

Denis Radin

# Maatilan sähköenergian laadun ja sähkölaitteiston kunnon selvitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

4.4.2018

Tekijä(t) Otsikko	Denis Radin Maatilan sähköenergialaadun ja sähkölaitteiston kunnan selvitys.
Sivumäärä Aika	34 sivua + 2 liitettä 9 sivua 4.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Kai Virta
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Siuntiossa sijaitsevan maatilan sähkölaitteiston sähkön laatua mittaamalla SFS-EN 50160 -standardin mukaisesti yhden viikon ajan yhtämittaisesti Chauvin Arnoux PEL 103 -teho- ja sähköloggerilla ja analysoida kerätty tieto. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, minkälaisessa kunnossa ovat tilan sähköasennukset ja miten hyvin asennukset täyttävät SFS 6000 -standardit. Pääpaino opinnäytetyössä oli sähkön laadun analysoimisessa käytännönläheisesti.</p> <p>Maatila käsittää kaksi asuinrakennusta, konehallin, kaksi kuivuria ja ison hevostallin. Tilaa on laajennettu aikojen saatossa isommaksi ja lisätty sähköistystä, sekä päivitetty sähköasennuksia tämän päivän vaatimusten mukaisiksi.</p> <p>Opinnäytetyössä suoritettiin kaksi sähkön laatumittausta kahtena eri kertana. Mittaukset suoritettiin PEL 103 -tehoanalysointilaitteella. Mittaustulokset täyttivät SFS-EN 50160-sähkönlaatustandardin asettamat rajat kaikissa mittauksissa paitsi vinokuormassa. Mittaustuloksia analysoitaessa huomattiin, että tilassa on huomattavan paljon epätasaista kuormitusta vaiheiden välillä.</p>	
Avainsanat	Sähkön laadun mittaaminen, sähkön laatu

Author(s) Title	Denis Radin Clarification of the Condition of the Farm's Electrical Energy and Electrical Equipment.
Number of Pages Date	34 pages + 2 appendices 4 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Kai Virta, Senior Lecturer, M.sci.
<p>The purpose of this study was to determine the quality of the electricity of the farm electrical equipment by continuously measuring with the Chauvin Arnoux PEL 103 power and electric logger for a week, in accordance with the SFS-EN 50160 standard, and analyzing the collected data. Another purpose was to find out what kind of condition the electrical installations are in, and how well the installations meet the SFS 6000 standards. The main emphasis in the thesis is to pragmatically analyze the quality of electricity, without much questioning the theory.</p> <p>The farm / horse stable comprises two residential buildings, a machine hall, two dryers and a big horse stable. Space has been expanded over time and electrification has been increased. Electrical installations have been upgraded to meet today's requirements.</p> <p>In the thesis two electricity quality measurements were carried out in two different times. The measurements were performed with a PEL 103 power analyzer. The measurement results met the limits set by the SFS-EN 50160 electrical quality standard for all measurements except for anchor load. When analyzing the measurement results, it was noticed that there is a considerably uneven load between the phases.</p>	
Keywords	Analysis of electrical quality, electrical quality

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Insinööriyön tavoitteet	2
3	Sähkön laatu	3
3.1	Sähkön laadun merkitys kuluttajalle	3
3.2	Sähkön laadun mittaus	5
3.3	Standardien tai suositusten mukainen laatu	6
4	Mitatut arvot	9
4.1	Jännite (U)	9
4.2	Sähköverkon taajuus yleisesti	11
4.3	Virta (I) ja pätöteho (P)	13
4.4	Yliaallot	15
4.5	Sähköenergian kulutus	20
5	Jälkimittaus	26
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

### Liitteet

Liite 1. Analysaattori PEL 103 Chauvin Arnoux

Liite 2. Jälkimittaustulokset

## Lyhenteet

A	Ampeeri
CA	Chauvin Arnoux
F	Taajuus
Hz	Herzi
I	Virta
P	Pätöteho
PEL 103	Tehon ja energian rekisteröijä/mittari
Q	Loisteho
RMS	Root Mean Square, vaihtovirran käyttämä työmäärä tasavirran vastaavalla arvolla suorittamasta työmäärästä
S	Näennäisteho
U	Jännite
V	Voltti
VA	Volttiampeeri
VAR	Vari
W	Watti

## 1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on Siuntiossa sijaitsevan maatalan energiankulutuksen ja sähkölaitteiston kunnan selvitys. Kyseessä on vanhahko maatila, johon kuluvat omakotitalo, verstaas ja suurehko hevostalli. Tilalla on aikojen kuluessa tehty laajennustöitä, myös sähkötöiden osalta.

Sähkölaitteistoa on lisätty ja päivitetty tarpeen ja kunnan mukaan. Sähkölaitteisto täyttää nykyvaatimukset. Vanhimmat asennukset ovat 1980-luvulta ja ovat vielä hyvässä kunnossa. Tilan liittymän sähköt kulkivat vuosi sitten ilmateitse. Sähköjakeluyhtiö päivitti sähkön syötön maan alle maakaapeleita käyttäen, mikä vähentää sähkökatkoja ja tuo varmuutta loppukäyttäjälle.

Valaistuksessa on käytössä erilaisia ratkaisuja, kuten monimetallilamppuja, suurpainenatriumlamppuja, LED-lamppuja, loisteputkivalaisimia ja hehkulamppuja.

Energianlaadun mittauksilla selvitetään kiinteistön sähkön laatu Chauvin Arnoux PEL 103 -analysointilaitteella. Lisäksi suoritetaan aistinvarainen tarkastus sähkölaitteiston kunnosta, sekä tarkastetaan käytössä olevien järjestelmien käytettävyyttä. Sähkön ominaisuuksia ja laatua mitattiin viikon yhtäjaksoisessa jaksossa standardin SFS EN-50160 mukaisesti.

Tässä työssä ei syvennyttä yliaaltojännitteisiin vaan mitataan THD (Total Harmonic Distortion), joka kuvastaa jännitteen siniaallon kokonaissäröytymistä. Jännitteen kokonaissäröytymisen mittauksilla saa hyvän kuvan, onko yliaaltoja haitaksi asti. Yksittäiset yliaallot mitattiin toisessa mittauksessa sen jälkeen, kun oli tutkittu ensimmäisiä mittauksia.

Silmämääräisessä tarkastuksessa on pyritty huomioimaan sähkölaitteiston, käytettävyys ja turvallisuus loppukäyttäjää huomioon ottaen.

Lähteinä käytettiin ST-kortistoja, ST-käsikirjoja, alan kirjallisuutta ja koulusta saatua oppimateriaalia.

## 2 Insinöörityön tavoitteet

Insinöörityön tavoitteena on oppia enemmän sähkön laadun mittauksista. Työn tavoitteena on oppia hyvä lähestymistapa, miten mitata ja mitä suureita on järkevää mitata, vai onko järkevää mitata mitään. Erilaisille kohteille ja ihmisille ovat erilaiset tarpeet. Ihmisillä on eri lähtökohdat tietämyksen, käyttötarpeen ja osaamisen suhteen.

Sähkön kanssa ei niin paljoa tekemisissä olevat ihmiset eivät välttämättä tiedosta kuinka tärkeää on hyvä sähkön laatu ja mitä se tarkoittaa heidän käyttämilleen laitteistoille. Huono sähkön laatu heikentää sähkölaitteistoa, rikkoo sähkölaitteistoa, aiheuttaa ylimääräistä sähkön kulutusta ja pahimmassa tapauksessa saattaa aiheuttaa henkilövahinkoja. Mittauksilla voi loppukäyttäjä saada varmuutta oman sähkölaitteistonsa käyttökunnosta.

Oikealla tavalla tehdystä mittauksesta ja sähkölaitteiston tarkastuksesta on maallikolle hyötyä sähkölaitteiston kunnossapitoa, turvallisuutta ja taloudellisuutta ajatellen. Rikkinäiset sähkölaitteet on mahdollista paikallistaa ennen kuin tulee isompia vahinkoja.

Tarkoituksena on oppia käyttämään oikein käytettävissä olevia mittalaitteita, ohjelmistoja, standardeja ja tulkitsemaan mitattavat asiat oikein. Väärillä mittauksien analyysillä voi mahdollisesti alkaa korjaamaan asioita, jotka ei todellisuudessa vaadi korjausta.

Hyvällä sähkön laadun analyysillä on vaikutuksia turvallisuuteen sekä mahdollisiin tuleviin lisäinvestointeihin. Tarkoituksena on ottaa huomioon suunnittelu tulevaisuutta varten sekä taloudellisesta näkökulmasta että turvallisuuteen ja käytettävyyteen nojaten.

Tavoitteena on oppia tekemään hyvä sähkön laadun mittaus, joka palvelee loppukäyttäjää. Sen on oltava johdonmukainen ja tarpeellinen.

### 3 Sähkön laatu

#### 3.1 Sähkön laadun merkitys kuluttajalle

Sähkön saatavuus ja sähkön laatu mahdollistavat nykyisen elämäntyylin ja ovat toimivuuden kannalta välttämättömiä jokapäiväisessä elämässä. Tänä päivänä monet laitteet toimivat sähköllä ja ovat riippuvaisia oikeasta sähkön laadusta toimiakseen oikein. Erilaisia sähkölaitteita valmistetaan ja ostetaan yhä enemmän ihmisten sekä eläinten tarpeita varten. Laitteet tulevat yhä hienommiksi ja herkemmiksi, mikä aiheuttaa sähkön laadulle yhä suurempaa tarvetta olla laadukasta.

Jotta laitteet toimisivat oikein, on sähkön laadulle asetettu yleiset normit. Kansainvälisellä ja kansallisella tasolla sähkön laadulle on asetettu tietyt käytännön standardit, jotka on aikojen saatossa koettu hyväksi sähkön jakelussa, käytössä ja tuotannossa. Suomessa noudatetaan kansallista standardia SFS-EN 50160.

Sähkön käytössä voi syntyä ongelmia monista eri syistä, kuten yliaalloista, jännitetason vaihteluista, sekä yleisemmin jännite- ja virtapiikeistä. Sähkön laatua valvotaan eri tasoilla ja pyritään optimaaliseen jakeluun. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1.)

Kuluttajien näkökulmasta yleisimmät ongelmat ilmenevät kohonneina loistehomaksuina, toimintahäiriöinä ja laitevaurioina. Magneettikenttien lisääntynyt määrä aiheuttaa erilaisten näyttöjen välkyntää. Uusia laitteita hankittaessa kannattaa ottaa huomioon sähkön laatuasioita sekä kuormitusta verkossa. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1.)

Yleisimmät häiriöilmiöt:

Häiriöiden kaksi päätyppiä jaetaan galvaanisesti ja sähkömagneettisesti johtuviin. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1.)

Galvaanisesti häiriöt:

Pitkittäiset ja poikittaiset transientit, jännitetason vaihtelut ja epäsymmetria, yliaaltovirrat ja yliaaltojännitteet, maadoitusviat ja jännitekatkot. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1.)



Sähkömagneettiset häiriöt:

Virtojen aiheuttamat magneettikentät, jännitteiden aiheuttamat radiotaajuiset häiriöt ja sähkökentät. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1.)

Galvaaniset häiriöt ovat helpommin havaittavissa, mitattavissa ja eliminoimisessa. Sähkömagneettisesti johtuvat viat vaativat enemmän aikaa ja ovat hankalampia käsitellä. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1.)

Sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat taajuusmuuttajat, epälineaarinen kuormitus, purkauslamppuvalaistus sekä tasasähkökäytöt. Uusien laitteiden sisältämä hienempi elektroniikka sietää huonommin häiriöitä. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 1-2.)

Erilaiset vialliset laitteet paljastavat sähkön laadun ongelmia.

Yleisimmät laitevauriot aiheutuvat sähkölaitteiden vanhenemisesta, valmistus- ja asennusvirheistä ja virheellisestä käytöstä. Huono sähkön laatu näkyy erilaisissa sähkölaitteissa monenlaisena ongelmana:

- Verkon resonanssit ja yliaallot tuhoavat kompensointikondensaattoreita ja saattavat polttaa niiden sulakkeita. (Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen 2006: 1.)
- Alhaisista jännitetasoista johtuen järjestelmiin tulee ylivirtoja, jotka aiheuttavat termisiä vaurioita ja sähkömoottoreiden ylikuumenemisiä. (Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen 2006: 1.)
- Yliaallot aiheuttavat sähkömoottoreille epätavallisia ääniä, värinää, sekä sähkömoottoreita vaurioittavia häiriövirtoja. (Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen 2006: 1.)
- Transientit ja ylijännitteet aiheuttavat harmia lähinnä elektroniikkalaitteille vahingoittaen niiden tehonsyöttöyksiköitä, häiriönsuodattimia ja kondensaattoreita. (Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen 2006: 1.)

