon kytkettyyn laitteistoon

- Laitteiston alentunut tehokkuus
- Toiminnan alajasta johtuvat kustannukset
- Häiriöitä sähkölaitteissa (tietokoneet, puhelimet)



Kuka

- Energian käyttäjät, verkko-operaattorit, energian toimittajat, energiateollisuus

Ratkaisu

- Harmonisia yliaaltoja voidaan suodattaa kuristimen ja kondensaattorin yhdistelmällä (passivisuodatin) tai syöttämällä verkkoon juuri tarvittava määrä yliaaltoja (aktiivisuodatin)

Tehon kompensoinnin hyödyt

Taloudelliset hyödyt

- Saastot loistehomaksuissa
- Alentuneesta pätehosta johtuvat kustannussäästöt
- Alentuneet investointikustannukset

➔ Investoinnin takaisinmaksuaika on yleensä alle 18 kuukautta

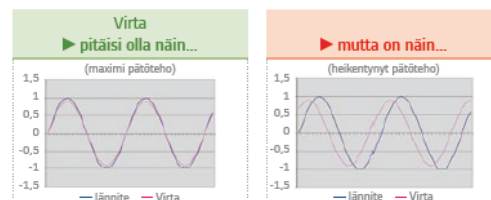
Ympäristöhyödyt

- Vähemmän CO₂ päästöjä

➔ Tehon kompensoinnilla säästyy miljoonia tonneja CO₂ päästöjä, vaikutus ympäristön suojeluun on merkittävä.

Tehon kompensointi

Verkkoon kytketyt laitteet (muuntajat, moottorit, ilmastointi, jäähdyttimet jne.) aiheuttavat vaihekulman virran ja jännitteen väliin. Kun virrassa on vaiheero, se vaatii enemmän virtaa tuottaakseen saman määrän pätehoa.



$$\text{Päteho} = \text{Näennäisteho}$$

$$\text{Jännite} < \text{Näennäisteho}$$

Vaiheensiro virran ja jännitteen välillä vähentää pätehoa (vain pätehoa voidaan muuttaa käyttökelpoiseksi tehoksi)

$$\text{Tehon kompensointi} = \frac{\text{päteho}}{\text{näennäisteho}}$$

Loistehon vaikutus

- Tehonsiirtolaitteisto tulee mitoittaa näennäistehon mukaan, kuitenkin vain päteho on hyödyllistä
- Kasvaneet häviöt verkossa
- Maksat näennäistehosta, mutta käytät pätehoa (suurempi sähkölasku)
- Lisämaksu asiakkaille heikosta tehokertoimesta (0,95)

Kuka

- Sähkön kuluttaja, verkko-operaattorit, energian toimittajat, energiateollisuus, sairaalat, toimistot, julkiset rakennukset, tehtaat

Ratkaisu

- Tehokerrointa voidaan parantaa asentamalla kondensaattoriparistoja

KUVIO 48. Yliaaltojen ja kompensoinnin lyhyt teoria (Nokia Capacitors 2014).

3.6 Yliaalloilta suojautuminen

Verkon suojaaminen yliaalloilta ja verkkoon päässeiden yliaaltojen suodattaminen on kuitenkin hankalaa, sillä taloudellisesti kannattavaa täyden suojan yliaaltoja vastaan antavaa ratkaisua on vaikea löytää. Suunnittelussa pyritäänkin löytämään tietyn virhemarginaalin sisään mahtuva taloudellisesti kannattava ratkaisu.

Ideaalitapauksessa sähkönjakeluverkon jännitteet ja virrat ovat puhtaasti sinimuotoisia. Verkon komponenttien epäsymmetrisyyksien ja epäsymmetristen kuormien käytön vaikutuksesta verkon jännitteissä ja virroissa esiintyy kuitenkin normaalisista sinimuodosta poikkeavia taajuuksia. Nämä taajuudet ovat perusaallon taajuuksia suurempia ja niitä kutsutaan perusaallon harmonisiksi tai epäharmonisiksi yliaaltotaajuuksiksi. Sinimuodosta poikkeavia aaltomuotoja voidaan hallita matemaattisesti purkamalla ne Fourierin sarjakehitelmällä sinimuotoisiksi aalloiksi, joiden taajuudet ovat alkuperäisen taajuuden monikertoja.

Yliaaltojen aiheuttamat ongelmat

Yliaallot aiheuttavat lukuisia käytännön haittavaikutuksia sekä sähkön käyttäjille että sähkön jakelusta vastaaville yhtiöille. Yliaaltojen vaikutuksesta puhuttaessa jaetaan vaikutukset virta- ja jänniteyliharmonisten yliaaltojen vaikutuksiin. Nämä jaetaan vielä jaksottaisiin ja jatkuvan tilan vaikutuksiin. Jaksottaisista vaikutuksista puhuttaessa tarkoitetaan yliaaltokomponentin, eli nopean virtapiikin tai jännitepulssein verkkoon hetkellisesti aiheuttamaa häiriötä. Jatkuvan tilan vaikutuksilla puolestaan tarkoitetaan yliaallon pidempiaikaista vaikutusta verkon toimintaan ja ennen kaikkea verkon ominaisuuksiin. Virtayliharmonisien yliaaltokomponenttien jaksoittaisista haittavaikutuksista voidaan mainita sulakkeiden aiheeton palaminen kasvaneen kuormitusvirran takia ja suojarleiden virheellinen toimiminen. Suojareleiden virheellinen toiminta aiheutuu suojarleiden havaittua verkossa ylivirta- tai ylijännitekomponentin vääristämän virran tai jännitteen, joka ei kuitenkaan ole luonteeltaan sellainen, että se aiheuttaisi normaalioloissa suojarleiden toimimisen. Jatkuvassa tilassa virtayliharmoniset yliaaltokomponentit puolestaan aiheuttavat häviöitä jakeluverkon sarjakomponenteissa. Ne myös aiheuttavat epätarkkuutta verkon mittalaitteisiin sekä edellä mainittua nollajohtimen kuormittumista.

Mittalaitteisiin aiheutuva epätarkkuus haittaa etenkin paikannettaessa jakeluverkossa syntyviä todellisia vikoja ja niiden vikapaikkoja. Jänniteyliharmonisten yliaaltojen jaksottaisista häiritseväisistä suurimpia ovat edellä mainittu suojarleiden tarpeeton toimiminen, ylijännitteille herkkien laitteiden ja komponenttien osittainen tai totaalinen vaurioituminen sekä resonanssi-ilmiöt. Jatkuvässä tilassa jänniteyliaallot aiheuttavat verkon häviöiden kasvua ja verkon komponenttien, kuten jakelumuntajien, kondensaattoreiden ja moottorien ylikuormittumista. Eräs suurimmista yksittäisistä yliaaltojen aiheuttamista häiritseväisistä ovat epälineaaristen 1-vaiheisten kuormien aiheuttamat yliaallot, ns. 3. yliaallot.

Nämä 3. yliaallot ovat kaikkein häiritseväisimpiä niiden summautuvessa verkon nollassuohdtimeen aiheuttaen sen virran, jonka seurauksena voi olla johtimen ylikuormittumisvaara. Lisäksi 3. yliaalto synnyttää nollassuohdinta ympäröivän 150 Hz:n taajuisen magneettikentän. Tästä syystä erityisesti 3. harmonisten yliaaltojen suodattaminen verkosta on erityisen tärkeää. Tilanteen tekee kuitenkin hankalaksi se, ettei 3. harmonista yliaaltoa pystytä suodattamaan normaalilla yliaaltosuodattimella kovinkaan helposti, vaan suodattimeksi vaaditaan usein erillinen kolmannen yliaallon suodatin, joka suodattaa suurimman osan häiritseväisestä kolmannesta harmonisesta yliaallosta. Paras lopputulos 3. yliaallon suodatuksessa saadaan, kun suodatin kytketään mahdollisimman lähelle yliaaltoja tuottavaa lähdettä.

Harmonisten yliaaltojen suodatuksesta asiakas hyötyy monin eri tavoin:

- elektroniikka ja valvontajärjestelmät toimivat häiriöttä
- muuntajat, moottorit ja generaattorit välttyvät yliaaltojen aiheuttamilta häviöiltä ja häiriöiltä
- ei resonansseja eikä mittausvirheitä
- ei johtojen ylikuormituksen vaaraa tai releiden ja sulakkeiden kiusallisia toimintahäiriöitä
- sähköiset komponentit (keskukset, kaapelit, ohjainlaitteet) eivät lämpene tarpeettomasti
- Huono sähkön laatu aiheuttaa arvaamattomia ja kalliita prosessihäiriöitä.

4 SUODATUKSEN JA KOMPENSOINNIN VALINTA

Sähköverkkoon liitetyissä kulutuslaiteissa on useita erilaisia häiriöitä aiheuttavia komponentteja. Näiden häiriöiden vähentämiseksi on olemassa useita erilaisia häiriönpoistolaitteita. Tekniikoiden valintaan vaikuttaa häiriön suuruus, luonne, sijainti ja saavutettu tulos sijoitettuun pääomaan nähden. Sähköverkon mittauksella voidaan yksilöidä ongelman laajuus ja luonne, jolloin voidaan minimoida korjauskustannukset. Seuraavassa alaluvussa esitellään lyhyesti kompensoinnin eri vaihtoehtoja huomioiden spesiaaliratkaisu kyseiseen ongelmaan.

4.1 Kompensoinnin mitoitus ja tavan valinta

Kompensointi pienjänniteverkossa:

Laitekohtainen kompensointi:tällöin sijoitetaan teknisiltä arvoiltaan sopiva kondensaattori laitteeseen, jossa loistehoa tarvitaan (ohjaimet, säätimet). Tällöin myös kompensoinnin säätö tulee mukaan automaattisesti silloin, kun laite on päällä eikä kondensaattori ole verkossa kehittämässä loistehoa.

Valaisinkohtainen rinnankompensointi:

Uusimmissa valaisimissa kondensaattori on jo valmiiksi kytkettynä kuristimen kanssa rinnan. Negatiivisena asiana tulee huomioida valaisimen korkea lämpötila, joka lyhentää kondensaattorin käyttöikää.

Moottorikohtainen kompensointi:

Mikäli on kyseessä yksittäinen moottori tai moottoriryhmä, pääsääntöisesti 3-vaiheisten epätahtimoottoreiden loistehotarve voidaan kehittää moottorin yhteyteen liitetyllä kondensaattorilla.

Keskitetty kompensointi:

Sijoittamalla kondensaattori laitteeseen, jossa loistehoa tarvitaan tai mahdollisimman lähelle kulutuskeskittymää, voidaan parhaiten huomioida kompensoinnin vaikutus.

4.2 Suodatus ja häiriönpoisto

Sähköverkkoon kytketyn yksittäisen laitteen aiheuttama häiriö voidaan poistaa paikallisella laitteeseen kytketyllä häiriöpoistopiirillä, jolloin ratkaisu on helppo ja edullinen.

Laajemman sähköverkon suodatus ja häiriön poisto on helpointa toteuttaa keskitetyllä yliaaltosuodatin- ja loistehonkompensointilaitteella. Tällöin saadaan yliaaltojen suodattaminen ja reaaliaikainen nopeasti vaihtelevien kuormien tehokertoimen parantaminen taloudellisesti. Keskitettyjä sähkölaadun korjausyksiköitä valmistaa Suomessa muutama valmistaja, seuraavassa esitellään erään kotimaisen valmistajan suosittelemat tekniset ratkaisut erillaisiin käyttökohteisiin.

Sovellus (Max Sine): Tehoelektronikalla toteutettu reaaliaikainen yliaaltosuodatin ja loistehonkompensointilaitte. Laitteistolla saavutetaan: Sähkön laadun parantaminen, yliaaltojen suodattaminen ja reaaliaikainen nopeasti vaihtelevien kuormien tehokertoimien parantaminen.

Käyttökohteet: tuulivoimalat, hitsaava teollisuus, hissi- ja nosturikäytöt, nopeita kuormituksen vaihteluita aiheuttava teollisuus.

Tyristorikytketty kondensaattoriparisto

Sovellus: Sähkön laadun ja tehokertoimen parantaminen, nopeasti vaihtelevien kuormien tehokertoimen parantaminen.

Käyttökohteet: Satamanosturit ja satamakuormaimet, hissilliset kiinteistöt, koneenrakentajat

Yliaaltosuodatin

Sovellus: Yliaaltojen suodattaminen ja tehokertoimen parantaminen.

Käyttökohteet: Kauppakeskukset, toimistorakennukset, teollisuus, kasvihuoneet.

Estokelaparisto

Sovellus: Tehokertoimen parantaminen yliaaltopitoisissa verkoissa.

Käyttökohteet: Kauppakeskukset, toimistorakennukset, teollisuus

Automatiikkaparisto

Sovellus: Loistehon kompensointi pj-verkoissa, joissa ei ole yliaaltoja.

Käyttökohteet: Pienet marketit ja pienkiinteistöt, suositellaan kuitenkin käytettäväksi estokelapariistoja.

Kondensaattoriyksiköt 220-1000V, elektroninen purkauslaite, ja loistehonsäädin.

Sovellus: Kaiken tyyppiset kondensaattoriyksiköt.

Käyttökohteet: Pj-kojeistovalmistajat

Nokian Capacitors An Alstom Grid Company tuotteet (tuoteopas 2014)

lupa julkaisuun Markku Hynnä 31.10.2014

5 YHTEENVETO

Tässä luvussa esitellään asiakkaalle tuotettua tietoa siinä muodossa, kun tilaaja on vaatinut. Samoin esitellään erään aiemman toteutuneen PK-yrityksen sähköverkon korjaustoimenpiteiden takaisinmaksuaika taulukkomuodossa sekä arvioidaan opinnäytetyön tuottama lisäarvo tekijälle ja Sähkörenki Ky:lle.

5.1 Sähköverkon ongelmien selvitys

Asiakkaalle, Kastarin Porsas Oy:lle, laadittiin mittausten ja tulosten analysoinnin jälkeen alla olevan mukainen raportti sekä tarjottiin korjaavia toimenpiteitä kompensointiyksikköineen.

Raportti Kastarin Porsas Oy:lle sähkönlaadun mittauksesta ja tarjous korjaustoimenpiteistä.

Kastarin Porsas Oy
Sähkörenki Ky
Jouko Pylkkänen

6.8.2009

Tuotantotilojen sähkönlaatu ja ongelmat

Ongelma

Pääsulakkeet palavat usein ja keskusrakenne kuumeenee, lisäksi havaittu vakavia johtimien eristimien eristeaurioita. Ohjainlaitteiden kestoikä epäilyttävän pieni sekä toiminnallisia häiriöitä.

Toimenpiteet häiriön löytämiseksi

Päävirrat on mitattu ja havaittu vaihevirraksi ≈ 145 A ja nollavirraksi 60-70A (ehjässä järjestelmässä likimain nolla).

On suoritettu verkon laatumittaus (LE-sähköverkko), jolloin todettu sähköverkon sisältävän yliaaltohäiriön (verkon ylikuormittuminen), jännitesärön [THD] (max 4,5) mikä aiheuttaa käyttöhäiriöitä, sekä loistehon kompensointi tarpeen (tehohävikki).

Toimenpiteet ongelman ratkaisemiseksi	Korjataan vioittuneet virtajohtimet keskuksesta, asennetaan yliaaltosuodin/kompensointiyksikkö (esite liitteenä) Kolmannen yliaallon suodinta (uniikkilaite/tapaus)ei valmista Suomessa kuin yksi valmistaja, joten kilpailuttaminen on perin yksinkertaista.
Huomioitavaa	Kompensointi ja yliaallon suodatus vähentää laskutettavaa näennäistehoa, nostaa pätötehoa (käyttövoimaa), vakavoittaa sähköisiä rakenteita (ohjauslaitteet). Eli lyhyesti viat vähemmäksi ja merkittävä rahallinen säästö jo vuositasolla. (erillinen laskelma)
Mitä korjaus maksaa?	Saatu tarjous on Areva Oy:ltä (Nokia Capacitors) KOLMANNEN YLIAALLON SUODATIN Tyyppi 3HF50/400–50/150–108/77–0816 Teho 50 kvar Nimellisvirta (vaihe/nolla) 108/230A Yliaaltomitoitus (vaihe/nolla) 77/230A Sulake 160A Kaapin koko 800*600*1600 mm Kotelointiluokka IP20C Laitte, kaapelit, varokelähtö ym. tarvikkeet noin 5700€ alv. 0. Työhön menee noin 10 h keskuksen korjauksen ohessa. Hollolassa 6.8.2009 Sähkörenki Ky Jouko Pylkkänen Sähkölaitemestari/Ins.

5.2 Takaisinmaksuaika

Kompensointiyksikön hankinta oli asiakkaalle suurehko kertainvestointi, joka vaati myös taloudellista taustaselvitystä. Takaisinmaksuaika on yksi taloudellista päätöksentekoa tukeva tekijä. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa selvitettiin mm. energian hinnanmuutos tiettyinä ajanjaksona, asiakkaalle energian ostosta aiheutunut kustannus samalta ajalta sekä luetteloitiin käytössä oleva konekanta ja sen tarvitsema teho. Alla on esitetty laskelmat asiakkaan vaatimina excell-taulukoina (taulukot 7 – 9).

TAULUKKO 9. Maksetun sähköenergian hintakehitys ja suoritettujen korjaus-
toimenpiteiden kustannusvaikutus ja takaisinmaksuaikalaskelma

Kastarin Porsas Oy:n maksaman sähköenergian hinta 2006-2013							
2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
44 191 €	44 086 €	41 233 €	49 428 €	51 937 €	51 937 €	61 252 €	54 767 €
Kompensointiyksikön asennuksen tarpeellisuus ja takaisinmaksuaika.							
Ilman loistehon kompensointia ja liittymänsuurennusta ei liitelannansekoittimia olisi voitu ottaa käyttöön, koska pääkeskus ja päävarokkeet olivat jo lähtötilanteessa 120% kuormassa.							
Lietelannan sekoittimien moottorien vaikutus sähkön kulutukseen 2009-2014							
Koska vuosina 2009 ja 2010 sähkönkulutus oli saman suuruinen, voidaan kompensointiyksikön käyttöä katsoa korvanneen lisääntyneen moottorikuorman.							
Lietelannan sekoittimien moottorien vaikutus sähkön kulutukseen.							
Käyttöaika 16 vrk/v ja 12 h/vrk							
Määrä /	Teho / k	Tunnit /	Cosin φ +kaapeli häviöt	Käytetty energia kWh	snt/kWh	Euroa/v	
2	22	192	0,85	9938,82	0,12620	1 254,28 €	
PJ-tehonsiirto / loistehomaksu							
Veloitettavan päätötehon suuruus on edellisen 12 kuukauden aikana suurin mitattu tunnin keskiteho. Loistehon ilmaisosuus on 20 % kunkin kuukauden mitatusta päätötehosta.							
Loistehomaksu / kvar							
Sarake1	Sarake2	kk	€/var,k	Sarake3	Sarake4	Yhteensä	
1	57	12	3,03			2 072,52 €	
Saavutettu säästö yhteensä, ilman että huomioidaan sähkön laadun tai sähkölaitteiden toiminnallista paranemista sekä hallittua lämpötilan valvontaa.							
						3 326,80 €	
Kulut yhteensä, sisältäen työt ja tarvikkeet.				7908.30 €	Sis. alv		
Takaisinmaksuaika	7908,30 / 3326,80					<u>2.38 vuotta</u>	
Hollolassa 16.11.2014							
Kastari Porsas Oy		Pentti Lemmetyinen					
Laskelman Kastarin Porsas Oy:n puolesta laatinut Jouko Pykkänen.							

5.3 Muita takaisinmaksuesimerkkejä

Takaisinmaksuaikaa on laskettu myös muissa työkohteissa. Tästä alla oleva esimerkki on tehty eräässä metalliteollisuusyrityksessä

TAULUKKO 10. Kompensointilaskelma, takaisinmaksuaika

Laskelma sähköverkon kompensoinnista.					
Hollolan Metalli_ sähkökulutus_2001-2002					alv. 22%
Menot					
Kompensointikeskus	Asennus 1.12.2001				4302,00
Asennus+tarvikkeet					800,00
					5102,00
Sähkökulutus ja laskutus ennen kompensointia					
09.2001= 4570 kWh	4570				616,00
10.2001 = 5365 kWh	5365				546,66
01.2002 = 4595 kWh	4595				678,00
		14530 kWh	jolloin kWh maksaa	0,127 €	1840,66
Sähkökulutus ja laskutus jälkeen kompensoinnin					
09.2002 = 4175 kWh	4175				378,00
10.2002 = 7850 kWh	7850				536,00
12.2002 = 6280 kWh	6280				613,00
		18305 kWh	jolloin kWh maksaa	0,083 €	1527,00
Jos kulutus on vuoden 2002 tasolla eli 18305x4 on kokonaiskulutus 73220 kWh/vuosi niin säästö vuodessa on 73220kWh x 0,044€ eli 3321.68€.					
Joten kuoletusaika on 1,5 vuotta.					

5.4 Päätötyön antama hyöty Sähkörenki Ky:lle

Tässä opinnäytetyössä esitetty sähköverkon laadun mittaus, mittaustuloksien analysointi ja tehdyt korjaustoimenpiteet tyydyttivät tilaajan tarpeet erinomaisesti. Samalla tämä kokonaisvaltainen työsuorite ja pitkäaikainen jälkiseuranta lisäsi Sähkörenki Ky:n teknistä osaamista merkittävästi ja antoi lisäarvoa yrityksen toimintaan ja palveluvalikoimaan.

LÄHTEET

SFS-EN 50160. 2011. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Sesko ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-KÄSIKIRJA 601. 2009. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. Sesko ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-KÄSIKIRJA 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS 6002. 2009. SFS 6002 käytännössä. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry/Sähköinfo Oy. Helsinki: Panokurki.

Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen T. (toim.) 2013. Sähköasennukset 3. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry/Sähköinfo Oy. Helsinki: Painokurki.

Fluke. 2012. Fluke 434"/435"/437" 3-vaiheinen energia- ja sähkönlaatuanalysointilaitteisto. Käyttöohje. Fluke Corporation. Käyttölupa saatu 21.06.2014, Pekka Erkintalo.

Sähkömarkkinalaki 588/2013.

Nuutila, A. 2014. Hollolan kunta. Haastattelu 30.4.2014.

Marttinen, I. 2014. Lahti Aqua Oy. Haastattelu 30.4.2014.

Nokia Capacitors. 2014. Nokian Capacitors An Alstom Grid Company tuotteet (tuoteopas 2014) lupa julkaisuun Markku Hynnä 31.10.2014.

Alstom Grid. 2014. Pienjännitetuotteiden tuoteopas [viitattu 31.10.2014]. Saatavilla: <http://www.alstom.com/Global/Finland/Resources/Documents/Pienj%C3%A4nnitetuotteiden%20tuoteopas.pdf>

Motiva. 2014. Suomen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-3 [viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/saastopotentiali_pk-teollisuudessa

Energiateollisuus. 2005. Sähkötoimituksen latu- ja toimitustapavirheen sovellusohje [viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/sahkontoimituksen_laatu_ ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2005.pdf

STUK 2014. Sähkömagneettiset kentät [viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/

EUR-Lex. 2012. 5212PC0015 Ehdotus Euroopan Parlamentin ja neuvoston direktiivi terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille annetun direktiivin 2004/40/EY muuttamisesta [viitattu 22.10.2014] Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52012PC0015&from=FI>

Puranen, L. 2014. Teollisuuden sähkö- ja magneettikentät [viitattu 27.10.2014]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/proinfo/koulutus/fi_FI/TEOL-PVAT-2014/files/91567861666227762/default/Puranen-Lauri-TEO2014.pdf

Kajak a. 2014. Kajaanin ammattikorkeakoulu, opintomateriaalit. H.Honkanen: Vaihtosähkön teho [viitattu 28.10.2014]. Saatavissa:

http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_VAIHTOS%C3%84HK%C3%96N%20TEHO.pdf

Kajak b. 2014. Kajaanin ammattikorkeakoulu, opintomateriaalit. H.Honkanen: Taajuusvasteen ja vaihesiirron määrittäminen [viitattu 28.10.2014]. Saatavissa: <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE-Taajuusvaste%20ja%20vaihesiirto.pdf> (viitattu 28.10.2014)

VTT. 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta, State of art – selvitys. Raili Alanen & Hannu Hätönen [viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>

Peakpwr.com. 2014. Pätötehon, näennäistehon ja loistehon vaikutussuhde kulmakertoimen muuttuessa [viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: <http://www.peakpwr.com/powertriangle.htm>

LIITTEET

- LIITE 1 Lyhenneluettelo
- LIITE 2 sähkömagneettiset häiriöt
- LIITE 3 Mittaustoiminnot fluke 435 series ii
- LIITE 4 Taulukko sähköverkon laadun perusmittauksista
- LIITE 5 Uusituvan energian käyttö sähköntuotannossa 2012
- LIITE 6 Suomen energiatalouden jakauma
- LIITE 7 Sähkön kokonaiskäyttö
- LIITE 8 Uusiutuva energia
- LIITE 9 Kastarin porsas mittaustapahtumat taulukkomuodossa sähköverkko kompensoituna.
- LIITE 10 Kastarin porsas mittaustapahtumat taulukkomuodossa sähköverkko kompensoimatta
- LIITE 11 Perusmittauksia
- LIITE 12 Esimerkki sähkölaitoksen sähkön laadun mittauksesta
- LIITE 13 Sähkönjakelun luotettavuuteen ja laatuun liittyvät keskeisimmät ongelmat ja niiden syyt

LYHENNELUETTELO

NEEAP-3	Suomen kansallinen energiatehokkuuden 3.toimintasuunnitelma
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus direktiivi
Voltage	Jännite
Voltage ph-n	Jännite vaihe-nolla
Voltage ph-ph	Jännite vaihe-vaihe
Half Cycle Voltage	Puolen jakson jännite
Peak Voltage	Huippujännite
DC Voltage	Tasavirtajännite
Fundamental Voltage	Perusjännite
Crest Factor Voltage	Jännitteen huippukerroin
Voltage Phi	Jännitteen kulmakerroin $\cos\phi$
Current	Virta
Half Cycle Current	Puolen jakson virta
Peak Current	Huippuvirta
DC Current	Tasavirta
Fundamental Current	Perusvirta
Crest Factor Current	Virran huippukerroin
Current Phi	Virran kulmakerroin $\cos\phi$
Overdeviation	Yläpoikkeama
Underdeviation	Alapoikkeama
Frequency	Taajuus, jakelujännitteen perusaallon toistojen luku-määrä mitattuna tietyltä aikaväliltä
Frequency 10s	Taajuus 10s
Unbalance Vn %	Suhteellinen jännite-epäsymmetria negat
Unbalance Vz %	Suhteellinen jännite-epäsymmetria nolla
Unbalance An %	Suhteellinen virtaepäsymmetria negat

Unbalance Az %	Suhteellinen virtaepäsymmetria nolla
Unbalance Vpos jakso	Jännitteen epäsymmetria positiivinen jakso
Unbalance Vneg	Jännitteen epäsymmetria negat. jakso
Unbalance Vzero	Jännitteen epäsymmetria nollajakso
Active Power	Pätöteho
W fund	Perustaajuinen pätöteho
Apparent Power	Näennäisteho
VA fund	Perustaajuinen näennäisteho
Reactive Power	Loisteho
PF	Tehokerroin
DPF	Laskukaava perustaajuinen W/VA
Cos Phi	Vaihekulma: perustaajuisen jännitteen /perustaajuisen virran vaihekulma
PF Pos	Tehokerroin pos
Distortion Power	Särö teho
Harmonic Distortion	Harmoninen särö teho
Unbalance Power	Epätasapaino teho
Efficiency Factor	Hyötysuhdekerroin
Harmonic Pollution	Harmoninen kuormitus (saastuminen)
Active load unbalance	Aktiivisen kuorman epäsymmetria
Reactive load unbalance	Reaktiivisen kuorman epäsymmetria
Reactive load unbal angle	Reaktiivisen kuorman epäsymmetriakulma
Inductive load unbalance	Induktiivisen kuorman epäsymmetria
Inductive load unbal angle	Induktiivisen kuorman epäsymmetriakulma
Capacitive load unbalance	Kapasitiivisen kuorman epäsymmetria
Capacitive load unbal angle	Kapasitiivisen kuorman epäsymmetria kulma

Total load unbalance	Kokonaiskuorman epäsymmetria
Total load unbal angle	Kokonaiskuorman epäsymmetriakulma
Active Energy	Pätöenergia
Reactive Energy	Loisenergia
Apparent Energy	Näennäisenergia
Wh Forward	Kulutettu energia
Wh Reverse	Tuotettu energia
Loss active	Pätöhäviö
Loss reactive	Loishäviö
Loss unbalance	Epäsymmetriahäviö
Loss Harmonics	Harmoninen häviö
Loss Neutral	O-häviö
Loss Total	Kokonaishäviö
Actual Cost Active	Pätötehon kustannus
Actual Cost Reactive	Loistehon kustannus
Actual Cost Unbalance	Epäsymmetrian kustannus
Actual Cost Harmonic	Harmonisten aaltojen kustannus
Actual Cost Neutral	Nollavirtakustannus
Actual Cost Total	Kustannus yhteensä
Energy Loss Active	Pätöenergian häviö
Energy Loss Reactive	Loisenergian häviö
Energy Loss Unbalance	Energiaepäsymmetrian häviö
Energy Loss Harmonics	Harmonisen energian häviö
Energy Loss Neutral	Nollaenergiähäviö
Energy Loss Total	Energiahäviö yhteensä
Currency Active Cost	Pätötehokustannuksen valuuttalaji
Currency Reactive Cost	Loistehokustannuksen valuuttalaji
Currency Unbalance Cost	Epäsymmetristen valuuttalaji
Currency Harmonic Cost	Harmonisten valuuttalaji
Currency Neutral Cost	Nollavirran valuuttalaji

Currency Total Cost	Valuutta (Eur, USD etc)
THD V	Jännitteen kokonaissärö
Volts Harmonics	Jänniteylijäännitteen, sinimuotoinen jännite, jonka taajuus on jakelijännitteen perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna
Volts Interharmonics	Epäsymmetriset jänniteylijäännitteen
THD A	Virran kokonaissärö
K-Factor A	K-kerroin virta
Amps Harmonics	Virtaylijäännitteen
Amps Interharmonics	Epäsymmetriset virtaylijäännitteen
THD W	Tehon kokonaissärö
K-Factor W	K-kerroin teho
Power Harmonics	Tehoylijäännitteen
Pst	Lyhytaikainen välkyntä 10 min mittaus
Plt	Pitkäaikainen välkyntä 2 h mittaus (12 mittausta)
Pst 1min	Lyhytaikainen välkyntä 1 min. mittainen
PInst	Hetkellinen välkyntä
Mains Signaling 1V3s	Verkon signaalijännite 1 V vaihtelu 3s keskiarvo
Mains Signaling 2V3s	2 V vaihtelu 3 sek keskiarvojännite
Mains Signaling 1 % jännitteestä	Verkon signaalijännite % nimellisvaihe-suhteellinen 1 % vaihtelu
Mains Signaling 2 % jännitteestä	Verkon signaalijännite % nimellisvaihe-suhteellinen 2 % vaihtelu
V Tol %	Jännitetoleranssi
V Mod	Jännitemodulaatio
V Imb %	Jännitteen epätasapaino
A Imb%	Virtaepätasapaino
Hz Tol	Taajuustoleranssi (absoluuttinen)

Hz Tol%	Taajuustoleranssi (suhteellinen)
Hz Mod	Taajuusmodulaatio (absoluuttinen)
Hz Mod%	Taajuusmodulaatio (suhteellinen)
Events	Tapahtumat
Max	Ylin
Avg (average)	Keskiarvo
Min	Alin
Transientti	Nopea virran, jännitteen tai taajuuden muutos
Välkyntä	valonlähteen luminanssin (pintakirkkauden) tai spektrijakautuman muutosten aiheuttama näköaistimuksen ajallinen vaihtelu.