- Jännitetason vaihtelun voi huomata silmämääräisesti valaistustason muutoksen ilmenemisenä. (Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen 2006: 1.)

### 3.2 Sähkön laadun mittaus

Sähkön mittaamisella on hyvä tarkastaa rakennuksen sähkön laatu sekä mahdollisesti laatua heikentävät tekijät. Sähkön laadulle ja pienjännitteen ominaisuuksille on asetettu tietyt raja-arvot, jotka on määritelty standardissa SFS-EN 50160. Taulukossa 1 on esitetty määritetyt rajat.

Taulukko 1. SFS-EN 50160 raja-arvot pienjännitteelle.

Suure	Tunnus	Standardin raja-arvot	Vaadittu aika / %
Taajuus, minimi 2	fmin	49,5 Hz	99,5 & /a
Taajuus, maksimi 2	fmaks	50,5 Hz	99,5 & /a
Taajuus, minimi	fmin	47,0 Hz	100 %
Taajuus, maksimi	fmaks	52,0 Hz	100 %
Jännitetaso, min 3	Umin	207 V	95 %
Jännitetaso, maks 4	Umaks	253 V	95 %
Jännitetaso, min 3	Umin	196 V	100 %
Jännitetaso, maks 4	Umaks	253 V	100 %
Välkynnän häiriö indeksi max	Pit.maks	≤ 1,0	95 %
Kokonaissärö, jännite	THD	8,0 %	95 %
3. yliaaltojännite	Uhar 3.	5,00 %	95 %
5. yliaaltojännite	Uhar 5.	6,00 %	95 %
7. yliaaltojännite	Uhar 7.	5,00 %	95 %
9. yliaaltojännite	Uhar 9.	1,50 %	95 %
11. yliaaltojännite	Uhar 11.	3,50 %	95 %
_ . Yliaaltojännite 5	Uhar _.	___ %	95 %
Signaalijännite 6	___ kHz	___ %	99 %
Jännite-epäsymmetria 7	UuSh.	2,00 %	95 %

Sähkön laadun mittaukset suositellaan suorittavaksi 10 minuutin jaksoissa yhden viikon ajan. Sähkön laadun mitattavista perussuureista on hyvä olla mukana vaihevirrat, PEN-, N- ja PE-johtimien virrat, sekä pää- ja vaihejännitteet. Kuntotutkimuksissa on hyvä olla

mukana myös tehojen (P, Q, S), energian, sekä harmonisten yliaaltojen mittaaminen. (Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen 2006: 4.)

Kiinteistöä mitattiin standardin SFS-EN 50160 mukaisesti yhden viikon ajan 10 minuutin jaksoissa 8.3.-15.3.2017 pääkeskukselta niin, että koko tilan sähköt mitattiin yhdellä kertaa. Mittauksissa käytettiin Chauvin Amoux PEL 103 teho- ja energiamittaria, jolla voidaan mitata vaihejännitteet (U), pääjännitteet (U), virrat (I), taajuus (f), pätöteho (P), näennäisteho (S), loisteho (Q), sekä THD, eli harmoniset yliaallot.

### 3.3 Standardien tai suositusten mukainen laatu

Kansallisten standardien ja suositusten mukaan Suomessa ja monissa muissakin Euroopan maissa sähkön laatu määritellään pääasiassa jännitteestä. Näissä maissa standardit pohjautuvat suurimmaksi osaksi EN-50160-standardiin ja sen eri maiden kansallisiin sovelluksiin.

Laatuhäiriöitä paikallistaakseen tulee ottaa huomioon myös virran laatu. Sähkön laatu kannattaa tarkastaa tapauskohtaisesti joko kokonaisuutena tai sähkölaitteistokohtaisesti. Eri laatutekijöille mittaustulosten arviointiin voidaan käyttää määriteltyjä laatu-luokkia, jotka löytyvät EN-50160-standardista.

Epäsymmetrialle, harmonisille jänniteyliaalloille ja nopeille jännitemuutoksille esitetään tilastollisia arvoja, joiden rajoissa sähkön laatua yritetään pitää. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 7.)

Standardi EN-50160 sallii turhan suuren jännitteen vaihteluvälin. Standardi käsittää normaalit käyttöolosuhteet poikkeuksena esimerkiksi vikatapaukset ja keskeytykset. Standardissa puhutaan 10 minuutin keskiarvoista, ja tämä sallii hetkittäiset standardia suuremmat jännitevaihtelut. Tämä vaikuttaa sähkön laatuun ei toivotulla tavalla. Jos standardissa esitetyt vaihtelurajat ylitetään, sähkönjakelu on käytännössä jo kyseenalaista mahdollisesti tulevien laiteongelmien vuoksi. (Lakervi & Partanen 2008: 252.)

Sähköala on määritellyt ohjeellisena olevaa standardia tiukempia ja järkevimpiä jännitteen vaihtelurajoja. Normaalilaadun vaihtelurajaksi jännitteelle on määritelty -10...+6 %. (Lakervi & Partanen 2008: 252.)

## Jännitteen muutokset

Verkon oikealla suunnittelulla sekä käytöllä pitkäaikaiset jännitteen muutokset keski-jännitteisessä jakeluverkossa saadaan pääasiassa hallittua. Jännitettä säädetään sähköasemilla olevilla jännitteensäätäjillä. Lisäksi seurataan verkon mitoitusta ja kuormitustilannetta. Jakeluverkon liittymiskohdan sijainti vaikuttaa jännitteeseen siirtoverkossa. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 2.)

Äkilliset jännitteen vaihtelut, jännitteennousut ja jännitekuopat aiheutuvat useimmiten salaman linjoihin indusoitumisista jännitteistä, epäsymmetrisistä vioista, isojen kuormitusten kytkeytymisistä sekä jälleenkytkennöistä. Nopeat jännitemuutokset näkyvät valojen välkyntänä ja joskus aiheuttavat ongelmia herkille kuormille kuten älylaitteille ja vastaaville elektronisille laitteille. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 2-3.)

Välkyntä johtuu yleensä vaihtelevista isoista kuormista, joita esiintyy valokaariuuneista, pistehitsauksesta ja erilaisten kuljettimien sekä vastaavien moottoreista. Siitä aiheutuu valojen välkyntää, mikä tuottaa ongelmia tietokoneiden toiminnalle sekä kommunikaatiolaitteille. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 3.)

Transienttiylijännitteet jaotellaan transientin keston perusteella lyhyisiin, keskipitkiin ja pitkiin transientteihin. Pitkät transientit, yli 100  $\mu$ s, ilmenevät esimerkiksi sulakkeen palamisena tai kompensointikondensaattorin kytkennästä. Keskipitkät transientit, 1...100  $\mu$ s, syntyvät katkaisijoiden toiminnoista ja sähkölinjaan tai sen läheisyyteen iskeytyneistä salamoista. Lyhyet transientit, alle 1  $\mu$ s, aiheutuvat pääosin paikallisten kuormien kytkennöistä. Myös ylijännitesuojan toimiminen ja eristeen tai eristimen pettäminen ja siitä aiheutuva läpilyönti aiheuttavat transientteja. Tietokoneiden käyttäjille transientit saattavat olla hyvinkin vahingollisia tuhoten tärkeitä tiedostoja sekä sammuttaa tietokoneita odottamattomasti ja vahingoittaa niitä fyysisesti. (TTT-käsikirja 2000: luku 4, s. 3.)

## Harmoninen yliaaltojännite

Harmoninen yliaaltojännite on jakelujännitteen perussiniaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna. Normaaleissa sähkökäyttöolosuhteissa kaikkina viikkoina 95 % jokaisen yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin tehollisarvojen keskiarvoista pitää olla pienempi tai vähintään yhtä suuri kuin taulukossa 2 annettu arvo. Resonanssit voi-

vat aiheuttaa suurempia jännitteitä yksittäiseen harmoniseen taajuuteen. (Lakervi & Partanen 2008: 254.)

Jakelujännitteen kokonaissärökertoimen (THD, mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40: nteen saakka) tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. (Lakervi & Partanen 2008: 254.)

Yliaallot aiheutuvat pääasiassa sähkönkäyttäjien epälineaarista kuormista (mm. purkausvalaisimet, teholähteet ja suuntaajakäytöt). Näiden kuormitusten yliaaltovirrat aiheuttavat verkon impedanssien kautta kulkiessaan yliaaltojännitteitä. Verkossa olevat resonanssit todennäköisesti vahvistavat yliaaltoja oleellisesti (esim. muuntajia ja kondensaattoriparistoja samassa verkossa). Kuormitusten yliaaltovirrat ovat laitetyyppiinpuvaisia. Pienet parittomat komponentit (kolmas: 150 Hz, viides: 250 Hz ja seitsemäs: 350 Hz) esiintyvät yleensä voimakkaimpina. (Lakervi & Partanen 2008: 254.)

Taulukko 2. Harmonisten yliaaltojännitteiden enimmäisarvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 23 saakka prosentteina nimellisjännitteestä  $U_n$ .

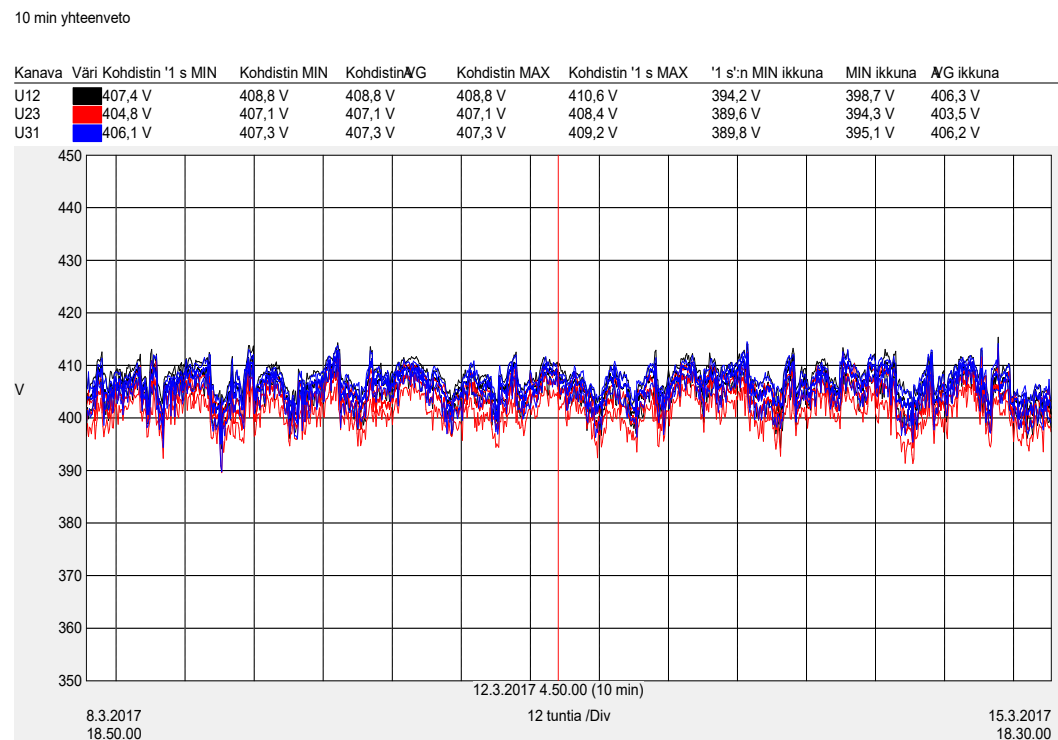
Parittomat yliaallot			
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset	
Järjestysluku n	Suhteellinen jännite	Järjestysluku n	Suhteellinen jännite
5	6 %	3	5 %
7	5 %	9	1,5 %
11	3,5 %	15	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %
17	2 %		
19	1,5 %		
23	1,5 %		
25	1,5 %		

## 4 Mitatut arvot

### 4.1 Jännite (U)

Jännitteestä mitattiin pääjännitteet (kahden äärijohtimen välinen jännite piirin määrättyssä piirissä) sekä vaihejännitteet (äärijohtimen ja nollajohtimen välinen jännite piirin määrättyssä pisteessä). (SFS-KÄSIKIRJA 600-1-1. Pienjännitesähköasennukset 2017: 28.)