SÄHKÖMAGNEETTISET HÄIRIÖT (STUK 2014).

Sähkömagneettinen säteily

- Sähkömagneettista säteilyä voidaan luonnehtia taajuuden, kentänvoimakkuuden ja aaltomuodon avulla.
- Säteilyn aallonpituus λ (m) ja taajuus f (Hz) ovat sidoksissa toisiinsa siten, että niiden tulo λf väliaineessa on vakio c .
- Ilmassa voidaan riittävällä tarkkuudella käyttää tyhjiön valonnopeutta $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s.
- Fotonin energia E on suoraan verrannollinen taajuuteen. $E = hf$, jossa h on Planckin vakio, $h = 6.626068 \times 10^{-34}$ m² kg / s
- Kentänvoimakkuus syntyy fotonitiheydestä eli siitä, kuinka paljon fotoneita on kentässä. Hyvin suuri määrä heikkojakin fotoneita voi esimerkiksi lämmittää kudoksia.

Staattinen magneettikenttä

- Staattinen magneettikenttä pysyy vakiona tai muuttuu vain hyvin hitaasti ajan suhteen.
- Kentän muutos tai kappaleen liikkuminen kentässä synnyttää eli indusoi kentässä olevaan kappaleeseen (kehoon) sisäisen sähkökentän, joka saa aikaan sähkövirtoja hyvin johtavissa kudoksissa.

Ionisoimattoman säteilyn lähteitä

Voimakkaat staattiset magneettikentät voivat aiheuttaa pahoinvointia, päänsärkyä, huimausta ja magnetofosfeeneja

- Aurinko
- Valtaosin keinotekoisia
- Magneettikuvauslaitteet
- Metallinkäsittelyyn ja -jalostukseen käytettävät laitteet ja prosessit
- Salamit
- Sähköenergian tuotanto, jakelu ja käyttö

- Induktiokuumentimet ja valokaariuunit
- Hitsauslaitteet
- Magneettikenttiin perustuvat kauppojen tuotesuojaportit eli varashälytinpportit ja lentokenttien metallinpaljastimet
- radiotaajuuksilla toimivat tuotesuojaportit (RF-ID)
- Mikroaaltokuivaimet
- Suurtehotutkat,
- Yleisradiolähettimet
- Teollisuudessa käytettävät muovinsaumaajat / suurtaajuuskuumentimet
- Epäsuora terveyshaitta saattaa syntyä tilanteessa, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien, defibrillaattoreiden, hermostimulaattoreiden, lääkeannostelijoiden ja potilaaseen ulkoisesti kytkettyjen valvontalaitteiden tai kuulokojeen toimintaa.

Ionisoimaton säteily

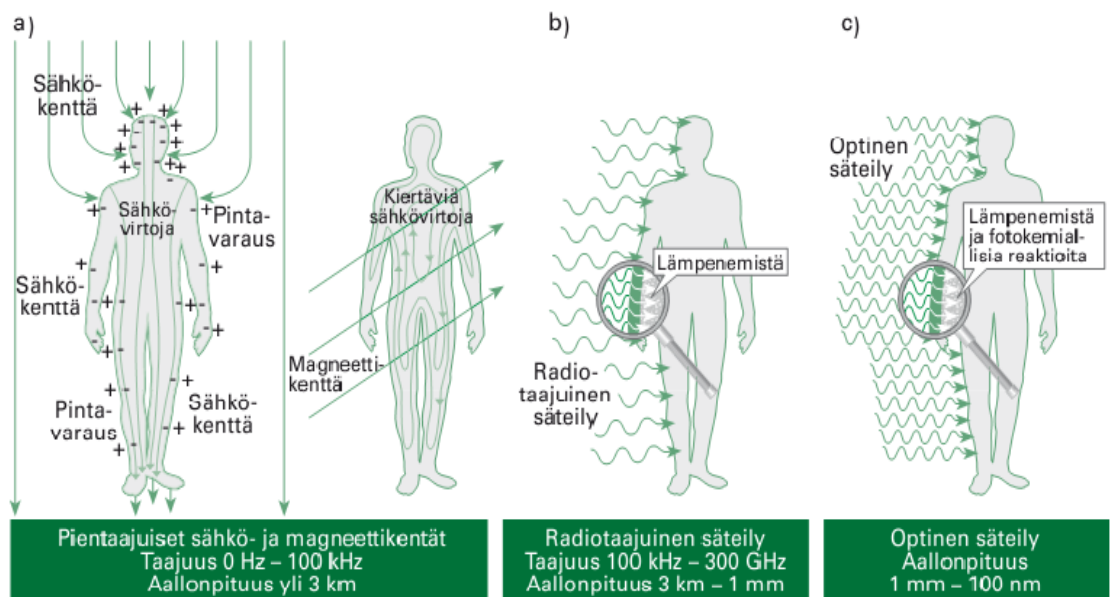
- Ionisoimaton säteily muodostuu sähkö- ja magneettikentistä.
- Ionisoimattomaksi säteilyksi luetaan joskus myös ultraääni, joka on mekaanista aaltoliikettä.
- Fotonin energian suhteellisesta pienuudesta huolimatta on erilaisia vaikutuksia elävään kudokseen.

Vaikutukset määräytyvät kenttien voimakkuudesta, taajuudesta, pulssimuodosta sekä altistuksen kesto

Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät

- Hyvin pientaajuiset kentät (Extremely Low Frequency, ELF) alle 300 Hz
- välitaajuiset kentät (Intermediate Frequency, IF) 300 Hz – 100 kHz

- Pientaajuisissa sähkö- ja magneettikentissä kentän muutosnopeus on jo riittävän suuri indusoimaan paikallaan olevaan ihmiseen sähkökenttiä ja -virtoja.
- Sähkömagneettinen induktio riippuu kehon koosta ja asennosta sähkö- ja magneettikenttien suuntaan.
- Riittävän voimakkaina induktiosähkökenttä ja -virrat voivat aiheuttaa sähköärsytystä hermo- ja lihassoluissa. Suuret sisäiset virrat voivat olla vaarallisia, koska ne voivat laukaista kammiovärinän tai johtaa hengityksen lamaantumiseen.
- Välitaajuisien kenttien tunnetut haittavaikutukset ovat konventionaalinen sähköärsytys hermo- ja lihassoluissa. Taajuusalueen yläpäässä on myös kudosten lämpeneminen mahdollista.



Kuva 1.2 Ionisoimattoman säteilyn fysikaalisia ja biologisia vaikutuksia ihmisessä

Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät

Radiotaajuiset kentät

- Radiotaajuuksilla (Radio Frequency, RF), tarkoitetaan taajuuksia 100 kHz – 300 GHz.
- Radiotaajuuksilla vallitseva fysikaalinen vaikutusmekanismi kudoksessa on energian absorboituminen lämmöksi.
- Mikroaalloilla (300 MHz – 300 GHz) lämpeneminen muuttuu yhä pinnallisemmaksi taajuuden kasvaessa.
- Voimakas ja lyhyt mikroaaltopulssi voi lisäksi aiheuttaa termoelastisia värähtelyjä, jotka aistitaan kuuloilmiönä (esim. häiritsevä surina voimakkaan tutkan keilassa).

Optinen säteily

- Optinen säteily on ionisoimatonta säteilyä, jonka aallonpituus on hyvin pieni.
- Sähkömagneettisten kenttien ja optisen säteilyn rajana on aallonpituus 1 mm (300 GHz), jolla mikroaaltosäteily loppuu ja infrapunasäteily alkaa.
- Optisen säteilyn alueella käytetään aallonpituutta taajuuden sijaan, kun halutaan erotella eri spektrialueita. Optisen säteilyn osa-alueita ovat infrapunasäteily (780 nm – 1 mm), näkyvä valo (400–780 nm) sekä ultraviolettisäteily (UV) (100–400 nm).
- Kudosten lämpeneminen on keskeinen optisen säteilyn vaikutus, lisäksi fotokemialliset vaikutukset ovat merkittäviä erityisesti UV-alueella

Ammatillinen altistuminen

- Sähkö- ja magneettikenttäaltistumista koskevan työturvallisuusnormiston kehitys on paljolti sidoksissa yleiseurooppalaiseen kehitykseen, jota Euroopan unionissa ohjataan jäsenvaltioita velvoittavilla direktiiveillä. Pääsääntöisesti työntekijöiden altistumista koskevat turvallisuusnormit annetaan työturvallisuuslain nojalla ja väestön altistumista koskevat turvallisuusnormit säteilylain nojalla.

- Euroopan unionin neuvosto on antanut vuonna 2004 direktiivin (2004/40/EY) työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista. Se pitää sisällään määräykset, joiden tavoitteena on rajoittaa työntekijöiden altistumista sähkömagneettisista kentistä aiheutuville riskeille. Tämä sähkö- ja magneettikenttiä koskeva työsuojeludirektiivi tuli saattaa voimaan myös Suomessa vuonna 2008.
- Näiden noudattamista työpaikoilla valvovat työsuojeluviranomaiset.

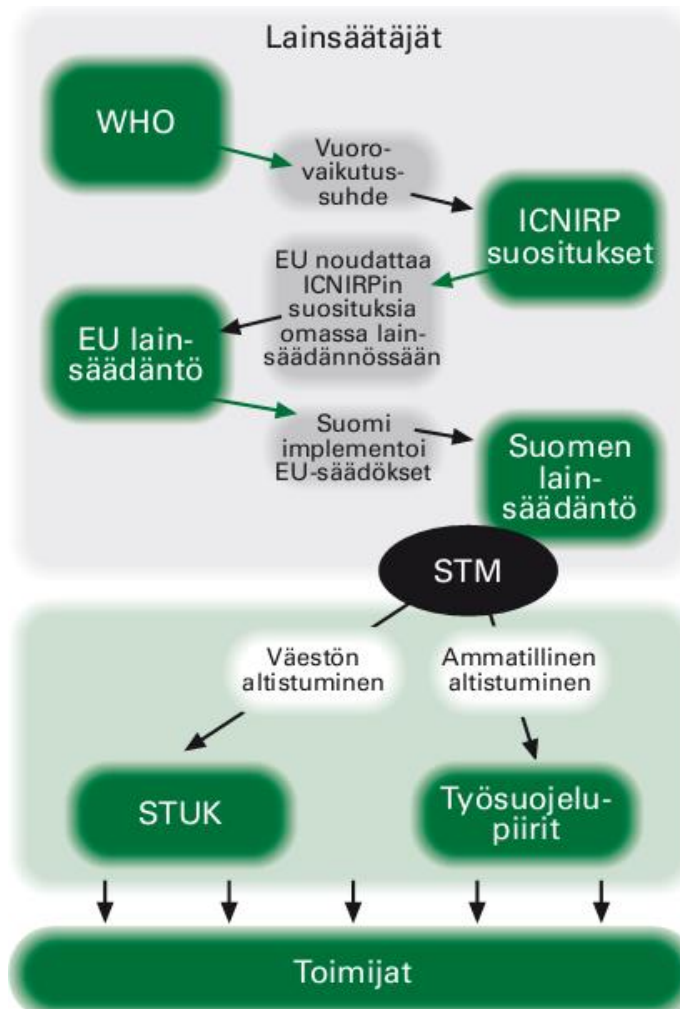
2.5 | Yhteenveto altistumista kuvaavista suureista

Sähkömagneettisille kentille altistumista kuvaamaan käytetään yleisimmin seuraavia kahdeksaa fysikaalista suureta:

Virrantiheys (J)	Virrantiheys (J) on ihmiskehon tai sen osan kaltaisessa tilavuusjohtimessa kulkeva virta kulkusuuntaan nähden kohtisuoran tason pinta-alayksikköä kohti. Virrantiheys, joka on vektorisuure, ilmaistaan ampeereina neliometriä kohti (A/m^2).
Sähkökentän voimakkuus (E)	Sähkökentän voimakkuus (E) on vektorisuure, joka ilmenee varautuneeseen hiukkaseen kohdistuvana voimana. Se ilmaistaan voltteina metriä kohti (V/m).
Magneettivuon tiheys (B)	Magneettivuon tiheys on vektorisuure (B), jonka vaikutuksesta syntyy liikkuviin varauksiin kohdistuva voima. Suureen arvo ilmaistaan tesloina (T). Vapaassa tilassa ja eloperäisessä väliaineessa magneettivuon tiheyden ja magneettikentän voimakkuuden vastaavuus voidaan määrittää käyttämällä kaavaa $1 A/m = 4\pi \cdot 10^{-7} T$.
Magneettikentän voimakkuus (H)	Magneettikentän voimakkuus on vektorisuure (H), joka yhdessä magneettivuon tiheyden kanssa määrittää magneettikentän annetussa pisteessä. Sen yksikkö on (A/m).
Kosketusvirta (I_c)	Sähkökentässä sijaitseva sähköä johtava kohde voi varautua kentän vaikutuksesta. Kosketettaessa kappaletta varaus purkautuu kosketusvirtana (I_c), joka ilmaistaan ampeereina (A).
Tehotiheys (S)	Tehotiheys (S) on suure, jota käytetään suurilla taajuuksilla, jolloin säteily ei tunkeudu kovin syvälle. Suure määritellään kohteen pintaan nähden kohtisuoran säteilyn tehona kohteen pinta-alayksikköä kohti ja ilmaistaan watteina neliometriä kohti (W/m^2). Tehotiheys on Poyntingin vektorin itseisarvo.
Ominaisabsorptio (SA)	Ominaisabsorptio (SA) määritellään biologisen kudoksen absorboimana energiana massayksikköä kohti (J/kg). Suureta käytetään asetettaessa rajoituksia pulssimuotoiselle mikroaaltosäteilylle.
Ominaisabsorptionopeus (SAR)	Ominaisabsorptionopeus (SAR) määritellään energian absorboitumisnopeutena kudoksen massayksikköä kohti. Se ilmaistaan watteina kilogrammaa kohti (W/kg). Kehon tai sen osan lämpeneminen määräytyy ominaisabsorptionopeudesta.

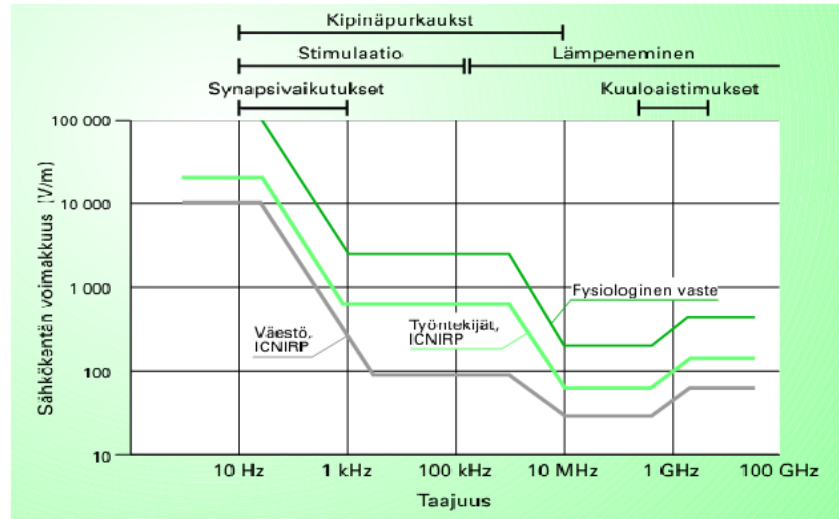
Taulukko 2.2 Yhteenveto altistumissuureista

Sähkö- ja magneettikenttien valvonta Suomessa



Turvallisuussäätöjen perusteista

- Maailmanlaajuisesti sähkömagneettisia kenttiä koskevat altistumisrajat voidaan jakaa kolmen pääryhmään, joissa esikuvina on käytetty
 - kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn toimikunnan suosituksia (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation)
 - Yhdysvalloissa toimivan sähköalan insinöörijärjestön standardeja (IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA)
 - entisen Neuvostoliiton säteilyhygieenisiiä normeja.



Kuva 8.2 Biologisten vaikutusten kynnystasoja suhteutettuna ICNIRP:n ohjearvoihin

Alle 100 kHz taajuudella merkittävimmät biologiset vaikutukset ovat hermojen ja lihasten stimuloituminen, yli 100 kHz taajuuksilla merkittävin vaikutus on lämpeneminen. ICNIRPIN ohjearvot ovat vähintään 10–100 kertaa pienempiä, kuin biologisten vaikutusten kynnystasot.

Säteilyturvallisuus työpaikalla, 10.12.2009

- **Valtuutusperuste**
- Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa säteilylain mukaan säteilytoiminnan harjoittaja. Toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että ST ohjeissa esitetyn mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään.
- Säteilyturvakeskus antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevat yleiset ohjeet, säteilyturvallisuusohjeet (ST-ohjeet), [säteilylain \(592/1991\) 70 §:n 2 momentin](#) nojalla. (eur-lex.europa)

MITTAUSTOIMINNOT FLUKE 435 SERIES II

Vaihekohtaiset jännitteet (Phase voltages). Tulisi pysytellä lähellä nimellisarvoa. Aaltomuodon tulisi olla mahdollisimman sinimuotoista ja häiriötöntä. Katso aaltomuoto skooppipuolelta. Etsi kuopat ja kohoumat käyttäen Dips & Swells-toimintoa. Käytä Transients-toimintoa etsiäksesi nopeat jännitemuutokset ja piikit.

Vaihekohtaiset virrat (Phase currents). Käytä Volts/Amps/Hertz- ja Dips & Swellstoimintoja tarkistaaksesi virta. Inrush Current-toiminnolla voit mitata esim. moottorin ottaman tehollisen käynnistysvirran.

Huippukerroin (Crest Factor, CF). Huippukerroin (CF) 1.8 (tai suurempi) tarkoittaa säröytynyttä aaltomuotoa. Katso aaltomuoto skooppipuolelta. Katso yliaalto-näytöltä kokonaissärö (THD, Total Harmonic Distorsion) ja yksittäiset yliaallot.

Harmoniset yliaallot (Harmonics). Näet vaihekohtaiset jännite- ja virta yliaallot sekä kokonaissäröt. Piirturinäytöltä näet arvojen vaihtelut pidemmältä ajalta.

Välkyntä (Flicker). Näet vaihekohtaisesti lyhyt- ja pitkäaikaiset jännitteen välkyntäarvot. Piirturinäytöltä näet arvojen vaihtelut pidemmältä ajalta.

Kuopat ja kohoumat (Dips & Swells). Nopeat (min. puolen jakson pituiset) jännitteen kuopat ja kohoumat.

Taajuus. Tulisi pysytellä lähellä nimellisarvoa. Taajuus ei yleensä ole Suomessa ongelma. Valitse Volts/Amps/Hertz-toiminto nähdäksesi taajuuden arvo.

Epäsymmetria (Unbalance). Jokaisen vaiheen jännite tulisi olla 1 %:n sisällä kaikkien kolmen vaiheen keskiarvosta. Virtojen tulisi olla 10 %:n sisällä. Tutki epäsymmetrioita

Scope-puolen vektorinäytöltä tai Menu-valikon epäsymmetria-toiminnolla.

Energiahävikkilaskuri (Energy Loss Calculator). Auttaa paikallistamaan missä energiahävikki tapahtuu ja mikä sen vaikutus on sähkölaskun suuruuteen.

Invertterin tehokkuus (Power Inverter Efficiency). Mittaa invertterin tehokkuuden ja sen synnyttämän energiamäärän (invertterin joka muuttaa yksivaihe DC:n yksivaihe tai kolmevaiheiseksi AC:ksi).

Verkon signaalijännitteet. Voidaan käyttää sähköjakelujärjestelmissä käytettävien kauko-ohjaussignaalien analysointiin.

Loggeri. Mahdollistaa monien eri arvojen tallentamisen suurella erottelukyvällä pitkään muistiin.

Power Wave. Analysaattori toimii suurierottelukykyisenä 8-kanavaisena oskilloskooppiirturina.

Vinkki: yleensä kaikkein tehokkain tapa suorittaa sähköjärjestelmien vianhakua, on aloittaa mittaukset kuormasta ja siirtyä sieltä sähkönsyöttöön päin. Mittauksia suoritetaan koko matkan ajan jotta voidaan eroittaa vikaantuneet komponentit tai kuormat.

TAULUKKO SÄHKÖVERKON LAADUN PERUSMITTAUKSISTA.

Summary	Yhteenveto		
Spread sheet	Taulukko		
Voltage and Current	Jännite ja virta	Normal Period	Normaali jakso
		Half Cycle	Puolijakso
		Peak	Huippu
		Fundamental	Perustaajuus
		Phi	Kulmakerroin $\cos\phi$
		Overdeviation	Yläpoikkeama
		Underdeviation	Alapoikkeama
		Crest Factor	Huippukerroin
Statistics	Tilastot	Vrms ph-n	Jännite rms vaihe-nolla
		Vrms ph-ph	Jännite rms vaihe-vaihe
		Arms	Virta rms
		Half cycle voltage	Puolijakso jännite
		Half cycle current	Puolijakso virta
		Peak voltage	Huippujännite
		Peak current	Huippuvirta
		Fundamental voltage	Perusjännite
Frequency/Unbalance	Taajuus/ Epäsymmetria	Freq	Taajuus
		Unbal Vn%	Jännitteen epäsymmetria
		Unbal Vz %	
		Unbal An %	Virran epäsymmetria
		Unbal Az %	
		Unbal Vpos	

LIITE 4/2

		Unbal Vneg	
		Unbal Vzero	
		Unbal Apos	
		Unbal Aneg	
		Unbal Azero	
Power	Teho	W	Pätöteho
		W Fund	Perustaajuinen pätöteho
		VA Fund	Perustaajuinen näennäisteho
		Var	Loisteho
		PF	Vaihekulma
		VA Harm	Harmoninen teho
		VA Unbal	Pätötehon epä- symmetrinen osa
Energy	Energia	Active Energy	
		Reactive Energy	
		Apparent Energy	Näennäisenergia
		Aggregat in intervals	
Energy Losses	Energiahäviö	Power Loss	Tehon häviö
		Active	Pätötehon siirrosta aiheutuva hävikki
		Reactive	Loistehon siirron aiheuttama hävikki
		Unbalance	syötön ja kuorman epäsymmetrian aiheut- tama hävikki
		Harmonic	Särötehon aiheuttama hävikki

LIITE 4/3

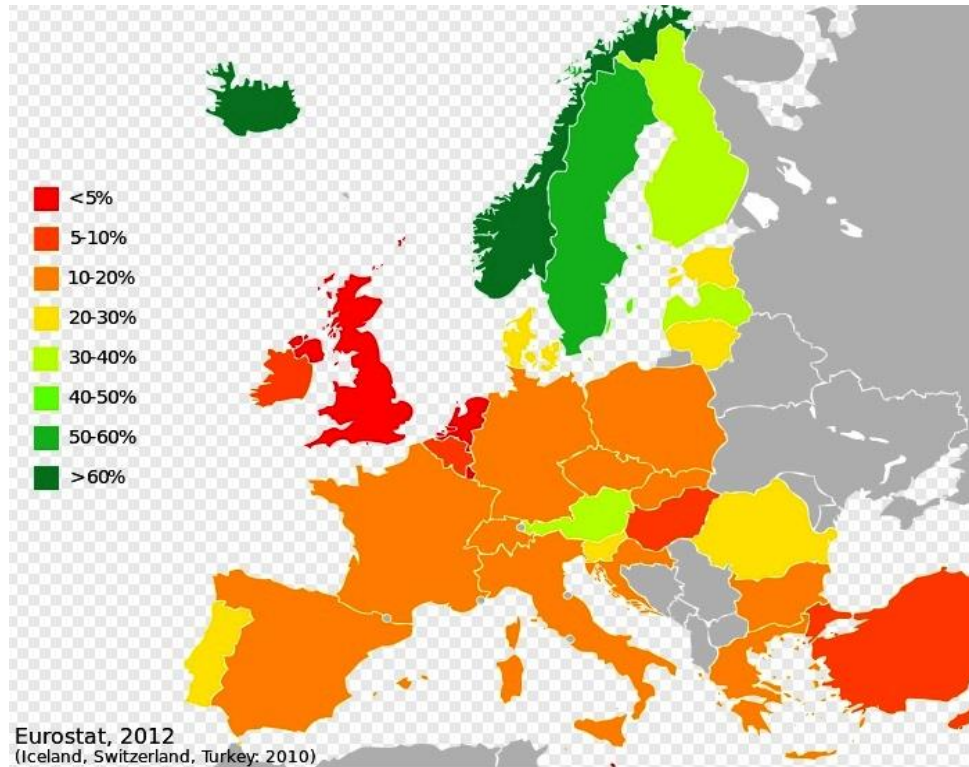
		Neutral	Nollajohtimen virran aiheuttama hävikki
		Total	Kokonaishävikki
Flicker	Välkyntä	Pst	Lyhytaikainen välkyntä
		Plt	Pitkäaikainen välkyntä
		Pst 1min	
		Pinst	Hetkellinen välkyntä
Mains signaling	Verkon signaalijännitteet	1V3s	
		2V3s	
		1V1%	
		2V 2%	
Harmonics	Yliaallot	K-factor A	
		THD	Kokonaissärö
Mains signaling	Verkon signaalijännitteet	1V3s	
		2V3s	
		1V1%	
		2V 2%	
Harmonics	Yliaallot	K-factor A	
		THD	Kokonaissärö

Vrms, Arms	10/12 jakson jatkuva, aukoton intervalli käyttäen 500/4162 näyttöä jakson ajalta, IEC 61000-4-30-standardin mukaisesti
Vpeak, Apeak	Korkein absoluuttinen näytearvo 10/12 jakson ajalta, näytteen erottelukyky 40 μ s
Jännitteen huippukerroin (CF)	Mittaa Vpeak- ja Vrms-arvojen suhdetta
Virran huippukerroin (CF)	Mittaa Apeak- ja Arms-arvojen suhdetta
Hz	Mitataan 10 sekunnin välein IEC61000-4-30-standardin mukaisesti. Vrms ^{1/2} - ja Arms ^{1/2} -arvot mitataan yhden jakson ajalta, alkaen perustaajuuden nollassa leikkauksesta ja päivitetään jokaisella puolijaksolla. Tämä tekniikka on erillinen kussakin kanavassa IEC 61000-4-30-standardin mukaisesti.
Harmoniset yliaallot	Lasketaan 10/12 jakson aukottomista harmonisen ryhmän jännite- ja virtamittauksista IEC 61000-4-7-standardin mukaisesti
W	Pätötehon täys- ja perustaajuusarvojen näyttö. Laskee hetkellisen tehon keskiarvon kussakin vaiheessa 10/12 jakson ajalta. Pätötehon kokonaisarvo $PT = P1 + P2 + P3$.
VA	Näennäistehon täys- ja perustaajuusarvojen näyttö. Laskee näennäistehon käyttäen Vrms x Arms -arvoa 10/12 jakson ajalta.
VAR	Loistehon perusarvon näyttö. Laskee perustaajuuden myötäkomponenttien loistehon. Kapasitiivinen ja induktiivinen kuorma osoitetaan kondensaattori- ja induktorikuvakkeilla.
VA yliaallot	Harmonisten aaltojen aiheuttama kokonaishäiriöteho. Lasketaan kullekin vaiheelle ja koko järjestelmälle näennäistehon kokonaisarvon ja perustaajuuden pätötehon pohjalta.

VA epäsymmetria	Koko järjestelmän epäsymmetriateho. Lasketaan symmetristen komponenttien menetelmällä näennäistehon perustaaajuudelle ja kokonaisarvolle.
Tehokerroin	Laskennallinen kokonaisteho W/VA
Cos j	Perustaaajuisen jännitteen ja -virran välisen kulman kosini.
DPF	Laskennallinen perustaaajuinen teho W/VA
Energia / energian hinta	kWh-arvoissa käytettävät tehoarvot kerätään pitkältä aikaväliltä. Energian hinta lasketaan käyttäjän määrittämän kWh:n hintamuuttujan avulla.
Epäsymmetria	Syöttöjännitteen epäsymmetria arvioidaan symmetristen komponenttien menetelmällä IEC61000-4-30-standardin mukaisesti
Välkyntä	IEC 61000-4-15-standardin mukainen välkyntämittaus. Sisältäen 230V, 50Hz ja 120V, 60Hz lamppumallit
Transienttimittaukset	Tallentaa signaalin verhoikäyrään liipaistun aaltomuodon. Mahdollistaa liipaista myös kuoppaan, kohoumaan, katkokseen ja virtatasoon.

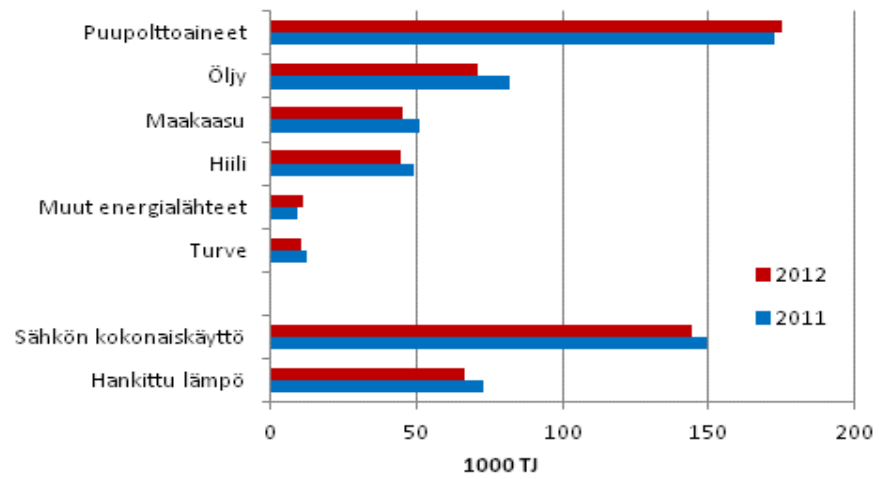
<p>Käynnistysvirran mittaus</p>	<p>Käynnistysvirran mittaus alkaa, kun puolijakson Arms-arvo ylittää raja-arvon ja päättyy, kun puolijakson Arms-arvo on yhtä suuri tai alle raja-arvon, josta on vähennetty käyttäjän valitsema hystereesiarvo. Mittaus on käynnistyksen keston aikana mitattujen puolijaksojen Arms-arvojen neliöiden neliöjuuri. Jokainen puolijakso on aukoton ja ei-päällekkäinen, IEC 61000-4-30-standardin suositusten mukaisesti. Käynnistyksen kesto merkitään pisteviivoilla. Puolijaksojen Arms:n huippuarvon voi mitata kursoreilla.</p>
<p>Verkon signaalijännitteet</p>	<p>Mittausten pohjana käytetään joko vastaavan 10/12 jakson rms-arvon epäharmonista tallennetta tai neljän lähimmän 10/12 jakson rms-arvon epäharmonisen tallenteen rms-arvoa IEC 61000-4-30-standardin mukaisesti. Raja-arvojen asetus Monitor-tilassa EN50160-standardin mukaisesti.</p>
<p>Aikasykronointi</p>	<p>Lisävarusteena saatava GPS430-II-aikasykronointimoduuli mahdollistaa aikapoikkeaman arvon ≤ 20 ms tai $\leq 16,7$ ms käytön tapahtumien ja aikakytkettyjen mittausten aikamerkinnoissä. Kun sykronointi ei ole käytettävissä, sallittu aikapoikkeama on ≤ 1 s/24 h</p>

UUSITUVAN ENERGIAN KÄYTTÖ SÄHKÖNTUOTANNOSSA 2012



(Wikipedia 2014)

Teollisuuden energiankulutus laski vuonna 2012. Teollisuuden energiankulutus väheni Tilastokeskuksen mukaan noin viisi prosenttia vuonna 2012. Teollisuuden energiankäyttö oli yhteensä 541 petajoulea (PJ). Sähkön kokonaiskäyttö teollisuudessa väheni edellisvuodesta neljä prosenttia.