Mitatut pääjännitteet näkyvät kuvassa 1.



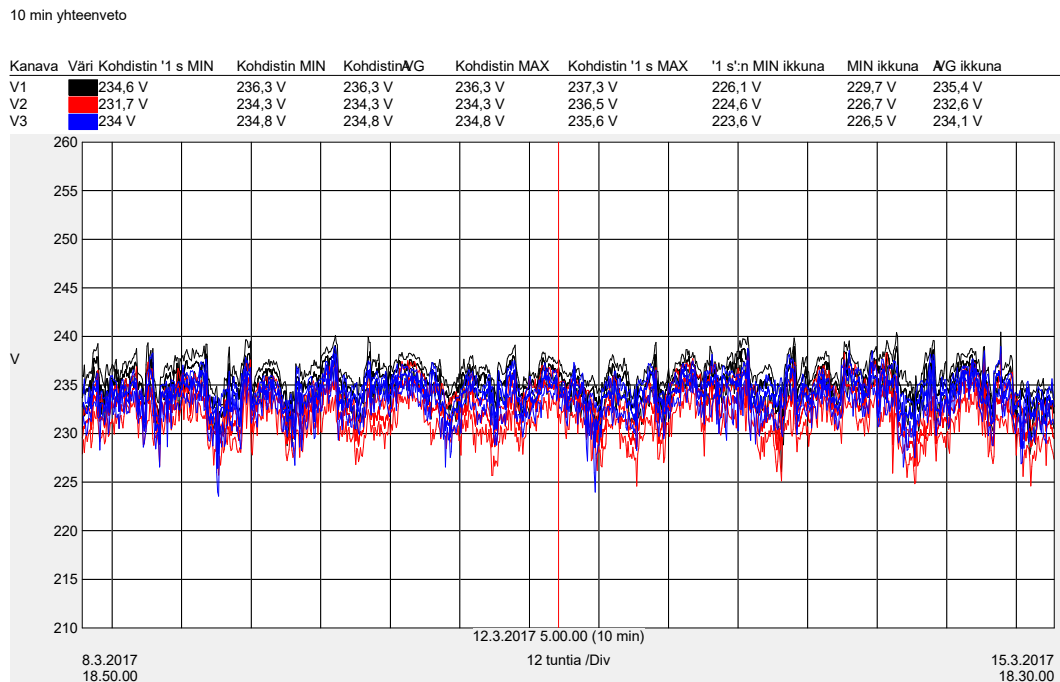
Kuva 1. Pääjännitteet liittymän luona.

Jännitteet mitattiin viikon mittaisessa jaksossa 10 minuutin keskiarvolla SFS-EN 50160-standardin mukaisesti CA PEL 103 -tehologgerilla pääliittymän luota syöttökaapelista. Mittaushetkellä syöttävän verkon jännite oli tasalaatuinen eikä siinä ilmennyt jännitekatkoja, -piikkejä eikä -alenemaa, joista olisi käyttäjälle aiheutunut sähkön jakelun kanssa ongelmia.

Jakelujännitteen epäsymmetrialle SFS-EN 50160 määrää, että normaaleissa käyttöolosuhteissa viikon pituisen mittausjakson aikana jokaisen jännitteen (perustaajuisen)

vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvon keskiarvoista 95 % tulee olla välillä 0...2 % (perustaajuisesta) myötäkomponentista. Mitatuista tuloksista näkee, että jakelujännitteen symmetria on standardin mukainen. (SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010: 32.)

Mitatut vaihejännitteet näkyvät kuvassa 2.



Kuva 2. Mitatut vaihejännitteet.

Taulukossa 3 on esitetty standardin määrittelemät suositukset laatukriteereille.

Taulukko 3. Standardin SFS-EN 50160 mukaan jännitteen laatukriteerit ovat:

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

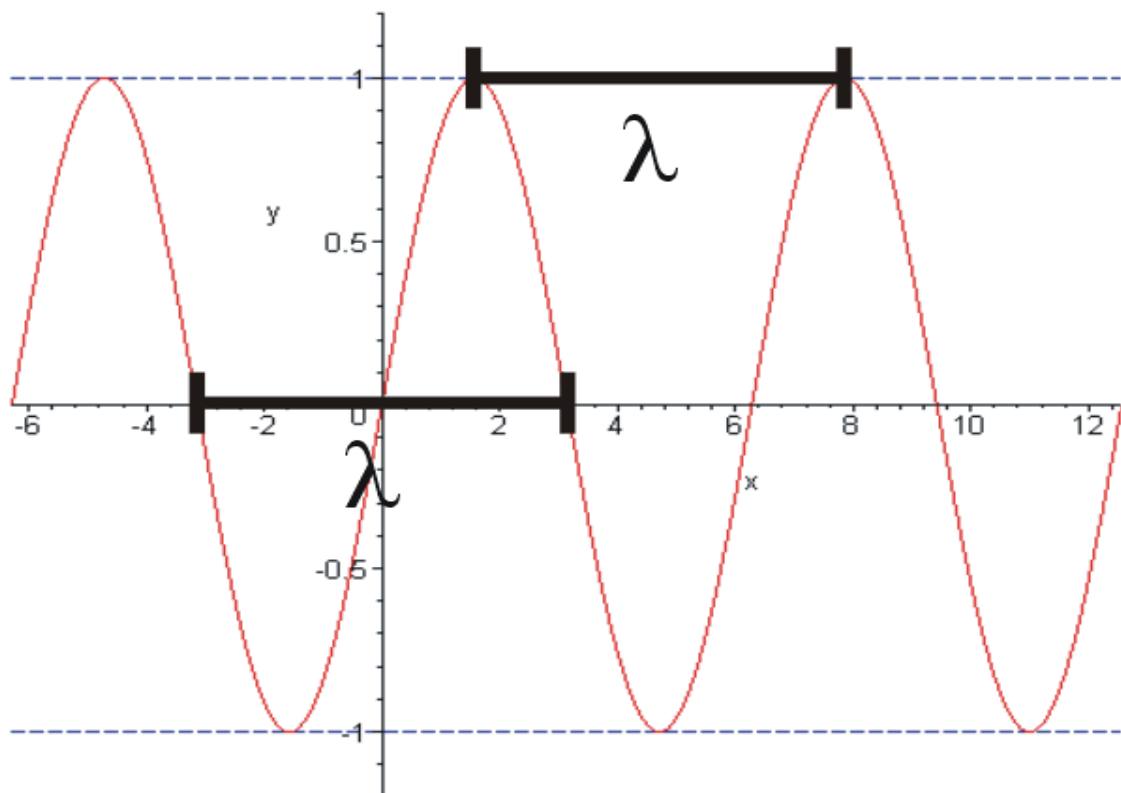
Mittauksista on helppo todeta jännitteen laadun olevan SFS-EN50160-standardin mukainen, eli mitattu jännite oli 207-253 V (95 %). Yhden sekunnin minimimittaus oli 223,6

V kolmannessa vaiheessa (L3) ja maksimimittaus 237,3 V ensimmäisessä vaiheessa (L1), mikä on hyvä ja riittävä laatu jännitteelle. Mittausten aikana ei ilmennyt jännitekatkoja.

Vaiheiden välisiä jännitteenalennemia ei esiintynyt, vaikka kuorma oli välillä epätasainen eri vaiheiden kesken. Kuorman ollessa huomattavan epätasaisesti jakautunut vaiheiden välillä myös jännite alenee epätasaisesti. Tosin jälkimittauksissa jännitteenalennemaa ilmeni mitattaessa lähempää sähkökojeita tallin sisätiloissa.

#### 4.2 Sähköverkon taajuus yleisesti

Sähköverkon taajuudella tarkoitetaan vaihtosähkön verkossa olevaa yhden sekunnin aikaväliä, jonka aikana vaihtosähkön jännitteen napaisuus vaihtuu välillä 0 V, 230 V, 0 V, -230 V, 0 V. Euroopassa on yleisesti sovittu, että vaiheen taajuus on 50 Hz (hertsi). Tällöin sekunnin aikana vaiheet ”pyörivät” 50 kertaa sekunnissa. Taajuus on yhtä kuin jaksojen lukumäärä aikayksikössä.



Kuva 3. Taajuuden funktio.



Sähköverkon taajuuden on oltava laadukas ja hyvin säännöllinen, jotta kaikki verkon sähkölaitteet toimisivat oikein. Pienetkin vaihtelut vaikuttavat radikaalisti sähkölaitteiden toimivuuteen kuten valaistukseen ja sähkömoottoreiden pyörimiseen. Taajuutta voisi verrata tahdistimeen, joka määrää laitteille tahdin toimiakseen oikein.

Suomen sähköjärjestelmässä Fingrid Oy vastaa sähkötuotannon ja -kulutuksen välisen hetkellisen tehotasapainon tasehallinnasta sekä ylläpidosta. Tasehallinnan tärkein tehtävä on valvoa sähköjärjestelmän taajuutta, johon vaikuttavat sähkön tuotannon ja kulutuksen välinen tasapaino. Hyvä tasapaino takaa pienempää vaihtelua taajuudelle, mikä taas näkyy hyvänä sähkön laatuina kuluttajalle. (kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito.)

Normaalitilanteessa taajuuden sallitaan vaihdella 49,9 ja 50,1 hertsin välillä. Kulutuksen noustessa tuotantoa suuremmaksi taajuus alkaa laskea. Vastaavasti kulutuksen ollessa tuotantoa pienempi alkaa taajuus kohota. Tehotasapainoa ylläpidetään manuaalisesti toteuttavilla säädöillä sekä taajuusohjatuilla reserveillä. (kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito.)

Sähköliittymän verkon taajuus (f)

Maatilan sähköverkon taajuus mitattiin Chauvin Arnoux PEL 103 -tehoanalysointorilla standardin SFS-EN-50160 mukaisesti yhden viikon ajan.

Standardi SFS-EN-50160 määrittelee verkkotaajuudelle seuraavat kriteerit:

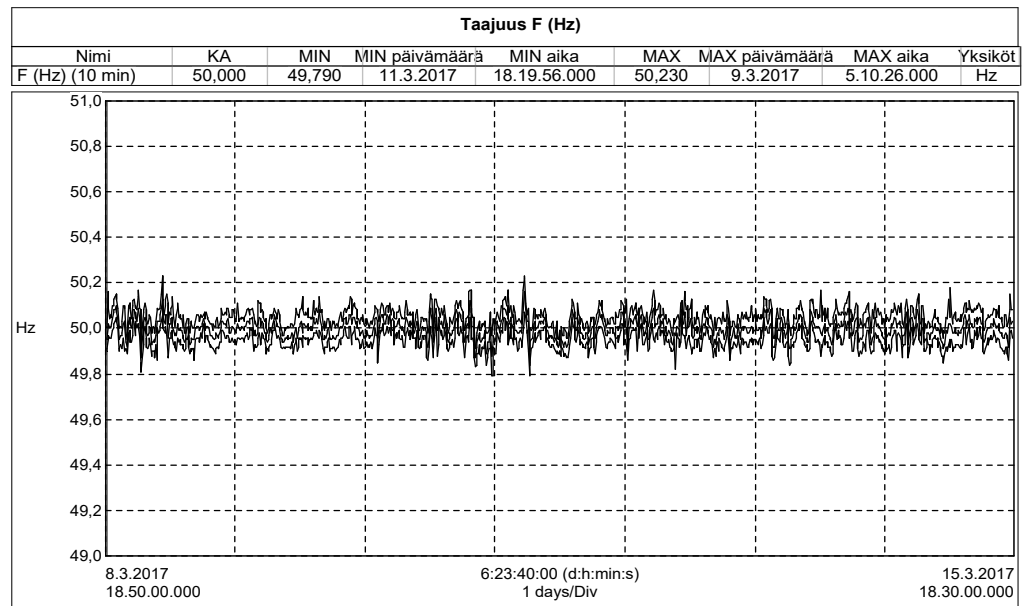
Nimellistaajuuden tulee olla 50 Hz. Normaaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvon 10 s aikavälillä tulee olla seuraava:

Yhteiskäyttöverkoissa:

50 Hz  $\pm$  1% (eli 49,5 Hz... 50,5 Hz) 99,5 % vuodesta

50 Hz + 4 % / - 6 % (eli 47 Hz... 52 Hz) 100% ajasta.

(SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet 2010: 20.)