SUOMEN ENERGIATALOUDEN JAKAUMA

http://www.tilastokeskus.fi/til/tene/2012/tene_2012_2013-10-31_tie_001_fi.html

SÄHKÖN KOKONAISKÄYTTÖ

Sähkön kokonaiskäyttö teollisuudessa oli 40 terawattituntia (TWh) vuonna 2012. Teollisuuden sähkönkäytöstä 52 prosenttia kulutettiin metsäteollisuudessa. Kemianteollisuudessa käytettiin 16 ja metallien jalostuksessa 14 prosenttia sähkön kokonaiskäytöstä. Sähkön kokonaiskäyttö kasvoi tekstiili- ja vaate-, metallien jalostus- sekä kaivannaisteollisuudessa. Sähkön käyttö väheni kaikilla muilla päätoimialoilla.

Tuottaja: Tilastokeskus

Tuorein julkistus:

[Energian kokonaiskulutus laski 7 prosenttia tammi-kesäkuussa](#)

22.9.2014

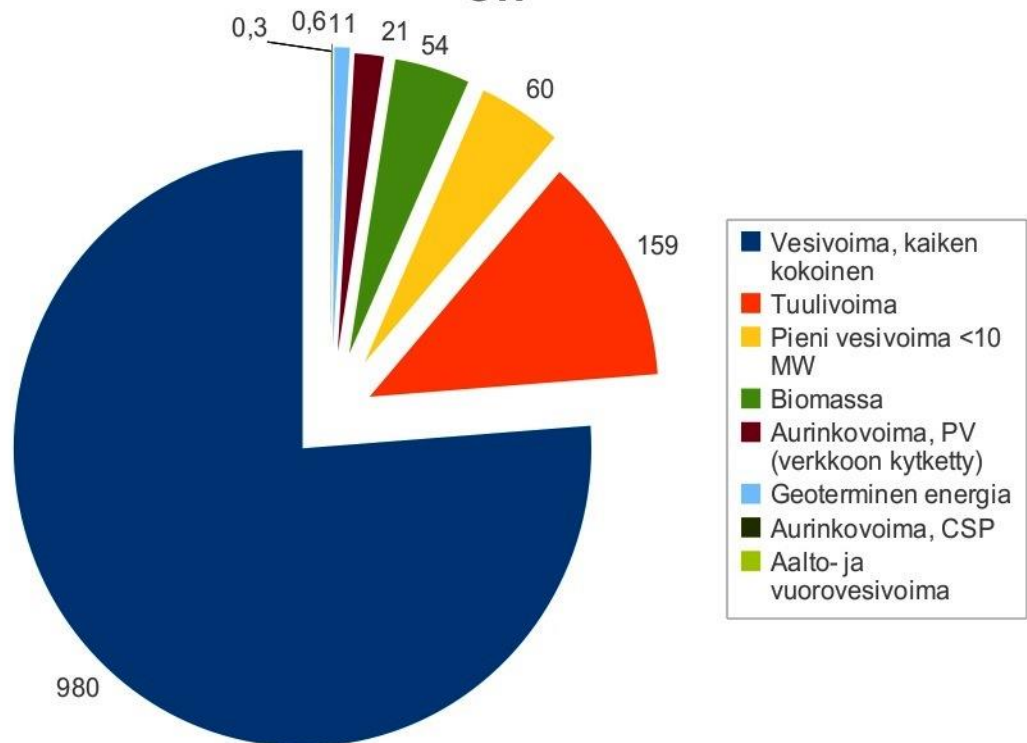
Tiedot: Tilastokeskuksen ennakkotietojen mukaan energian kokonaiskulutus oli noin 687 petajoulea (PJ) tammi-kesäkuussa, mikä oli lähes 7 prosenttia vähemmän kuin viime vuoden vastaavana ajankohtana. Sähkön kulutus oli 42,8 terawattituntia (TWh), eli 1,8 prosenttia pienempi kuin vuotta aiemmin. Sähkön tuonnin yli kaksinkertaistuminen Ruotsista kasvatti nettotuontia 26 prosenttia vähentäen samalla lauhdevoiman tuotantoa 43 prosenttia. Energiantuotannon hiilidioksidipäästöt laskivat 6 prosenttia viime vuoden tasosta.

Seuraava julkistus:

10.12.2014

http://www.tilastokeskus.fi/til/tene/2012/tene_2012_2013-10-31_tie_001_fi.htm

UUSIUTUVA ENERGIA

Uusiutuvan energian olemassaoleva kapasiteetti 2009,
GW

(Wikipedia, 2014)

**KASTARIN PORSAS MITTAUSTAPAHTUMAT
TAULUKKOMUODOSSA**

Aika 3.11.2014 klo 10.00.07–12 (taulukko vuosi on väärin 2013)

Sähköverkko kompensoituna

Report Date/Time		Page 21														
5.11.2014 22:36:53		MEAS 1 -- Kastanin Porasas_2014.fpq														
Date	Function	ANV) Min A(A) Min	ANV) Avg A(A) Avg	ANV) Max A(A) Max	BNV) Min B(A) Min	BNV) Avg B(A) Avg	BNV) Max B(A) Max	CNV) Min C(A) Min	CNV) Avg C(A) Avg	CNV) Max C(A) Max	NGV) Min N(A) Min	NGV) Avg N(A) Avg	NGV) Max N(A) Max	Total Min	Total Avg	Total Max
3.11.2013 10:00:07	572msec Actual cost harmonic													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Actual cost neutral													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Actual cost total													1484 W	1525 W	1584 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Energy Loss Active													34 Wh	34 Wh	34 Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec Energy Loss Reactive													0 Wh	0 Wh	0 Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec Energy Loss Unbalance													6 Wh	6 Wh	6 Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec Energy Loss Harmonic													0 Wh	0 Wh	0 Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec Energy Loss Neutral													41 Wh	41 Wh	41 Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec Energy Loss Total													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Accumulated Costs Active													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Accumulated Costs Reactive													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Accumulated Costs Unbalance													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Accumulated Costs Harmonic													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Accumulated Costs Neutral													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Accumulated Costs Total													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:00:07	572msec Vth Forward	0.461 k Wh	0.461 k Wh	0.461 k Wh	0.496 k Wh	0.496 k Wh	0.496 k Wh	0.463 k Wh	0.463 k Wh	0.463 k Wh	0.463 k Wh	0.463 k Wh	0.463 k Wh	1.424 k Wh	1.424 k Wh	1.424 k Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec Vth Reverse	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh
3.11.2013 10:00:07	572msec K-Factor A	1,16	1,19	1,2	1,19	1,2	1,2	1,08	1,09	1,09	5,32	5,41	5,47			
3.11.2013 10:00:07	572msec K-Factor W	1	1	1	0,99	0,99	0,99	1	1	1						
3.11.2013 10:00:07	572msec THD W	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,215	0,215	0,215						
3.11.2013 10:00:07	572msec THD V	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
3.11.2013 10:00:07	572msec Pst															
3.11.2013 10:00:07	572msec Pst															
3.11.2013 10:00:07	572msec Pst															
3.11.2013 10:00:07	572msec Pst															
3.11.2013 10:00:07	572msec Unbalance Vpos															
3.11.2013 10:00:07	572msec Unbalance Vneg															
3.11.2013 10:00:07	572msec Unbalance Vzero															
3.11.2013 10:00:07	572msec Unbalance Apos															
3.11.2013 10:00:07	572msec Unbalance Aneg															
3.11.2013 10:00:07	572msec Unbalance Azero															
3.11.2013 10:00:07	572msec Mains Signalling 1%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %						
3.11.2013 10:00:07	572msec M Signalling 1V3s	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V						
3.11.2013 10:00:07	572msec M Signalling 2%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %						
3.11.2013 10:00:07	572msec M Signalling 2V3s	0 V	0,01 V	0,02 V	0,01 V	0,01 V	0,02 V	0 V	0,01 V	0,01 V						
3.11.2013 10:00:12	572msec Vrms ph-n	231,08 V	231,15 V	231,27 V	229,77 V	229,87 V	229,8 V	232,35 V	232,42 V	232,5 V	0,02 V	0,02 V	0,02 V	0 V	0 V	0 V
3.11.2013 10:00:12	572msec Vrms ph-p	395,19 V	399,43 V	399,48 V	400,24 V	400,35 V	400,45 V	401,21 V	401,34 V	401,52 V				0 V	0 V	0 V
3.11.2013 10:00:12	572msec Arms	115,7 A	116 A	116,2 A	128,1 A	128,5 A	128,7 A	116,3 A	116,6 A	116,7 A	21,1 A	21,2 A	21,3 A			
3.11.2013 10:00:12	572msec Frequency	50,024 Hz	50,025 Hz	50,026 Hz												
3.11.2013 10:00:12	572msec Unbalance Vn													0,29%	0,3%	0,3%
3.11.2013 10:00:12	572msec Unbalance Vv													0,36%	0,36%	0,36%
3.11.2013 10:00:12	572msec Unbalance An													3,08%	3,1%	3,12%
3.11.2013 10:00:12	572msec Unbalance Az													5,52%	5,57%	5,61%
3.11.2013 10:00:12	572msec THD V															
3.11.2013 10:00:12	572msec THD A	327,9 V	328 V	328,1 V	331 V	331,3 V	331,6 V	331,6 V	331,9 V	332,3 V	0,1 V	0,1 V	0,1 V			
3.11.2013 10:00:12	572msec Peak Voltage	177,6 A	178,4 A	179,6 A	192,2 A	192,2 A	192,2 A	173 A	173 A	173 A	34,6 A	34,6 A	34,6 A			
3.11.2013 10:00:12	572msec Peak Current	231,1 V	231,1 V	231,2 V	229,7 V	229,8 V	229,9 V	232,3 V	232,4 V	232,5 V	0 V	0 V	0 V			
3.11.2013 10:00:12	572msec Fundamental Voltage	115,6 A (U/L)	115,6 A (U/L)	116 A (U/L)	127,8 A (U/L)	128,2 A (U/L)	128,4 A (U/L)	116,2 A (U/L)	116,6 A (U/L)	116,6 A (U/L)	19,2 A	19,2 A	19,2 A			
3.11.2013 10:00:12	572msec Fundamental Current	1,42	1,42	1,42	1,44	1,44	1,44	1,43	1,43	1,43	327,67	327,67	327,67			
3.11.2013 10:00:12	572msec V Crest Factor	1,53	1,54	1,55	1,51	1,51	1,52	1,47	1,48	1,5	1,62	1,66	1,68			
3.11.2013 10:00:12	572msec A Crest Factor	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %			
3.11.2013 10:00:12	572msec Overdeviation	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %			

KASTARIN PORSAS MITTAUSTAPAHTUMAT TAULUKKOMUODOSSA

Aika 3.11.2014 klo 10.05.12-17 (taulukko vuosi on väärin 2013)

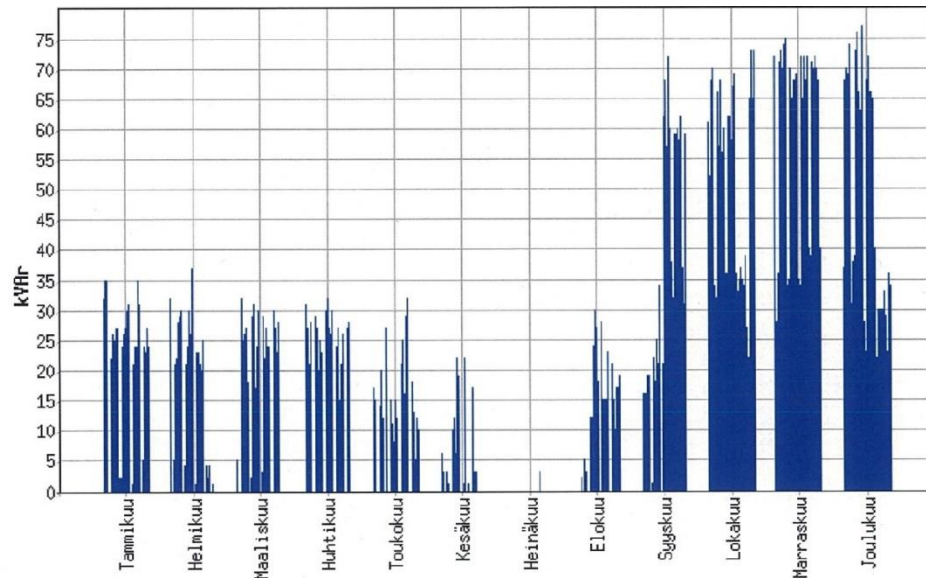
Sähköverkko ei kompensoituna

Report Date/Time		Page														
5.11.2014 22:36:53		128														
File Name																
MEAS 1 -- Kastarin Porsas_2014.fpq																
Date	Function	ANV/Min A(A) Min	ANV/Avg A(A) Avg	ANV/Max A(A) Max	BNV/Min B(A) Min	BNV/Avg B(A) Avg	BNV/Max B(A) Max	CNV/Min C(A) Min	CNV/Avg C(A) Avg	CNV/Max C(A) Max	NGV/Min N(A) Min	NGV/Avg N(A) Avg	NGV/Max N(A) Max	Total Min	Total Avg	Total Max
3.11.2013 10:05:12.572msec	Power Loss Total		2.719 k Wh	2.719 k Wh	2.956 k Wh	2.956 k Wh	2.741 k Wh	2.741 k Wh	2.741 k Wh	2.741 k Wh	8,8	8,8	8,8	3710 W	3730 W	3750 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Actual cost active		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Actual cost reactive		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Actual cost imbalance		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Actual cost harmonic		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Actual cost neutral		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Actual cost total		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Energy Loss Active		3247 W	3247 W	3247 W	3247 W	3247 W	3247 W	3247 W	3247 W				3247 W	3247 W	3247 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Energy Loss Reactive		174 Wh	174 Wh	174 Wh	174 Wh	174 Wh	174 Wh	174 Wh	174 Wh				174 Wh	174 Wh	174 Wh
3.11.2013 10:05:12.572msec	Energy Loss Imbalance		38 Wh	38 Wh	38 Wh	38 Wh	38 Wh	38 Wh	38 Wh	38 Wh				38 Wh	38 Wh	38 Wh
3.11.2013 10:05:12.572msec	Energy Loss Harmonic		1 Wh	1 Wh	1 Wh	1 Wh	1 Wh	1 Wh	1 Wh	1 Wh				1 Wh	1 Wh	1 Wh
3.11.2013 10:05:12.572msec	Energy Loss Neutral		63 Wh	63 Wh	63 Wh	63 Wh	63 Wh	63 Wh	63 Wh	63 Wh				63 Wh	63 Wh	63 Wh
3.11.2013 10:05:12.572msec	Energy Loss Total		351 Wh	351 Wh	351 Wh	351 Wh	351 Wh	351 Wh	351 Wh	351 Wh				351 Wh	351 Wh	351 Wh
3.11.2013 10:05:12.572msec	Accumulated Costs Active		0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Accumulated Costs Reactive		0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Accumulated Costs Imbalance		0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Accumulated Costs Harmonic		0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Accumulated Costs Neutral		0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Accumulated Costs Total		0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W				0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:12.572msec	Wh Forward		2.719 k Wh	2.719 k Wh	2.956 k Wh	2.956 k Wh	2.741 k Wh	2.741 k Wh	2.741 k Wh	2.741 k Wh				8,8	8,8	8,8
3.11.2013 10:05:12.572msec	Wh Reverse		0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh				0 k Wh	0 k Wh	0 k Wh
3.11.2013 10:05:12.572msec	K-Factor A		1,41	1,41	1,42	1,42	1,29	1,29	1,29	1,29				8,8	8,8	8,8
3.11.2013 10:05:12.572msec	THD W		0,98	0,97	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99				0,99	0,99	0,99
3.11.2013 10:05:12.572msec	K-Factor W		0,211	0,211	0,459	0,459	0,246	0,246	0,246	0,246				0,246	0,246	0,246
3.11.2013 10:05:12.572msec	PatMin		0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0
3.11.2013 10:05:12.572msec	Pat		0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0
3.11.2013 10:05:12.572msec	PhI		0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0
3.11.2013 10:05:12.572msec	Phst		0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Vpos		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %				0 %	0 %	0 %
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Vneg		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %				0 %	0 %	0 %
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Vzero		0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %				0,01 %	0,01 %	0,01 %
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Vvzo		0,01 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %				0,01 %	0,01 %	0,01 %
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Apos		226,96 V	227,17 V	225,57 V	225,57 V	228,84 V	228,63 V	228,63 V	228,63 V				228,63 V	228,63 V	228,63 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Aneg		391,92 V	392,32 V	393,59 V	393,59 V	393,87 V	393,84 V	394,2 V	394,2 V				394,2 V	394,2 V	394,2 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Azro		145,4 A	145,4 A	150,8 A	150,8 A	143,6 A	143,6 A	143,6 A	143,6 A				143,6 A	143,6 A	143,6 A
3.11.2013 10:05:12.572msec	Mains Signaling 1k		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %				0 %	0 %	0 %
3.11.2013 10:05:12.572msec	Mains Signaling 1V3s		0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V				0 V	0 V	0 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Mains Signaling 2%		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %				0 %	0 %	0 %
3.11.2013 10:05:12.572msec	Mains Signaling 2V3s		0,01 V	0,02 V	0,02 V	0,02 V	0,01 V	0,01 V	0,01 V	0,01 V				0,01 V	0,01 V	0,01 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Vrms ph-n		226,96 V	227,17 V	225,57 V	225,57 V	228,84 V	228,63 V	228,63 V	228,63 V				228,63 V	228,63 V	228,63 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Vrms ph-n		391,92 V	392,32 V	393,59 V	393,59 V	393,87 V	393,84 V	394,2 V	394,2 V				394,2 V	394,2 V	394,2 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Vrms ph-ph		145,4 A	145,4 A	150,8 A	150,8 A	143,6 A	143,6 A	143,6 A	143,6 A				143,6 A	143,6 A	143,6 A
3.11.2013 10:05:12.572msec	Frequency		50,019 Hz	50,023 Hz	50,026 Hz	50,026 Hz	50,023 Hz	50,023 Hz	50,023 Hz	50,023 Hz				50,023 Hz	50,023 Hz	50,023 Hz
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Vn		0,26%	0,26%	0,26%	0,26%	0,26%	0,26%	0,26%	0,26%				0,26%	0,26%	0,26%
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Vz		0,42%	0,42%	0,42%	0,42%	0,42%	0,42%	0,42%	0,42%				0,42%	0,42%	0,42%
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance An		2,22%	2,22%	2,22%	2,22%	2,22%	2,22%	2,22%	2,22%				2,22%	2,22%	2,22%
3.11.2013 10:05:12.572msec	Unbalance Az		4,13%	4,13%	4,13%	4,13%	4,13%	4,13%	4,13%	4,13%				4,13%	4,13%	4,13%
3.11.2013 10:05:12.572msec	THD V		0,98	0,97	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99				0,99	0,99	0,99
3.11.2013 10:05:12.572msec	THD A		326,9 V	327,1 V	325,5 V	325,5 V	328,8 V	330,4 V	330,4 V	330,4 V				330,4 V	330,4 V	330,4 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Peak Voltage		226,6 A	227,8 A	253,2 A	253,2 A	265,8 A	268,8 A	268,8 A	268,8 A				268,8 A	268,8 A	268,8 A
3.11.2013 10:05:12.572msec	Peak Current		227,1 V	227,2 V	225,4 V	225,4 V	225,9 V	225,9 V	225,9 V	225,9 V				225,9 V	225,9 V	225,9 V
3.11.2013 10:05:12.572msec	Fundamental Voltage		227,1 V	227,2 V	225,4 V	225,4 V	225,9 V	225,9 V	225,9 V	225,9 V				225,9 V	225,9 V	225,9 V

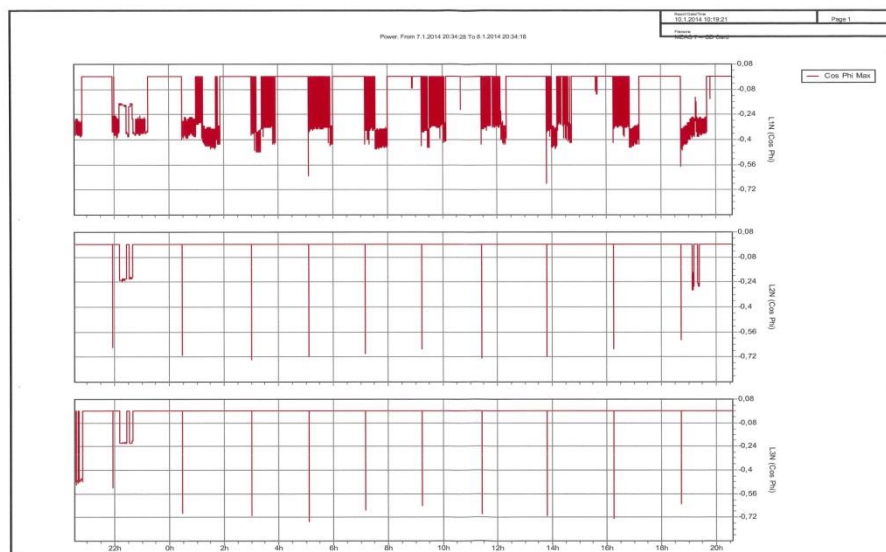
Report Date/Time		Page 127														
5.11.2014 22:36:53		MEAS 1 - Kaastarin Porsas_2014.fpq														
Filename																
Date	Function	ANSI Min A(A) Min	ANSI Avg A(A) Avg	ANSI Max A(A) Max	BNV Min B(A) Min	BNV Avg B(A) Avg	BNV Max B(A) Max	CNV Min C(A) Min	CNV Avg C(A) Avg	CNV Max C(A) Max	NSV Min N(A) Min	NSV Avg N(A) Avg	NSV Max N(A) Max	Total Min	Total Avg	Total Max
3.11.2013 10:05:17 572msec	V Crest Factor	1.44	1.44	1.44	1.45	1.46	1.46	1.45	1.45	1.45	327.67	327.67	327.67			
3.11.2013 10:05:17 572msec	A Crest Factor	1.54	1.56	1.58	1.59	1.6	1.63	1.46	1.47	1.52	1.61	1.62	1.64			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Overdeviation	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Underdeviation	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Half Cycle Voltage	226.91 V	227.35 V	227.47 V	225.56 V	226.03 V	226.26 V	228.35 V	228.8 V	228.93 V	0.02 V	0.02 V	0.02 V			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Half Cycle Current	144.4 A	146.6 A	155.2 A	158.5 A	160.6 A	166.9 A	143.7 A	143.7 A	152.3 A	72.3 A	72.6 A	72.6 A			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Active Power	27.65 kW	27.89 kW	28.72 kW	30.28 kW	30.53 kW	31.33 kW	28 kW	28.26 kW	29.11 kW	85.94 kW	86.67 kW	86.16 kW			
3.11.2013 10:05:17 572msec	W Fund	27.36 kW	27.6 kW	28.43 kW	30.01 kW	30.25 kW	31.05 kW	27.74 kW	27.69 kW	28.84 kW	85.14 kW	85.86 kW	85.34 kW			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Apparent Power	33.04 kVA	33.28 kVA	34.21 kVA	36 kVA	36.25 kVA	37.13 kVA	32.57 kVA	32.83 kVA	33.78 kVA	102.5 kVA	102.5 kVA	105.26 kVA			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Harmonic Power	6.49 kVA	6.51 kVA	6.54 kVA	7.4 kVA	7.49 kVA	7.55 kVA	5.55 kVA	5.59 kVA	5.63 kVA	19.63 kVA	19.63 kVA	19.83 kVA			
3.11.2013 10:05:17 572msec	VA Fund	32.39 kVA	32.64 kVA	33.59 kVA	35.22 kVA	35.46 kVA	36.37 kVA	32.08 kVA	32.35 kVA	33.31 kVA	100.46 kVA	100.46 kVA	103.28 kVA			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Unbalance Power	17.32 kvar	17.42 kvar	17.89 kvar	18.42 kvar	18.51 kvar	18.94 kvar	16.11 kvar	16.21 kvar	16.67 kvar	51.87 kvar	51.87 kvar	53.51 kvar	4860VA	4820VA	4990VA
3.11.2013 10:05:17 572msec	Reactive Power	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.84	0.85	0.85			
3.11.2013 10:05:17 572msec	PF	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW	0.001 kW
3.11.2013 10:05:17 572msec	DPF	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.85	0.85	0.86			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Cos Phi	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k	0.001 k			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Efficiency Factor	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Harmonic Pollution	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k	0.000 k			
3.11.2013 10:05:17 572msec	Active Load Unbalance													4180 W	4230 W	4290 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Reactive Load Unbalance													-121.24 °	-120.64 °	-120.64 °
3.11.2013 10:05:17 572msec	Power Loss Unbalance													3310 var	3340 var	3390 var
3.11.2013 10:05:17 572msec	Resistive Load Unbalance													-89.78 °	-89.02 °	-87.9 °
3.11.2013 10:05:17 572msec	Total Load Unbalance													0 VA	0 VA	0 VA
3.11.2013 10:05:17 572msec	Total Unbalance													0 VA	0 VA	0 VA
3.11.2013 10:05:17 572msec	Capacitive Load Unbalance													37.8 °	38.76 °	38.76 °
3.11.2013 10:05:17 572msec	Inductive Load Unbalance													0 var	0 var	0 var
3.11.2013 10:05:17 572msec	Capacitive Load Unbalance													3310 var	3340 var	3390 var
3.11.2013 10:05:17 572msec	Inductive Load Unbalance													0 °	0 °	0 °
3.11.2013 10:05:17 572msec	Active Load Unbalance													-89.78 °	-89.02 °	-87.9 °
3.11.2013 10:05:17 572msec	Reactive Load Unbalance													1800 W	1830 W	1940 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Power Loss Unbalance													670 W	680 W	770 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Power Loss Harmonic													10 W	10 W	10 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Power Loss Harmonic													900 W	920 W	940 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Power Loss Neutral													200 W	200 W	200 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Power Loss Total													3580 W	3640 W	3800 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Actual cost active													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Actual cost reactive													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Actual cost harmonic													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Actual cost unbalance													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Actual cost neutral													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Actual cost total													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Energy Loss Active													3138 W	3186 W	3327 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Energy Loss Harmonic													176 Wh	176 Wh	176 Wh
3.11.2013 10:05:17 572msec	Energy Loss Unbalance													39 Wh	39 Wh	39 Wh
3.11.2013 10:05:17 572msec	Energy Loss Harmonic													1 Wh	1 Wh	1 Wh
3.11.2013 10:05:17 572msec	Energy Loss Neutral													64 Wh	64 Wh	64 Wh
3.11.2013 10:05:17 572msec	Energy Loss Total													15 Wh	15 Wh	15 Wh
3.11.2013 10:05:17 572msec	Accumulated Costs Active													295 Wh	295 Wh	295 Wh
3.11.2013 10:05:17 572msec	Accumulated Costs Reactive													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Accumulated Costs Harmonic													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Accumulated Costs Unbalance													0 W	0 W	0 W
3.11.2013 10:05:17 572msec	Accumulated Costs Total													0 W	0 W	0 W

PERUSMITTAUKSIA

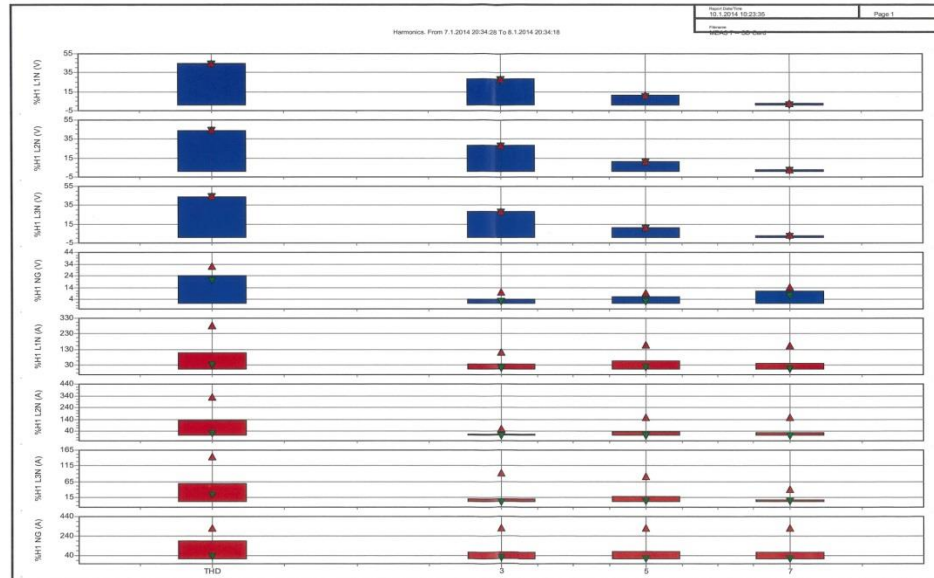
Seuraavissa kuvioissa esitellään yksittäisiä perusmittauksia, koska kokonaisvaltaisen mittaus pöytäkirjan esittely ei ole tässä mediassa mahdollista laajuutensa johdosta.



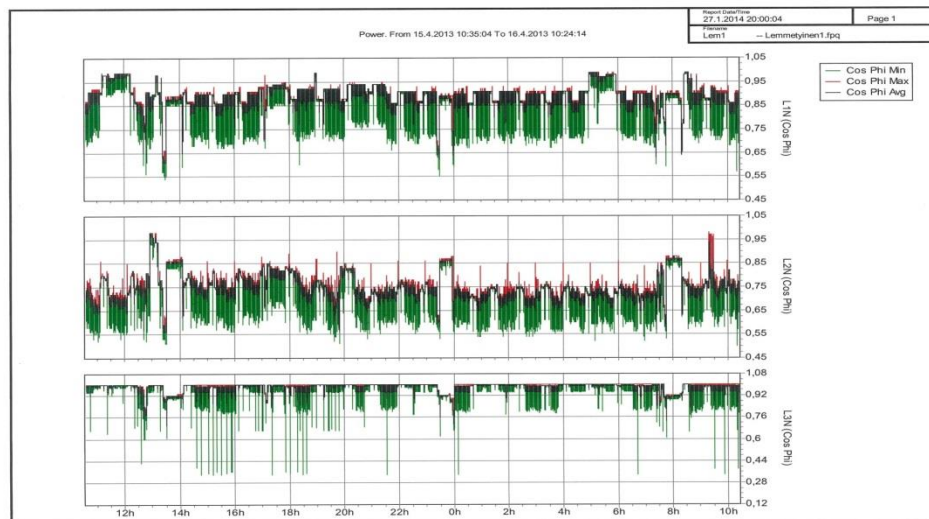
Loistehon mittaus, Hollolan Kunta koulurakennuksen kompensointiyksikkö on rikkoutunut syyskuussa 2013



Tehokertoimen lyhytaikainen mittaus, huomaa ilmastoinnin piikit.