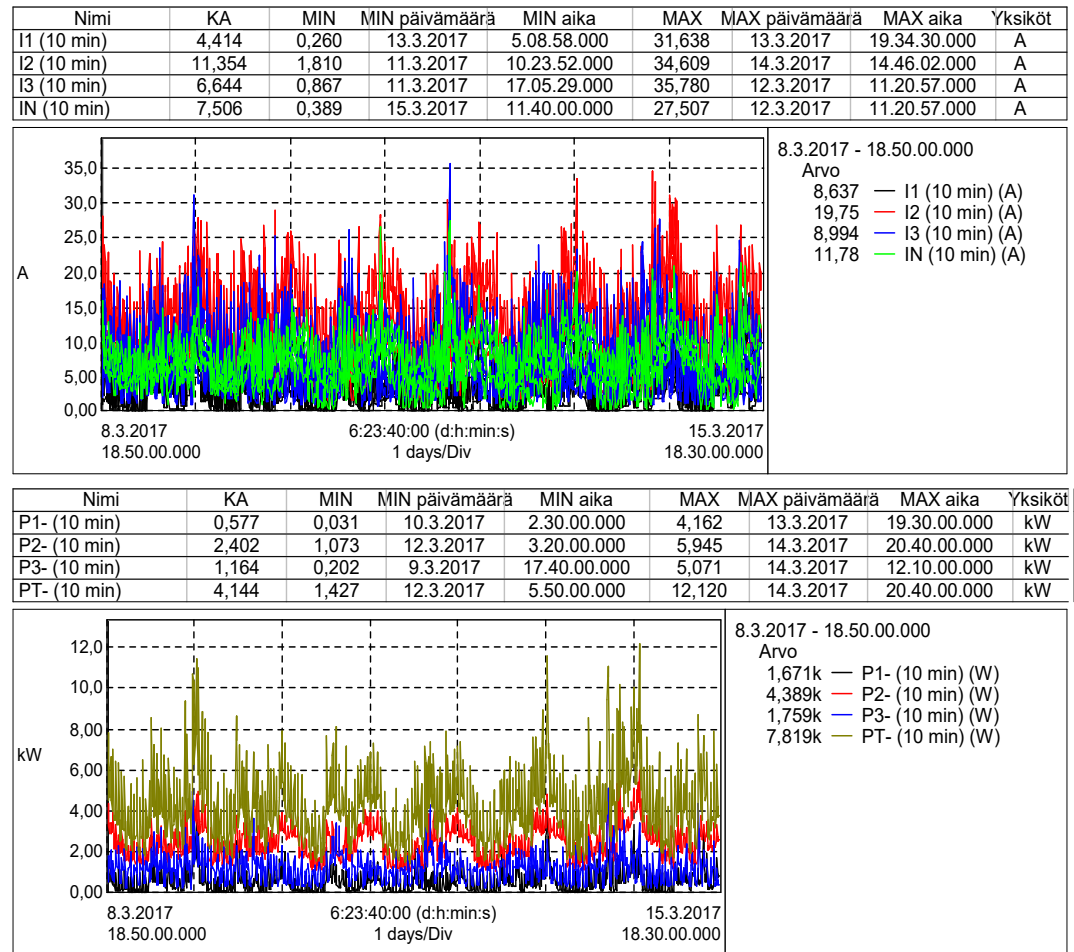
Kuva 4. Mitattu verkon taajuus.

Verkon taajuus -kuvassa 4 huomaa, kuinka liittymän taajuus täyttää standardi SFS-EN-50160 asettamat rajat mitattuna ajanjaksona. Mitatun ajanjakson keskiarvo oli 50 Hz, minimiarvo oli 49,79 Hz ja maksimi 50,23 Hz. Verkon taajuus on standardin mukainen ja korkealaatuinen.

Taajuuspoikkeamia saattaa esiintyä maaseudulla, kun maaseutuverkko on ylikuormitettu esimerkiksi isojen kuivureiden ja muiden vastaavien isojen laitteistojen yhtäaikaisessa käytössä. Nämä laitteistot eivät ole ympärivuotisessa käytössä mutta niiden käyttö ajoittuu usein yhtäaikaisesti muiden naapuritilallisten kanssa. Tällöin verkon taajuutta voi mitata eri aikoina oikean tuloksen saamiseksi. Verkon taajuuden vaihtelu vaikuttaa kaikkiin tilalla oleviin sähkömoottoreihin niitä vahingoittaen.

#### 4.3 Virta (I) ja pätöteho (P)

Vertaamalla vaiheiden välisiä minimiarvoja (L1 – 0,26 A, L2 – 1,81 A, L3 – 0,867 A), sekä keskiarvoja (L1 – 4,414 A, L2 – 11,354 A, L3 – 6,644 A) näkee, että niissä on ei-toivottua vaihtelua keskenään. Nollakaapelissa N esiintyy huomattava määrä virtaa, mikä johtuu todennäköisesti epälinearisesta kuormasta. Minimiarvo mitattuna aikajaksona oli nollakaapelissa 0,389 A ja keskiarvo 7,506 A, joka on enemmän kuin vaiheissa L1 ja L3. Tasaisessa kuormituksessa nolasta mitattaisiin vain vähän virtaa ja ideaalisessa ei lainkaan.



Kuva 5. Virrat ja pätötehot.

Toisen vaiheen L2 suhteellisen iso kuormitus keskiarvo- ja minimikuormalla on huomattava vaiheisiin L1 ja L3 nähden. Huomattavaa on myös se, että vaiheissa L1 ja L3 on yhtä suuri kuormitus kuin L2 -ryhmässä. Vaihevirtojen keskiarvoksi saadaan laskemalla käyttämällä kaavaa  $(L1 + L2 + L3) / 3$ . Sijoittamalla mitatut arvot kaavaan saadaan tulokseksi  $(4,414 \text{ A} + 11,354 \text{ A} + 6,644 \text{ A}) / 3 = 7,470 \text{ A}$ . Vinokuormitusta laskettaessa keskiarvoon lisätään sekä vähennetään 10 % laskettuun keskiarvoon ja saadaan standardin SFS-EN-50160 mukaiset suositukset kyseiselle sähköliittymälle. Lasketut arvot ovat MAX 8,217 A ja MIN 6,790 A. Kaikki kolme vaihetta ovat ulkona haarukasta, joten vaiheiden kuormitusta kannattaa tasoittaa kuormituksen saamiseksi kuntoon.

Kuvasta 5 näkee, että vaiheiden virrat ja pätötehot vaihtelevat riippuen ajanjaksosta. Vaiheiden kuormitus on epätasainen, mikä on yleistä suurilla maatiloilla, joissa on useampi asuinrakennus, sekä muita useita rakennuksia. Myös käyttäjiä on runsaasti, mikä osin selittää kuormituksen epätasaisuuden. Tilalla on myös sähkölaitteita, jotka ovat yksivaiheisia ja kuluttavat reilusti virtaa, esimerkiksi hitsauslaitteet ja lämmittimet. Te-

hokkaampi valaistus (monimetalli- ja suurpainenatriumvalaisimet) saattavat olla samassa vaiheessa.

Ajan mittaan sähkölaitteita ja valaistusta on varmasti poistettu ja lisäilty tarpeen mukaan eikä kuormituksen symmetriaan ole voitu kiinnittää huomiota. Ryhmäkaapelit on lisätty siihen, mihin ne on helpointa kytkeä. Tämä aiheuttaa yleensä epätasaista kuormitusta koko sähköjärjestelmään. Välttämättä tässä tapauksessa sitä ei näy yksittäisissä rakennuksissa vaan pääliittymän luona, josta mittaukset ovat tehty.

Epätasainen kuormitus johtuu vaiheiden epätasaisesta kuormituksesta kolmevaiheisessa sähkökäytössä. Toisin sanoen jollain tai joillakin vaiheilla virran kulutus on suurempi kuin muilla vaiheilla ja kuorma on epätasainen. SFS-EN 50160-standardissa suositellaan, että suurin vinokuormitusarvo on  $\pm 10\%$  vaihevirtojen keskiarvosta. Tämä tarkoittaa että, kunkin vaiheen virta saa poiketa enintään  $10\%$  vaiheiden virtojen keskiarvosta. Epätasainen kuormitus aiheuttaa virtaa nollajohtimeen, sekä 3. yliaaltoa. Tasaamalla vaiheiden kuormitusta vinokuorma tasaantuu. (Kontturi & Ålander 2008: 11.)

Nollajohtimen liian suuri virta voi aiheuttaa johtimien lämpenemistä, eristeiden vioittumista ja tulipalovaaran, varsinkin jos nollajohdin on mitoitettu vaihejohtimia pienemmäksi. (Kontturi & Ålander 2008: 11.)

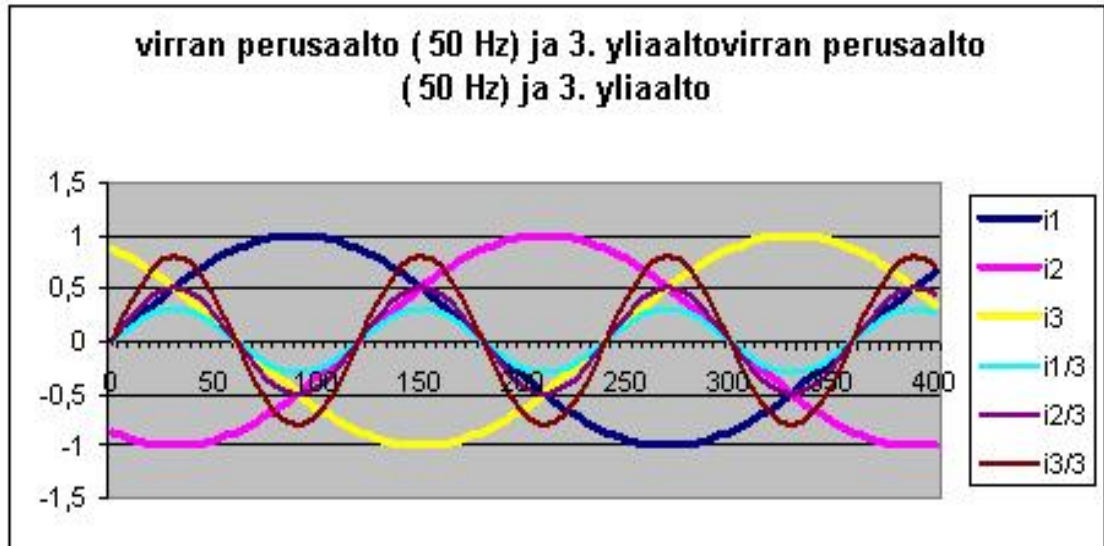
Teoriassa nollajohtimen maksimivirta voi nousta maksimissaan  $1,73 \times$  vaihevirta. Nollavirran ollessa normaalia korkeampi seurauksena tapahtuu nollajohtimen ja maan välinen jännitteen lasku. Neljää voltia suuremman arvot viittaavat korkeaan virtaan nollajohtimessa. (Teho ja tehon mittaust 2014: 7.)

Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa haittaa muuntajille, sähkömoottoreille ja elektronisille laitteille ja valaistukselle.