Harmonisten yliaaltojen perusmittaus, 3.aalto(150 Hz) selkeästi haitallisin.



Sikalan vuorokauden mittainen tehokerroinarvon otanta, kuviossa tulee selkeästi esille 1-vaiheinen ilmastoinnin ohjaus sekä ruokintalaitteiston käynnisty piikit.

ESIMERKKI SÄHKÖLAITOKSEN SÄHKÖN LAADUN MITTAUKSESTA

LIITE 7



Kymenlaakson Sähkö
Seppo Suurinkeroinen

MUISTIO

1(2)

23.1.13

Ferroplan Oy
Takojan tie 4
16300 ORIMATTILA

MITTAUSRAPORTTI

Kohde: Teollisuus
Muuntopiiri: 3703/05
Mittauksen syy: Kompensoinnin mitoitus
Analysaattori: Fluke F1744
Mittauskohta: Mittauskeskus
Mittausajankohta: 7.1. – 14.1.2013

Yleistä

Yleiset jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet määritellään standardissa SFS-EN 50160.

Jännitteen vaihtelut (Nimellisjännite $U_n = 230$ V)

"Normaaleissa käyttöolosuhteissa, liittymispisteessä, pois lukien vikatapaukset ja keskeytykset, kaikkien jakelujännitteiden tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä $U_n +10/-15$ %" (252 - 195,5 V). Kuitenkin niin, että viikon aikana 95 % ajasta tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä $U_n +10/-10$ % (252 - 207 V).

Jännitekuopat Jännitekuoppia ovat suuremmat, kuin -10 % jännitemuutokset.

Niitä syntyy asiakkaiden verkkojen kuormituksen muutoksista sekä syöttävän verkon oikosulkujen seurauksena.

Välkyntä kuvaa hehkulampun valon vilkkumista. Ilmiön häiritsevyyttä on riippuvainen jännitevaihtelun suuruudesta sekä vaihtelutaajuudesta. Välkyntää voi esiintyä jo alle 1 V jännitevaihtelulla. Välkyntää aiheuttavat yleensä asiakkaiden kuormitukset, välkyntäarvoissa on mukana em. jännitekuopat. Välkyntälle ei standardissa anneta raja-arvoja, suositusraja (arvo 1) muodostetaan mittauksista laskennan avulla.

Epäsymmetria on tilanne, jossa vaihejännitteet ovat eri tasoilla. Sitä aiheuttavat asiakkaiden yksivaiheiset kuormitukset, jotka on ryhmitelty epätasaisesti eri vaiheille.

MITTAUSTULOKSET

Liite 1. Graafinen yhteenveto mittausajalta

Liite 2. Jännitemittaus SFS-EN 50160 standardin mukaisesti. Jännitteiden ja virtojen 10 min jaksojen keskiarvot. Jännitteet yläosassa, asteikko vasemmalla, keskiarvovirrat alaosassa, asteikko oikealla.

Liite 3. Minimijännitteet sekä maksimivirrat. Käyrissä näkyvät 0,01 s keskiarvoina jännitteen alimmat arvot sekä virran maksimiarvot 10 min jaksojen aikana. Virta-arvot taulukon alaosassa, asteikko oikealla.

KYMPPIVOIMA

Kymenlaakson Sähkö Oy
Katuosoite
Yhdystie 7, 47200 ELIMÄKI

Y-tunnus 0128951-2
Postiosoite
PL 9, 47201 ELIMÄKI

Kymenlaakson Sähköverkko Oy
Puhelin
(05) 778 01

Faksi
(05) 778 0241

Y-tunnus 2058585-1
Web-osoite
www.kymenlaaksonsahko.fi

Sähköposti
etunimi.sukunimi@kymenlaaksonsahko.fi



Kymenlaakson Sähkö
Seppo Suurinkeroinen

MUISTIO

2(2)

23.1.13

Liite 4. Kokonaispätö- ja loistehot.

Liite 5. Kokonaisloisteho ja jännitesäröt vaiheittain

Liite 6. Virran säröt vaiheittain.

Liite 7. Graafinen yhteenveto mittausajalta, vastaava, kuin liite 1. (Alkupään häiriö rajattu pois)

Liite 8. Jänniteylijältojen jakaumat. (Alkupään häiriö rajattu pois)

Yhteenveto

Syöttävä verkko on jäykkä asiakkaalle, oikosulkuvirrat liittymässä ovat 1~ noin 6 kA ja 3~ noin 8 kA.

Kompensointi oli pois päältä 8.1. klo 17.00 alkaen, mikä näkyy liitteessä 4 loistehojen selvä nousu seuraavana päivänä.

Mittausjakson alussa on L1-vaiheen jännitteessä ollut jännitekuoppia klo 13.22 – 13.50 välisenä aikana (486 kpl), mikä näkyy liitteessä 3 jännitteen ajoittaisena putoamisena minimissään alle 170 V.

Jännitekuoppien syy ei ole selvillä, koska 20 kV verkon puolella ei ole tapahtumia, eikä pj-verkossa ole ollut vikaa jota olisi käyty korjaamassa. Mahdollisia aiheuttajia voisivat olla jännitemittajohdon liikkuminen ko. vaiheella, jolloin kosketus olisi huonontunut, tai jossain pj-verkossa olisi huono liitos tai pj-verkossa jollain olisi ollut kiinteistössä 1~oikosulku.

Loppumittauksen aikana ongelmaa ei ole esiintynyt. Kyseisen ajan tapahtuma on vaikuttanut mitaustuloksiin, jotka näkyvät Graafisessa yhteenvedossa tapahtumien, ylijältojen ja välkyntien kohonneina pilareina.

Mittaustulosten perusteella jännite liittymispisteessä täyttää standardin vaatimukset.

Toimenpiteet: Loistehon kompensointiin suosittelemme estokelalla varustettua automatiikkapari-ristoa. Liitteestä 5 on havaittavissa että harmoniset säröt ovat suuremmat kompensoinnin ollessa päällä, jolloin nykyinen kompensointi vahvistaa (resonoi) jännitteen ja virran säröytymistä.

Mikäli välkyntää jatkossa ilmenee yhdellä vaiheella, pyydämme ottamaan yhteyttä käyttöön (05 7780 222), jolloin voisimme poissulkea mahdollisen liitinvian.

Kymenlaakson Sähköverkko Oy
Verkkopalvelut

Seppo Suurinkeroinen
Sähkölaatuasiantuntija

Puh. 05-7780 242
Gsm 040-540 5177
seppo.suurinkeroinen@ksoy.fi

KYMPPIVOIMA

Kymenlaakson Sähkö Oy
Katuosoite
Yhdystie 7, 47200 EIJMÄKI

Y-tunnus 0128951-2
Postiosoite
PL 9, 47201 EIJMÄKI

Kymenlaakson Sähköverkko Oy
Puhelin
(05) 778 01

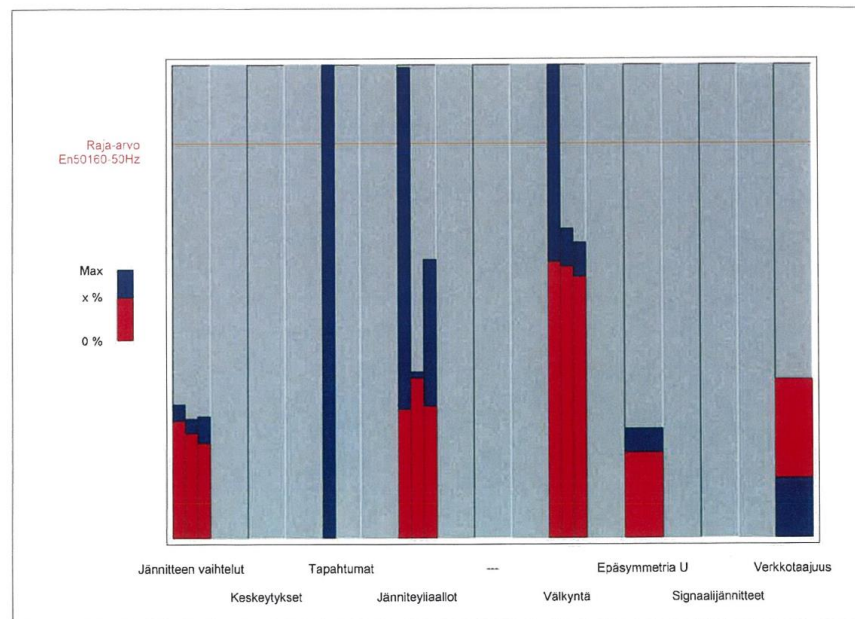
Faksi
(05) 778 0241

Y-tunnus 2058585-1
Web-osoite
www.kymenlaaksonsahtko.fi

Sähköposti
etunimi.sukunimi@kymenlaaksonsahtko.fi

Graafinen yhteenveto

Loggeri	404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
Mittausdata	H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittausu...\Ferroplan Oy.PQL
Mittaustoiminto	A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)
Yritys:	Kymenlaakson Sähköverkko Oy
Osasto:	Verkkopalvelut
Lähtö:	
Muuntamo:	3703/05
Mittaustunnus:	Ferroplan Oy
Mittausajanjakso	Ma, 7.1.2013 13:06:10 - Ma, 14.1.2013 15:04:55
Mittauksen segmentit	Ei ohjelmoitu
Mittausjaksot	10 Minuutit, Suora
Nimellisjännite	230 V
Mittausalue	230 V, P-N, 50 Hz
Jännitemuuntaja	-
Min-Max-arvo	0.5 jaksoa
Epäharmosten määrä	Ei ohjelmoitu
Tallenna tapahtumina	-10.00/+10.00% of 230 V
Tapahtumamuistintyyppi	Kierto
Hystereesi:	0.00 %
Raja-arvotiedosto	C:\Program Files\FIuke\PQ Log\En50160-50Hz.gwd



2

23.1.2013

Sivu 1

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy

PQ Log Versio 2.2

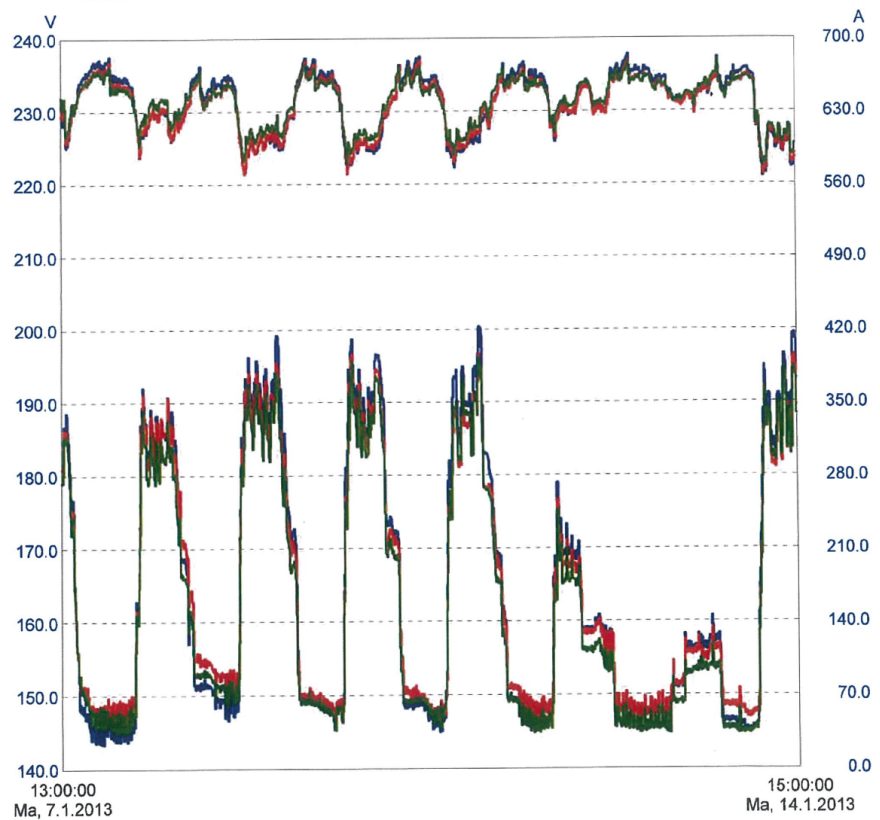
Aikatason kaavio

Loggeri 404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
 Mittausdata H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittaustu...\Ferroplan Oy.PQL
 Mittaustoiminto A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy
 Osasto: Verkkopalvelut
 Lähtö:
 Muuntamo: 3703/05

Mittaustunnus: Ferroplan Oy

Mittaus	Skaalaus 0 %	Skaalaus 100 %	Yksikkö
U keskiarvo L1	140.00	240.00	V
U keskiarvo L2	140.00	240.00	V
U keskiarvo L3	140.00	240.00	V
I keskiarvo L1	0.0	700.0	A
I keskiarvo L2	0.0	700.0	A
I keskiarvo L3	0.0	700.0	A



23.1.2013

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy

Sivu 1

PQ Log Versio 2.2

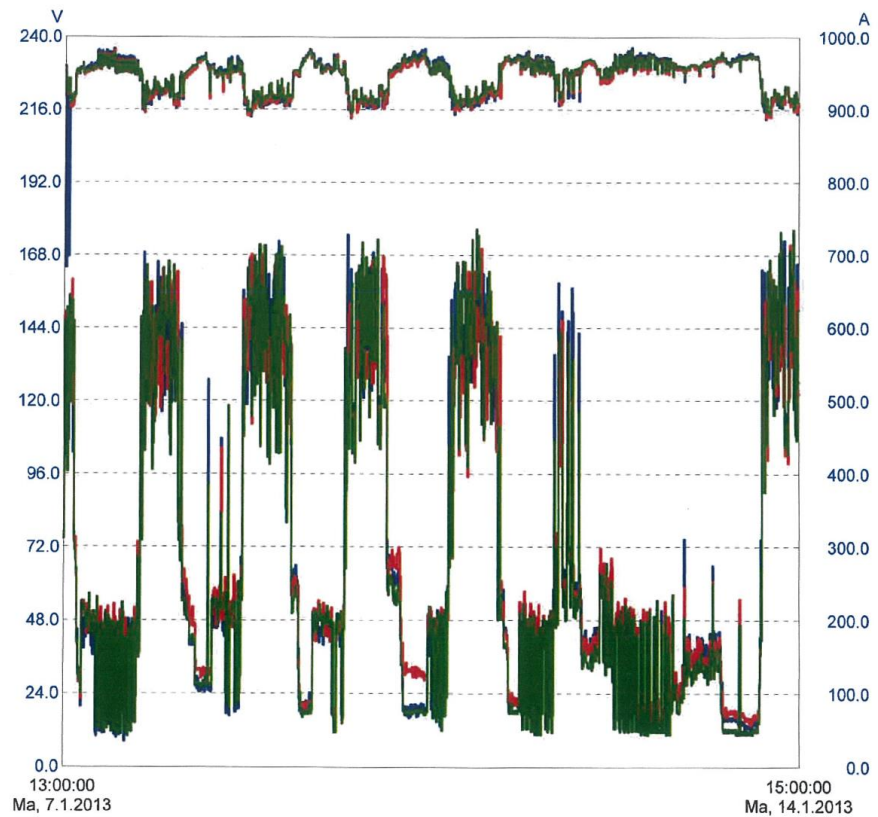
Aikatason kaavio

Loggeri 404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
 Mittausdata H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittaustu...\Ferroplan Oy.PQL
 Mittaustoiminto A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy
 Osasto: Verkkopalvelut
 Lähtö:
 Muuntamo: 3703/05