#### 4.4 Yliaallot

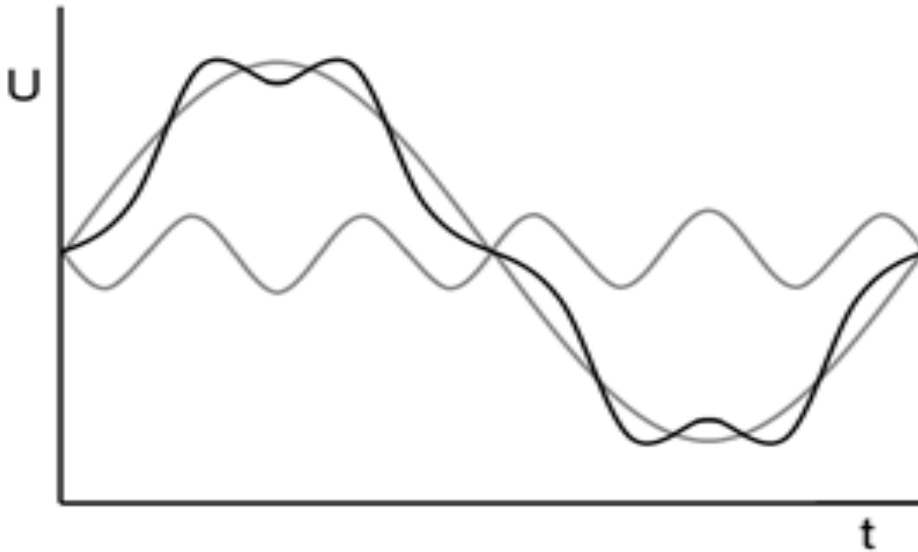
Sähköverkossa esiintyy yliaalloja, jotka ovat vaihtosähkön taajuuden (50 Hz) monikerroja. Yliaallot huonontavat huomattavasti sähkön laatua. Yliaalloja synnyttävät virran ja jännitteen suhteen epälineaariset virtapiirin osat, joiden ottama virta on epäsinimuotois-

ta. Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa myös yliaaltoja. Yliaallot säröyttävät jännitteen sinimuotoa ja aiheuttavat virtaa nollajohtimeen. Jännitteen käyrämuoto säröytyessään aiheuttaa lisäksi sulakkeiden toimintahäiriöitä sekä johtimien ja liittimien kuumentumista. (Kontturi & Ålander 2008: 11.)



Kuva 6. Yliaallot.

Perustaajuuden parittomat kerrannaiset (kolme, viisi ja seitsemän) ovat epätoivotuimpia yliaaltotaajuuksia. Kolmas yliaalto (150 Hz) voi aiheuttaa eniten häiriöitä verkossa. Yliaaltotaajuuden ollessa perustaajuutta korkeampi (>50 Hz) muodostuu pintatehoa. Pintateho on ilmiö jossa korkeampi taajuus vaikuttaa elektronien liikkeeseen siten että, elektronit alkavat liikkua johtimien pintaa kohti. Tästä syystä johtimien halkaisija pienenee huomattavasti, minkä ansiosta kaapelin kapasiteetti laskee. Pintateho voimistuu taajuuden ja amplitudin myötä. Tämän seurauksena korkeammat yliaaltotaajuudet aiheuttavat korkeamman asteen ylikuumentumisen johtimissa. (Teho ja tehon mittaus 2014: 6-7.)



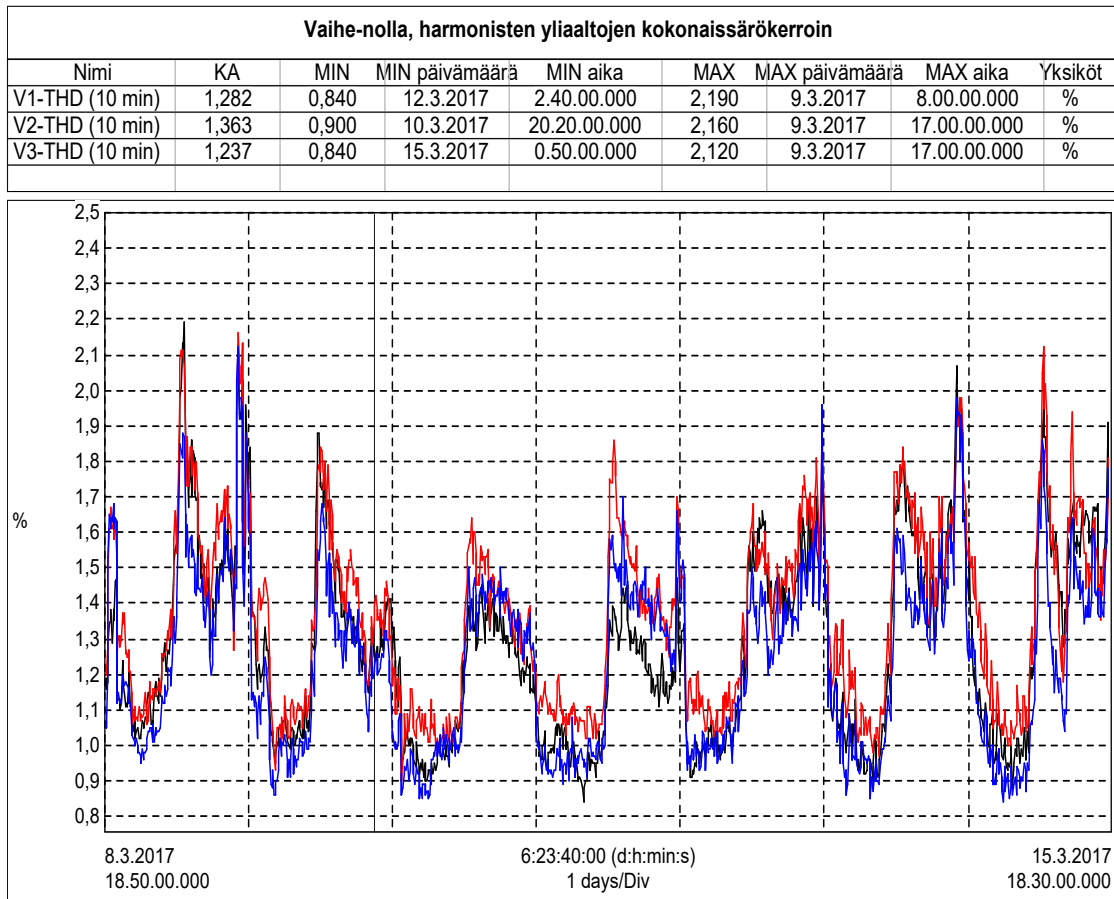
Kuva 7. Jännitteen säröytyminen.

Tässä mittauksessa ei mitattu yliaaltoja erikseen vaan mitattiin THD (Total Harmonic Distortion) eli jännitteiden ja virtojen vaiheiden kokonaissäröt. Mittaamalla jännitteiden ja virtojen vaiheiden kokonaissäröjä säästyy aikaa ja dataa. Kokonaissärön ollessa sallituissa rajoissa ei välttämättä tarvitse mitata parittomia yliaaltoja erikseen.

Harmoninen kokonaissärökerroin muodostuu kaikkien yliaaltojen suhteellisesta arvosta perustajuuteen verrattaessa. Kokonaissärökerroin lasketaan järjestysluvultaan 40: nteen saakka olevista yliaalloista.

Tässä tapauksessa mitattu epätasainen kuormitus jo todennäköisesti aiheuttaa kolmatta yliaaltoja sekä huomattavaa virtaa nollajohtimeen. Mittaamalla parittomia yliaaltoja ensimmäisenä voi mitattuja arvoja tarkastella eri tavalla ja aiheuttaa ylimääräistä pohittamista, tämä saattaa johtaa väärin johtopäätöksiin.

Mitattavissa kohteissa vuorokauden rytmit aiheuttavat erilaisia mittaustuloksia. Eri vuodenaikaan mitattaessa tulokset saattavat vaihdella, joten kannattaa miettiä sopivaa mittaushetkeä. Mittaukset suoritettiin kylmänä vuodenaikana maaliskuun alussa, kun lämmityslaitteet ja muut vastaavat ovat olleet käytössä. Tämän takia saa mitattua jokaisen vaiheen todennäköisesti suurimmat virrat ja niistä aiheutuvat ongelmat.

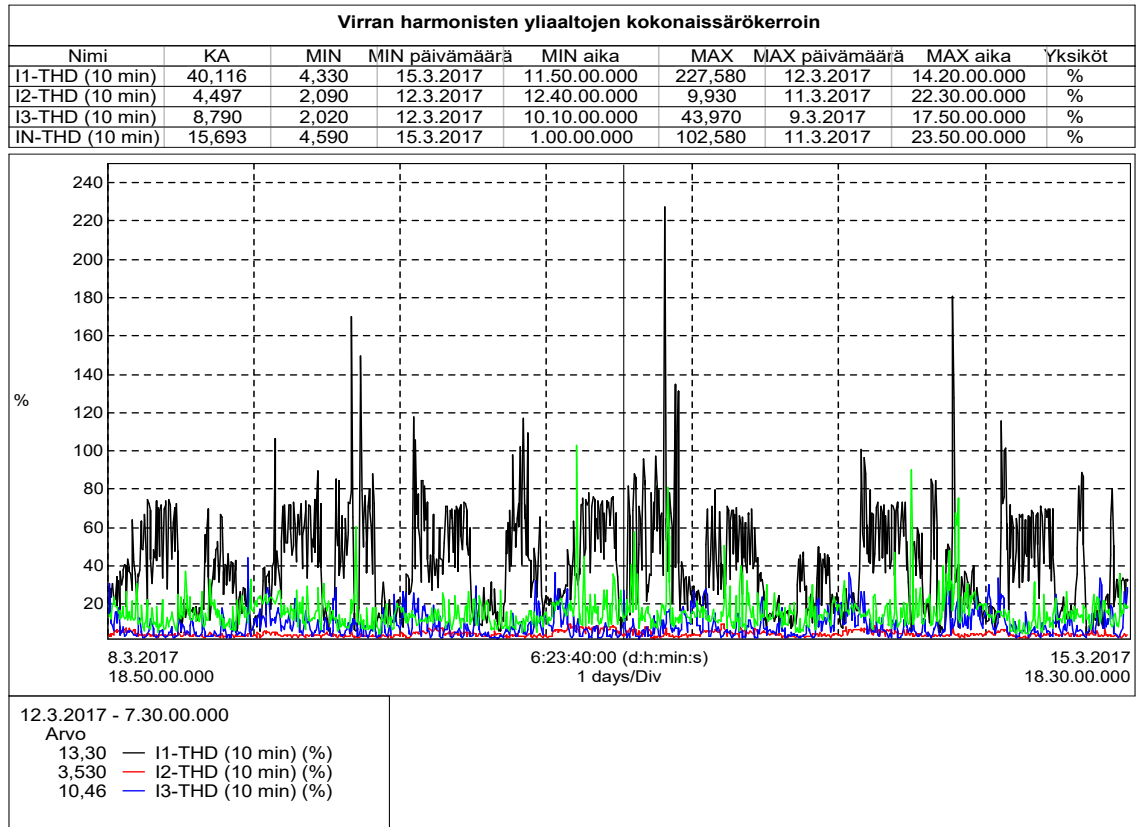


Kuva 8. Vaihe-nolla, harmonisten yliaaltojen kokonaissärökerroin.

Standardin SFS-EN 50160 mukaan taulukossa 1 on esitetty jännitteen THD:n maksimiarvoksi 8 %, jonka pitää toteutua 95 % ajasta. Mittauksissa näkyy, että jakelujännitteen taso on hyvä. Yhdenkään vaiheen kokonaissärökerroin ei ylittänyt sallittua 8 prosenttia.

Vaiheiden maksimi särökertoimet olivat vaihe L1 2,19 %, vaihe L2 2,16 %, vaihe L3 2,12 %. Kuvasta 8 näkee myös, että heilahtelut ylöspäin tapahtuvat joka päivä samaan aikaan klo 17.00. Vaiheen L1 maksimisärö tapahtui klo 8.00. Piikit mittaustuloksissa johtuvat todennäköisesti valojen päivittäisestä päälle laittamisesta. Tilan vuorokaudenrytmi on sama joka päivä.

Eri vaiheiden välistä jännitteiden säröytymistä esiintyy jonkin verran mutta ei huomattavissa määrin. Sähköverkon laatu on liittymän luona hyvä ja standardin mukainen.



Kuva 9. Virran harmonisten yliaaltojen kokonaissärökerroin.

Standardi SFS-EN-50160 ei määrittele virran harmonisen yliaallon kokonaissärökerrointa eikä aseta sille sallittuja arvoja. Virran harmoniset yliaallot saattavat kuitenkin huonontaa sähkön laatua, joten se kannattaa mitata ja myös huomioida muiden mitausten tueksi. Kuva 9 esittää tilan vaiheiden virtojen yliaaltojen kokonaissärökerrointa.

Virran säröytyminen voi johtua monesta eri syystä:

- Rikkinäiset laitteet tai huonot liitännät sähkölaitteissa on mahdollista huomata korkeina mitattuina arvoina.
- Sähkölaitteiden huonot komponentit säröyttävät virtaa niin, että ilmenee toimintahäiriöitä. Esimerkiksi huonolaatuiset LED-lamput aiheuttavat välkyntää.
- Huomattavat vinokuormat säröyttävät virtaa.
- Sähkölaitteet jotka on varustettu puolijohdetekniikalla, kuten diodit ja transistorit.