Mittaustunnus: Ferroplan Oy

Mittaus	Skaalaus 0 %	Skaalaus 100 %	Yksikkö
U min L1	0.00	240.00	V
U min L2	0.00	240.00	V
U min L3	0.00	240.00	V
I max L1	0.0	1000.0	A
I max L2	0.0	1000.0	A
I max L3	0.0	1000.0	A





23.1.2013

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy

Sivu 1

PQ Log Versio 2.2

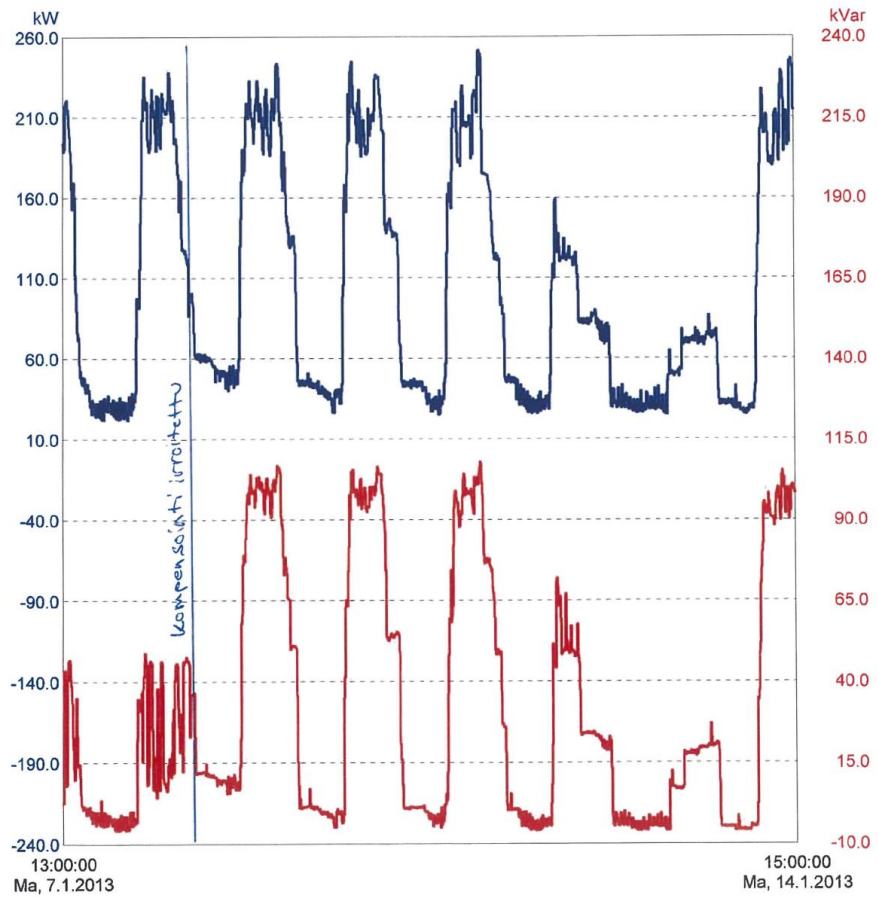
Aikatason kaavio

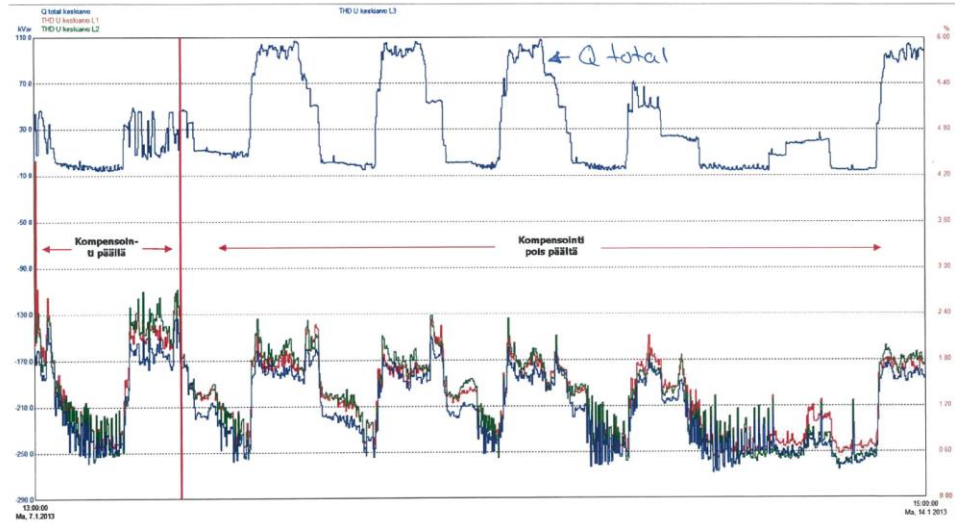
Loggeri 404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
 Mittausdata H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittausu...\Ferroplan Oy.PQL
 Mittaustoiminto A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy
 Osasto: Verkkopalvelut
 Lähtö:
 Muuntamo: 3703/05

Mittaustunnus: Ferroplan Oy

Mittaus	Skaalaus 0 %	Skaalaus 100 %	Yksikkö
P total keskiarvo	-240.00	260.00	kW
Q total keskiarvo	-10.00	240.00	kVar





5

Aikatason kaavio

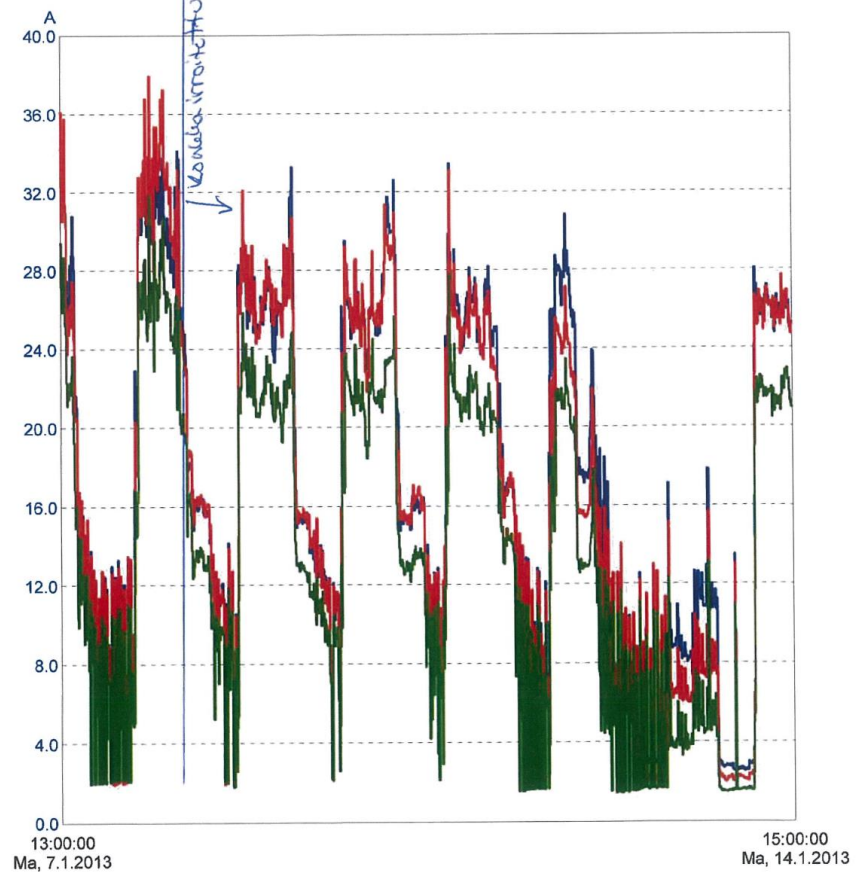
Loggeri 404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
 Mittausdata H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittausu... \Ferroplan Oy.PQL
 Mittaustoiminto A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)

Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy
 Osasto: Verkkopalvelut

Lähtö:
 Muuntamo: 3703/05

Mittaustunnus: Ferroplan Oy

Mittaus	Skaalaus 0 %	Skaalaus 100 %	Yksikkö
THDI (A) L1	0.0	40.0 A	
THDI (A) L2	0.0	40.0 A	
THDI (A) L3	0.0	40.0 A	





23.1.2013

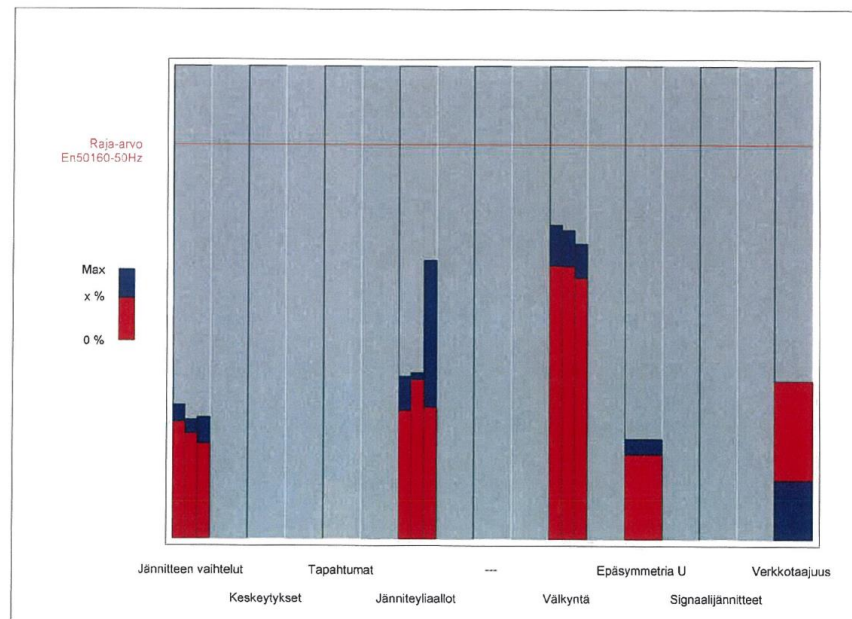
Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy

Sivu 1

PQ Log Versio 2.2

Graafinen yhteenveto

Loggeri	404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
Mittausdata	H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittausu...\Ferroplan Oy.PQL
Mittaustoiminto	A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)
Yritys:	Kymenlaakson Sähköverkko Oy
Osasto:	Verkkopalvelut
Lähtö:	
Muuntamo:	3703/05
Mittaustunnus:	Ferroplan Oy
Mittausajanjakso	Ma, 7.1.2013 15:06:10 - Ma, 14.1.2013 15:04:55
Mittauksen segmentit	Ei ohjelmoitu
Mittausjaksot	10 Minuutit, Suora
Nimellisjännite	230 V
Mittausalue	230 V, P-N, 50 Hz
Jännitemuuntaja	-
Min-Max-arvo	0,5 jaksoa
Epäharmonisten määrä	Ei ohjelmoitu
Talenna tapahtumina	-10.00/+10.00% of 230 V
Tapahtumamuistin tyyppi	Kierto
Hystereesi:	0.00 %
Raja-arvotiedosto	C:\Program Files\Fluke\PQ Log\En50160-50Hz.gwd





23.1.2013

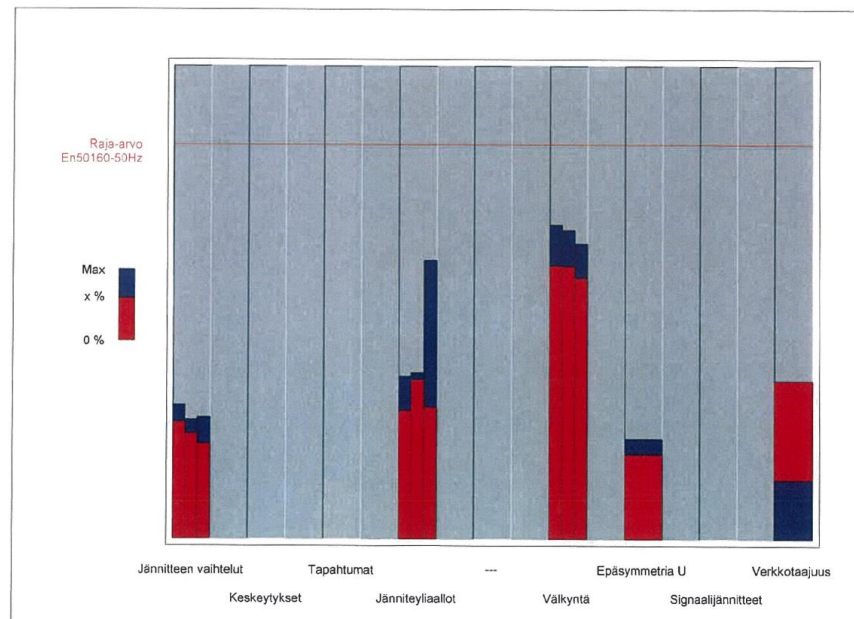
Yritys: Kymenlaakson Sähköverkko Oy

Sivu 1

PQ Log Versio 2.2

Graafinen yhteenveto


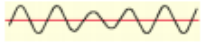
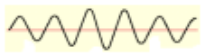
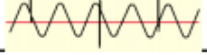
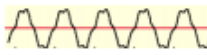
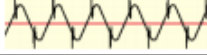
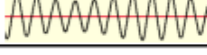
Loggeri	404b 50/60Hz F1744, Sarjanumero: 21240CA/X4
Mittausdata	H:\Verkko\Siirto ja mittaus\5 SÄHKÖN LAATU\Mittausu...\Ferroplan Oy.PQL
Mittaustoiminto	A (230 V, P-N, 50 Hz; 1500 A; 150 A)
Yritys:	Kymenlaakson Sähköverkko Oy
Osasto:	Verkkopalvelut
Lähtö:	
Muuntamo:	3703/05
Mittaustunnus:	Ferroplan Oy
Mittausajanjakso	Ma, 7.1.2013 15:06:10 - Ma, 14.1.2013 15:04:55
Mittauksen segmentit	Ei ohjelmoitu
Mittausjaksot	10 Minuutit, Suora
Nimellisjännite	230 V
Mittausalue	230 V, P-N, 50 Hz
Jännitemuuntaja	-
Min-Max-arvo	0,5 jaksoa
Epäharmonisten määrä	Ei ohjelmoitu
Talenna tapahtumina	-10.00/+10.00% of 230 V
Tapahtumamuistin tyyppi	Kierto
Hystereesi:	0.00 %
Raja-arvotiedosto	C:\Program Files\FIuke\PQ Log\En50160-50Hz.gwd



SÄHKÖNJAKELUN LUOTETTAVUUTEEN JA LAATUUN LIITTYVÄT KESKEISIMMÄT ONGELMAT JA NIIDEN SYYT

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>

(22.10.2014)

Häiriötyyppi	Kuvaus	Mahdolliset syyt
Sähkön jakelun katkos (> 1min)		Huoltotoimet, linjaviat, onnettomuudet, sää, tuuli, salamät, jää
Pitkäaikainen ylijännite		Pieni kuormitus, huono säätö
Pitkäaikainen alijännite		Raskas kuorma, voimakkaat kuormitushuiput, ei loistehonsäätöä, huono tehokerroin
Hetkelliset katkokset		Katkaisijoiden laukeaminen, vian selvitystilanne, syötön vaihto
Jännitekuopat		Suurien kuormien kytkentä, hetkelliset viat, katkaisijoiden toiminta, induktiiviset kuormat
Hetkelliset ylijännitteet		Piirin kapasitanssi, suurten kuormien poiskytkentä, vaihevika
Transienttijännitteet		Valaistus, kapasitiivien kytkentä, virtasuojan laukeaminen, epälineaariset kuormat, häiriöt
Harmoniset virran yliaallot		Epälineaariset komponentit, korkeataajuiset kytkennät, TV, tietokoneet, valaistus, huono tehokerroin, laitteiden aiheuttama signaalihäiriö
Jaksolliset häiriöt (t < 0,5 sykliä)		Tehoelektroniikkalaitteet
Välkyntä		Eritaajuinen jännitteen vaihtelu, valaistus, loistehon vaihtelu
Jännite-epätasapaino		Epätasainen kuormitus, kompensointikondensaattorit, moottorit