Mitatuista virtojen harmonisten yliaallojen kokonaiskertoimista huomaa, että vaiheissa L1 ja L3 esiintyy enemmän säröytymistä kuin vaiheessa L2. Vaiheessa L1 esiintyy säröytymistä huomattavissa määrin enemmän kuin muissa vaiheissa. Vertaamalla virtojen säröytymistä virtojen kulutukseen huomaa, että tässä tapauksessa suurin todennäköisyys noin isolle vaihtelulle säröytymisen suhteen löytyy vinokuormasta. Pitää ottaa myös huomioon, että vaiheen L1 mitatut minimivirrat olivat luokkaa 260 mA mikä oli paljon vähemmän kuin muissa vaiheissa L2 1,81 A ja L3 867 mA. Tällöin voi säröytyminen näyttäytyä enemmän siellä missä on vähiten virran kulutusta.

Tämän päivän sähkölaitteista eniten virtaa säröyttäviä laitteita ovat puolijohdetekniikalla toteutetut sähkölaitteet, joissa on diodeja ja transistoreita. Nämä voimakkaasti epälineaariset komponentit mahdollistavat elektronien erittäin nopean kulun johtamattomasta tilasta johtavaan tilaan. Tällöin virran muutokset tulevat hyvin nopeiksi, mikä näkyy virran harmonisen yliaallon kokonaissäröytymisenä.

Vaikka virran harmonisen yliaallon kokonaissäröytymiselle ei löydy standardissa mitään arvoja, kannattaa ne ottaa huomioon ja vähintäänkin tallentaa vertailupohjaksi tulevia mittauksia varten. Mahdollisia sähkön laatuun liittyviä vikoja korjatessaan voi tarkastella vaikutusta virtojen säröytymiseen ja vian tyyppiin.

#### 4.5 Sähköenergian kulutus

Sähköenergian kulutus mitattiin samalla yhden viikon mittaisella ajanjaksolla. Kulutuksessa mitattiin kaikki tehot eli näennäisteho  $S$ , pätöteho  $P$  ja loisteho  $Q$ .

Näennäisteho  $S$

- $[S] = \text{VA}$  voltiampeeri
- $S = \underline{U} \underline{I}^* = \underline{I}^2 \underline{Z}$ ,  $\underline{I}^* = \underline{I}$ :n kompleksikonjugaatti
- Koostuu pätö- ja loistehosta:  $S^2 = P^2 + Q^2$
- Vaihtojännitteen ja -virran tehollisarvojen tulo

### Pätöteho P

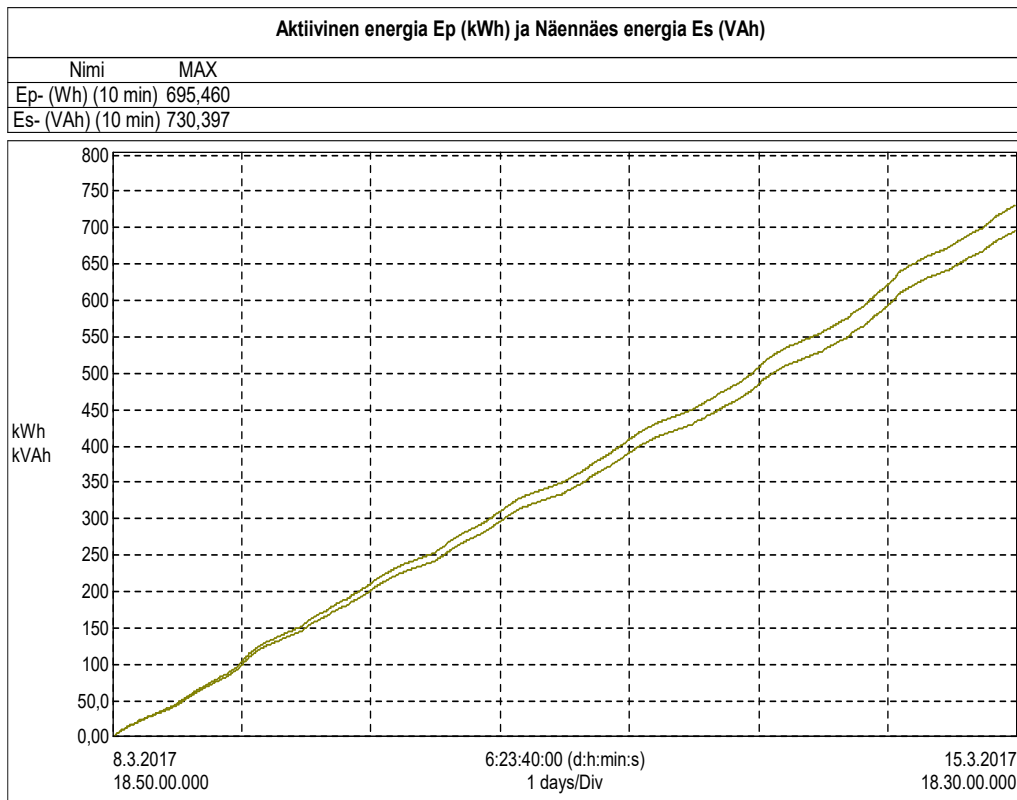
- $[P] = \text{W watti}$
- $P = UI \cos\varphi = UI_p = I^2R$
- $\cos\varphi = R / Z$  on vaihtosähkön *tehokerroin*
- sähkölaitteesta kulutuskojeeseen sähkön kuluttajan hyödyksi siirtyvä teho

### Loisteho Q

- $[Q] = \text{Var voltiampeeria reaktiivista tehoa}$
- $Q = UI \sin\varphi = UI_q = I^2X$
- $\sin\varphi = X / Z$  on vaihtosähkön *loistehokerroin*
- sähkölaitteen ja kulutuskojeen välillä edestakaisin sykkivä hyödytön teho

Virran  $\underline{I}$  konjugaattiosoitin  $\underline{I}^*$  on osoitin, jonka reaaliosa on yhtä suuri kuin  $\underline{I}$ :n reaaliosa, mutta imaginaatiosa  $\underline{I}$ :n imaginaariosan vastaluku. (Aura & Tonteri 2009: 202, 203, 259)

Kuvasta 10 on jätetty pois loisteho taulukon järkevämmän ulkonäön vuoksi. Loistehokäyrä kulkisi alhaalla. Kuva 10 esittää sähköenergian kulutuksen viikon mittaisesta mitauksesta.



Kuva 10. Pätöteho ja näennäisteho.

Kuvasta 10 huomaa, että pätötehoa on kulunut viikon aikana 695,45 kWh ja näennäistehoa 730,397 kVAh.

Yleinen tehon kaava on:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

Loistehon laskentaan:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2)$$

Lasketaan loisteho:

$$Q = \sqrt{730,397^2 \text{ kVAh} - 695,45^2 \text{ kWh}}$$

$$Q = 223,224 \text{ kVArh}$$

Loistehon määrä on viikon aikaisessa mittauksessa 223,224 kVArh.

Kulutus on ollut tasaista koko mittausviikon ajan, eikä mittauksissa esiintynyt poikkeavia kulutuspiikkejä. Mittausaika käsitti hyvän Suomessa vallitsevan keskilämpötilan ollen koko viikon nollan asteen tuntumassa.

#### Tehokertoimen laskenta

Tietyt kuormitustilanteet kuten induktiiviset sähkömoottorit luovat vaihesiirron ja viiveen virran ja jännitteen välille. Tätä kulmaa kutsutaan vaihekulmaksi  $\phi$ . Jos kuorma on täysin resistiivinen vaihesiirtoa ei tapahdu jännitteen ja virran välillä. Tällöin vaihekulma  $\phi$  on 0 astetta. (Teho ja tehon mittaus 2014: 3.)

Laskettu tehokerroin:

$$\cos\phi = P / S = 695,45 \text{ kW} / 730,397 \text{ kVA} = 0,952$$

Tehokerroin ilmoittaa vaihtovirtakuormissa pätötehon suhteen näennäistehoon. Jos kuorma on täysin resistiivinen, tehokerroin on tasan 1. Tehokertoimesta myös ilmenee, onko verkossa loistehoa. Tehokertoimen avulla voi laskea induktiivisen tai kapasitiivisen tehon määrän sekä käyttää sitä loistehon kompensoinnin laskemiseen.

Yksivaihemoottorin pätöteho koostuu useista eri komponenteista:

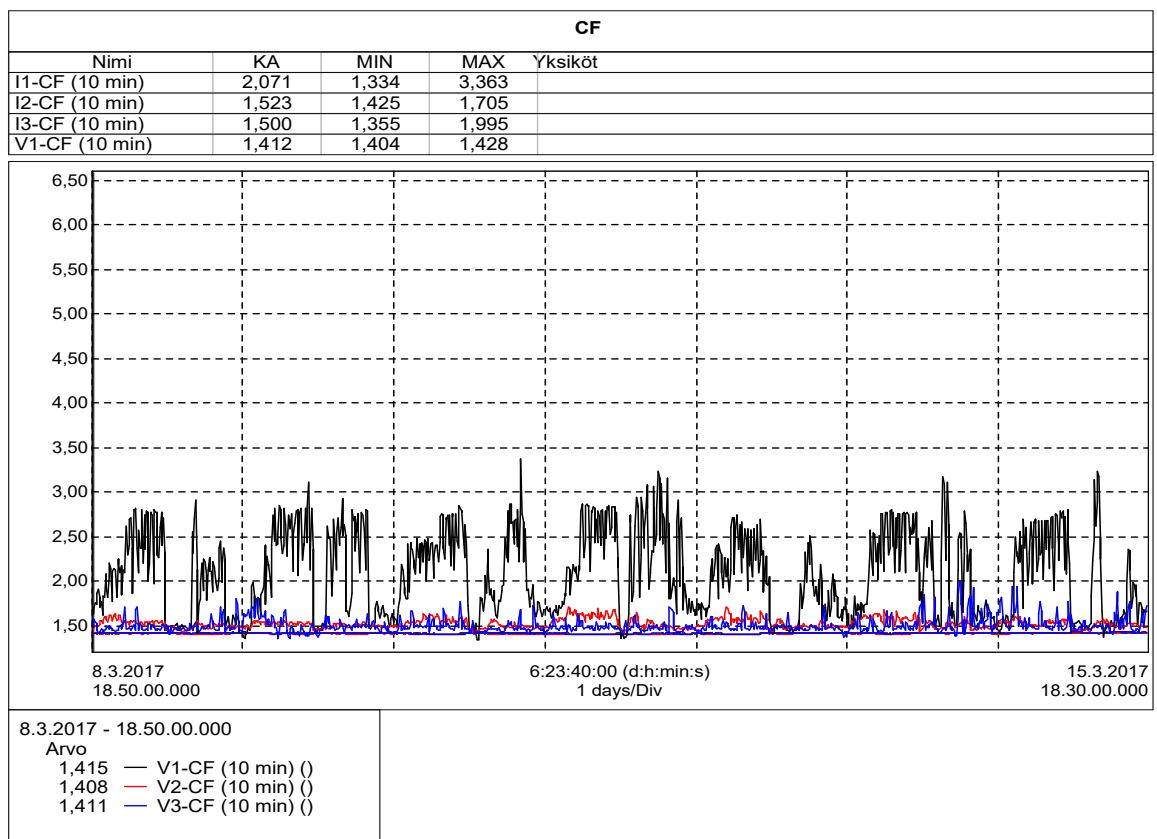
- suoritettava työ, esimerkiksi nostimella tehtävät työt, puhaltimella siirrettävä ilma tai esineiden siirto
- moottorikäimityksen tehohävikeistä johtuva lämpeneminen
- pyörrevirta- sekä hystereesihävikeistä johtuva raudan lämpeneminen
- kitkahäviöt moottorilaakereissa
- kitkahäviöt moottorin pyöriessä.

Tehokerroin ilmoittaa eroavaisuuksista sähkökuormituksissa. Täysin resistiivinen kuormitus kuluttaa yhtä paljon virtaa kuin muuntaa sitä takaisin lämmöksi. Tätä virtaa sanotaan pätövirraksi koska se vaikuttaa suoraan pätötehon tuottamiseen. Sähkömoot-

tori edustaa osittain induktiivista kuormitusta joka koostuu pätötehoksi muuttuvasta pätövirrasta sekä magnetisoitavasta virrasta joka luo sähkömoottorin pyörimiseen vaadittavan magneettikentän. Magnetisoiva loisvirta vastaa virtalähteen ja sähkömoottorin välisestä energianvaihdosta joka ei muutu pätötehoksi. (Teho ja tehon mittausta 2014: 4.)

### Huippukerroin

Huippukerroin (Crest Factor, CF) = Huippuarvo / RMS-arvo. Huippukerroin ilmaisee signaalin huippuarvon jaettuna RMS-arvolla. Huippukerroin ilmaisee mittauslaitteen kykyä käsitellä vääristynyttä mittaussignaalia ilman mittausvirheiden syntyä. Kun siniaalto on puhdas, on huippukerroin 1,414. Mitä korkeampia huippukertoimia mittalaite pystyy mittaamaan, sitä paremmin mittalaite pystyy mittaamaan komplekseja signaaleja. Yliaaltojen esiintyessä mitattu huippuarvo voi olla pienempi tai suurempi arvo kuin 1,414 (kantiaallon huippukerroin on 1). (Teho ja tehon mittausta 2014: 9.)



Kuva 11. Tilan CF pääkeskukselta mitattuna.

Kuvasta 11 huomaa, että CF-mittaus tukee virran harmonisen yliaallon kokonaissärökerroin mittausta.

Yliaaltoja voidaan rajoittaa käyttämällä suodattimia. Suodattimien käyttö on tavallinen tapa rajoittaa yliaaltojen aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia. Suodattimet koostuvat mukautetuista LC-piireistä joiden impedanssi voidaan jättää huomioimatta suhteessa muuhun sähköjärjestelmään. Suodatinta mitoittaessa otetaan huomioon sekä RMS että yliaaltovirta. (Teho ja tehon mittaus 2014: 9.)

## TRMS ja RMS

RMS eli Root Mean Square -termiä käytetään puhuttaessa vaihtovirran käyttämästä tasavirran vastaavalla arvolla suorittamasta työmäärästä. Termiä tarvitaan tasaisin väliajoin amplitudia ja polaarisuutta vaihtavan tasavirran arvon kuvaamiseksi. Root Mean Square -mittaukset antavat tarkemman kuvan jännite- ja virta-arvoista mikä on erittäin tärkeää epälinearisille signaaleille. (Teho ja tehon mittaus 2014: 2.)

Jos mitattava jännite ja virta eivät ole sinimuotoisia vaatii mittaus TRMS-mittalaitteen. Tavalliset RMS-mittalaitteet mittaavat käyrästä amplitudin keskiarvon. Osa TRMS-mittalaitteista näyttävät myös vastaavan RMS (0,707 x huippuarvo) -arvon. (Teho ja tehon mittaus 2014: 2.)

Mittalaite joka tukee vain RMS-mittausta näyttää todellisen kuvan mitattavasta käyrästä vain silloin kun se on täysin sinimuotoinen. Kun on häiriötä, muuttuu mitattu RMS- ja TRMS-arvojen välinen suhde huomattavasti. Tällöin TRMS-arvon mittava laite antaa oikean kuvan ei-sinimuotoisesta käyrästä. (Teho ja tehon mittaus 2014: 2.)

TRMS-mittalaitteella mitattaessa tulospääte tallentuvat korkealla näytteenottonopeudella. Mittalaite muuttaa jokaisen mitatun arvon digitaaliseen muotoon, korottaa sen toiseen ja lisää sen edelliseen arvoon korotettuna toiseen. Seuraavaksi mittalaite laskee neliöjuuren kyseisestä kokonaissummasta. Tätä kyseistä tulosta kutsutaan TRMS-arvoksi.

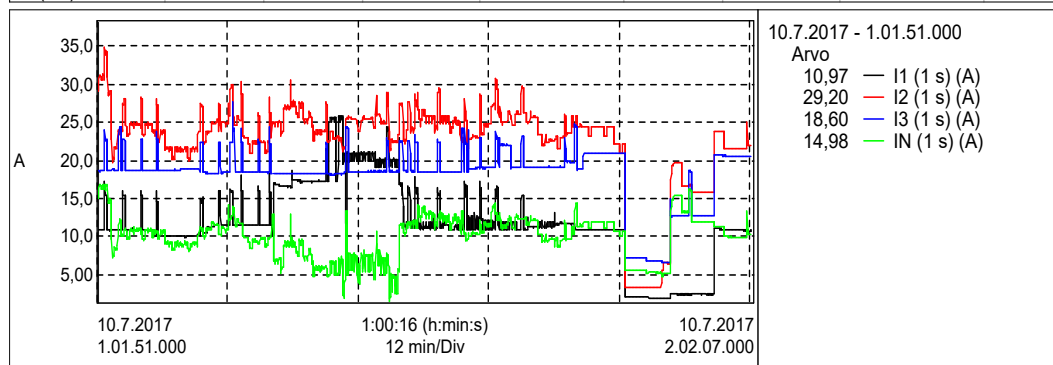
Mittauksissa käytetty Chauvin Arnouxin PEL 103 -tehologgeri on TRMS-mittari, joten mitatut tulokset ovat luotettavat.

## 5 Jälkimittaus

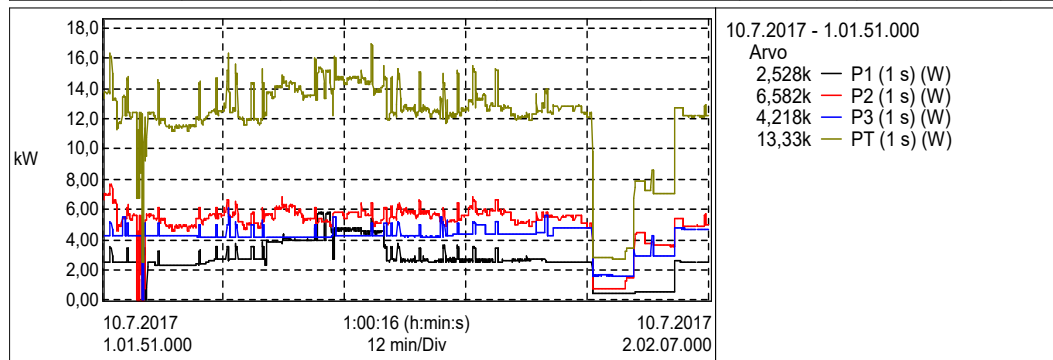
Ensimmäisen mittausseesion jälkeen päätettiin mitata uudelleen kylmänä ajankohtana niin, että katkaisisi virtoja eri ryhmistä ja rakennuksista. Tällöin saa hyvän yleiskuvan miten eri kuormat jakautuvat. Tämä helpottaa epälineaaristen kuormien kanssa tasa-painottamiseen.

Uusi mittaus suoritettiin 2018 helmikuussa -17 asteen pakkasessa. Työtietokone jossa on PEL 103 -ohjelmisto päivämäärien ja kelloaikojen asetuksiin oli työkäytössä muualla eikä päivämääriä päässyt asettamaan. Mittausten tärkein anti oli selvittää mihin kohdistuu suurimmat kulutukset. Tätä mittausta suoritettiin yhden tunnin ajan.

Nimi	KA	MIN	MIN päivämäärä	MIN aika	MAX	MAX päivämäärä	MAX aika	Yksiköt
I1 (1 s)	12,873	1,961	10.7.2017	1.53.23.000	25,838	10.7.2017	1.24.20.000	A
I2 (1 s)	23,192	3,396	10.7.2017	1.52.31.000	34,832	10.7.2017	1.02.30.000	A
I3 (1 s)	18,528	6,677	10.7.2017	1.54.14.000	27,586	10.7.2017	1.14.16.000	A
IN (1 s)	10,318	1,443	10.7.2017	1.28.45.000	16,924	10.7.2017	1.02.18.000	A



Nimi	KA	MIN	MIN päivämäärä	MIN aika	MAX	MAX päivämäärä	MAX aika	Yksiköt
P1 (1 s)	2,689	0,000	10.7.2017	1.06.02.000	5,837	10.7.2017	1.24.05.000	kW
P2 (1 s)	5,039	-0,060	10.7.2017	1.05.43.000	7,686	10.7.2017	1.02.37.000	kW
P3 (1 s)	4,112	0,046	10.7.2017	1.05.44.000	6,158	10.7.2017	1.14.16.000	kW
PT (1 s)	11,840	2,506	10.7.2017	1.05.43.000	16,898	10.7.2017	1.28.32.000	kW



Advanced (maat\_3) - V (V) - I (A) - P (W), 1 de 1

Kuva 12. Jälkimittaus, virrat ja tehot.

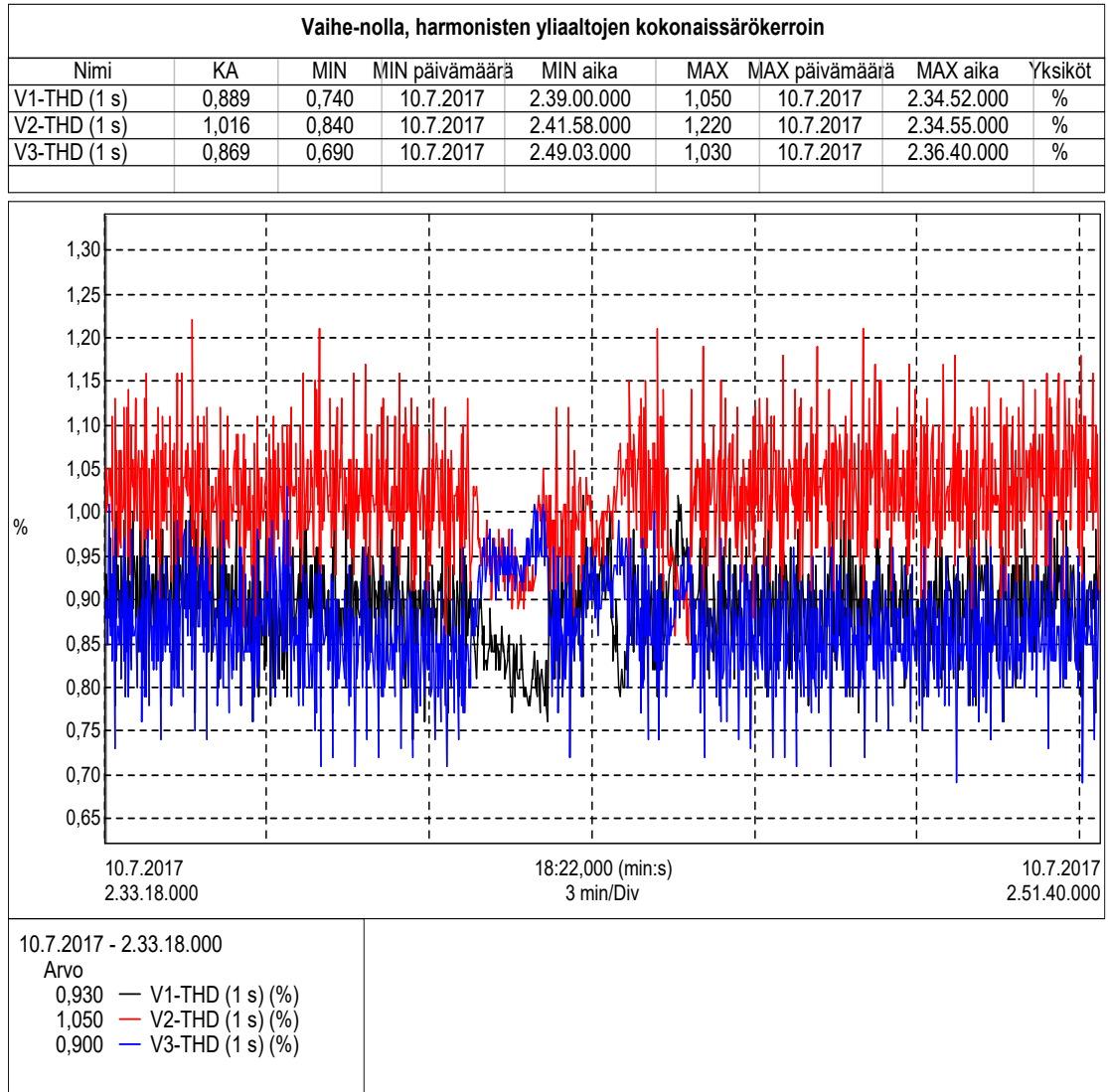
Mittauksen alkupäässä tehojen reilut piikit alaspäin johtuvat siitä, että virtapihtejä siirrettiin eri paikkaan, jotta sähköpääkeskuksen ovi saadaan kiinni.

Ensimmäinen mittaus suoritettiin pääliittymän luota mittaamalla koko tila kerralla. Tämän mittauksen aikana katkaistiin hevostallin pääkatkaisijasta koko hevostallin sähkö. Oli ennalta arvattavissa, että hevostalli kuluttaa eniten sähköä mikä myös näkyy mittauksissa.

Kuvasta 12 näkee virtojen laskevan minimissään 1,961 A:n ja 6,677 A:n välille (L1 1,961 A L2 3,396 A L3 6,677 A). Tässä minimissä on mukana kaksi omakotitaloa ja iso verstaas varastoineen. Epäsymmetrinen kuorma selittyy väliaikaisten yksivaiheisten sähkölämmittimien ja lämminvesivaraajien käytöllä. Isoin yksittäinen sähkön kuluttaja on hevostalli. Seuraavaksi mittari asennettiin hevostallin sähkökeskukseen, jotta saataisiin tarkempaa kulutusta sieltä.

Tallin mittauksista huomaa niin sanotun pienen tilan mittaushyödyt. Tila on jaettu kahteen osaan, uuteen ja vanhaan. Molemmissa osissa on oma sähkökeskus, joista saa helposti erotettua uuden ja vanhan talliosan toisistaan. Myös valaistuksen laadun vaikutusta pääsi kokeilemaan. Tallissa on käytössä LED-lamppuja, loisteputkia ja monimetallilamppuja eri tilojen valaistukseen. Vaiheiden jännitteiden THD:n mittaustulokset näkyvät kuvassa 13. THD -arvot todettiin hyvänlaatuisiksi.



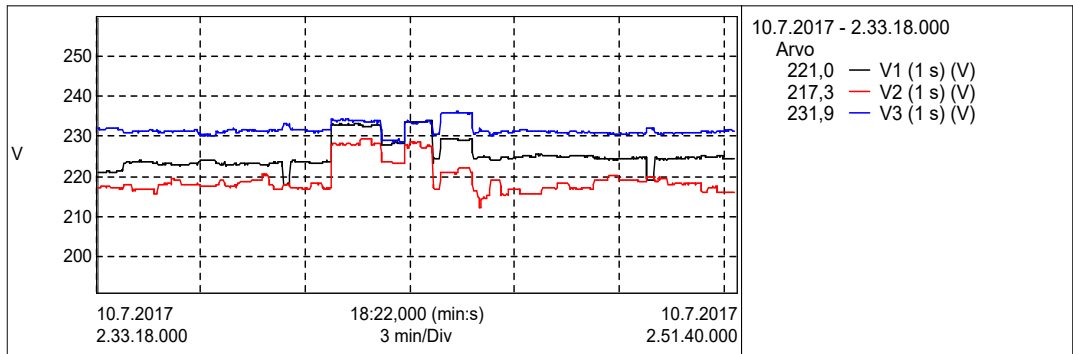


Kuva 13. Jälkimittaus. Tallin jännitteiden THD.

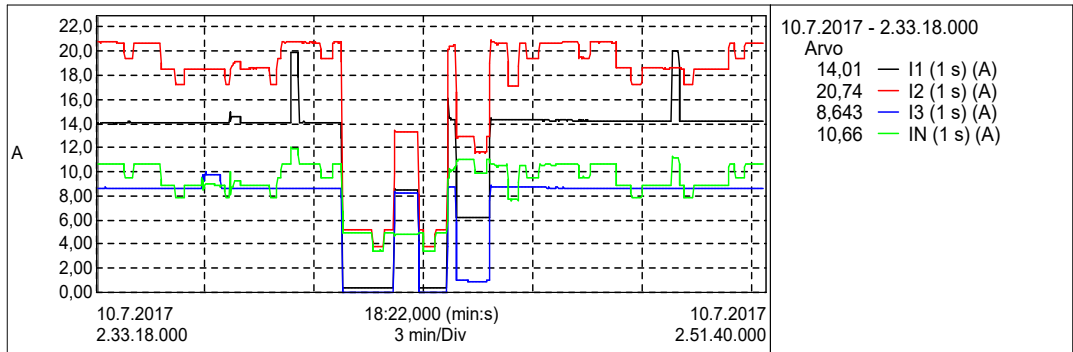
Pienen mitattavan tilan hyödyt tulevat myös siinä ilmi, kun otetaan yksittäisiä sähkölaitteita pois käytöstä ja huomaa saman tien niiden vaikutuksen kulutuksiin. Suurin yksittäinen kuluttava sähkölaite oli kolmivaiheinen väliaikainen 6 kW:n lämpöpuhallin, joka oli mittausten alkaessa päällä.

Mittauksen keskivaiheella vanha tallin osa johon puhallin oli kytketty, otettiin pois päältä. Jäljelle jäävässä vaiheessa L2 mittauksissa näkyvä alle 1 kW:n sähkökoje oli kaksi kappaletta sähköpattereita, jotka lämmittivät sosiaalitiloja. Vaiheen L1 yksittäiset piikit selittyvät yksivaiheisella lämminvesivaraajalla jonka vastukset kytkeytyivät väliajoin päälle.

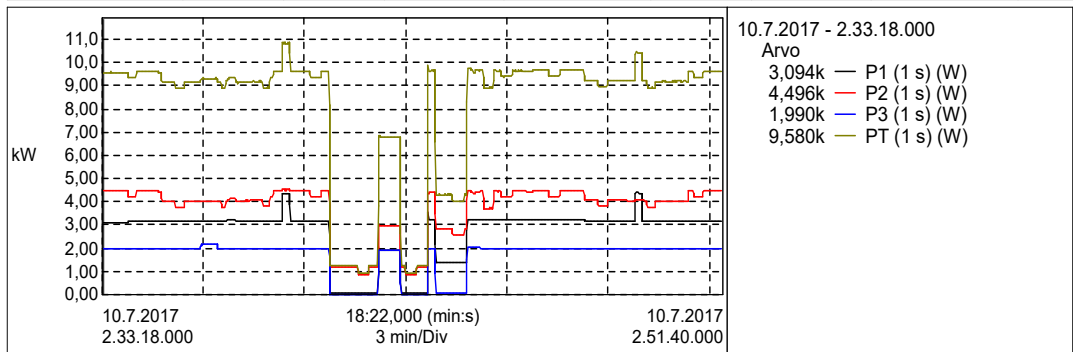
Nimi	KA	MIN	MIN päivämäärä	MIN aika	MAX	MAX päivämäärä	MAX aika	Yksiköt
V1 (1 s)	225,417	217,980	10.7.2017	2.38.39.000	234,060	10.7.2017	2.42.52.000	V
V2 (1 s)	219,393	212,190	10.7.2017	2.44.19.000	229,480	10.7.2017	2.41.08.000	V
V3 (1 s)	231,651	228,370	10.7.2017	2.42.02.000	236,170	10.7.2017	2.43.39.000	V



Nimi	KA	MIN	MIN päivämäärä	MIN aika	MAX	MAX päivämäärä	MAX aika	Yksiköt
I1 (1 s)	12,973	0,372	10.7.2017	2.40.27.000	20,067	10.7.2017	2.49.09.000	A
I2 (1 s)	17,824	3,792	10.7.2017	2.42.29.000	20,863	10.7.2017	2.44.08.000	A
I3 (1 s)	7,891	0,000	10.7.2017	2.40.04.000	9,955	10.7.2017	2.36.17.000	A
IN (1 s)	9,149	3,468	10.7.2017	2.42.29.000	11,991	10.7.2017	2.38.39.000	A



Nimi	KA	MIN	MIN päivämäärä	MIN aika	MAX	MAX päivämäärä	MAX aika	Yksiköt
P1 (1 s)	2,682	0,032	10.7.2017	2.40.03.000	4,397	10.7.2017	2.49.09.000	kW
P2 (1 s)	3,718	0,866	10.7.2017	2.42.19.000	4,524	10.7.2017	2.38.50.000	kW
P3 (1 s)	1,647	-0,004	10.7.2017	2.40.03.000	2,170	10.7.2017	2.36.17.000	kW
PT (1 s)	8,047	0,900	10.7.2017	2.42.19.000	10,848	10.7.2017	2.38.50.000	kW



Kuva 14. Jälkimittaus. Tallin kulutukset ja jännitteet.

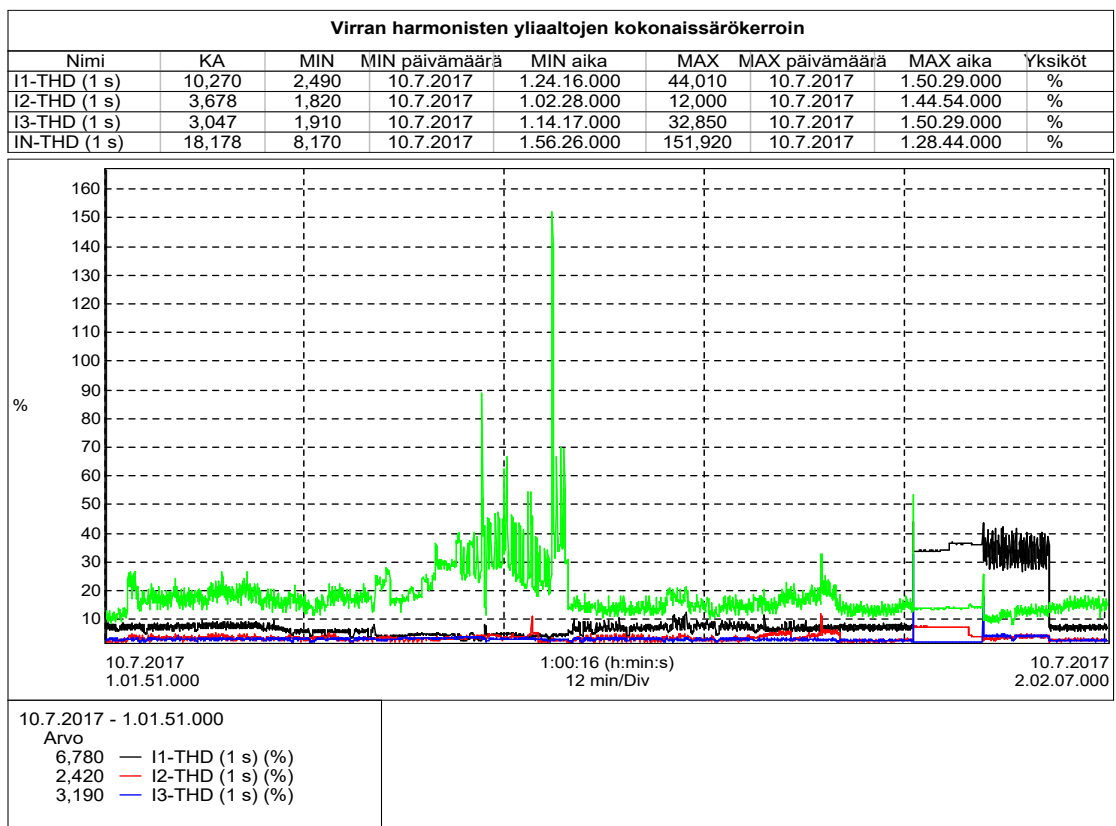
Lähempänä kulutuslaitteita mitattaessa huomaa paremmin, että jännitteissä on epätoivuttaja eroja mikä vaikuttavaa kolmevaiheisiin moottoreihin epätoivotulla tavalla. Tilan vesipumppua syötetään tallin sähkökeskukselta. Epälineaarisen kuormituksen haitat tulevat ilmi myös jännitteen laatuun. Kuvassa 14 tulee ilmi, että keskiarvot hevostallin sähkökeskuksessa olivat (L1 225,417 V, L2 219,393 V, L3 231,651 V), ero pienimmän

ja suurimman arvon välillä on yli 12 voltia mikä korjaantuu, kun kuormaa jaetaan tasaisemmin.

Kolmannen vaiheen tasainen kuormitus ilmaisee, ettei siihen ole kytketty sisävalaistusta ollenkaan. Ulkokenttien valoja ei laitettu päälle mittausten aikana. Jännitteenmittauksista huomaa jännitteenalenemaa, kun kuormitus on epätasainen.

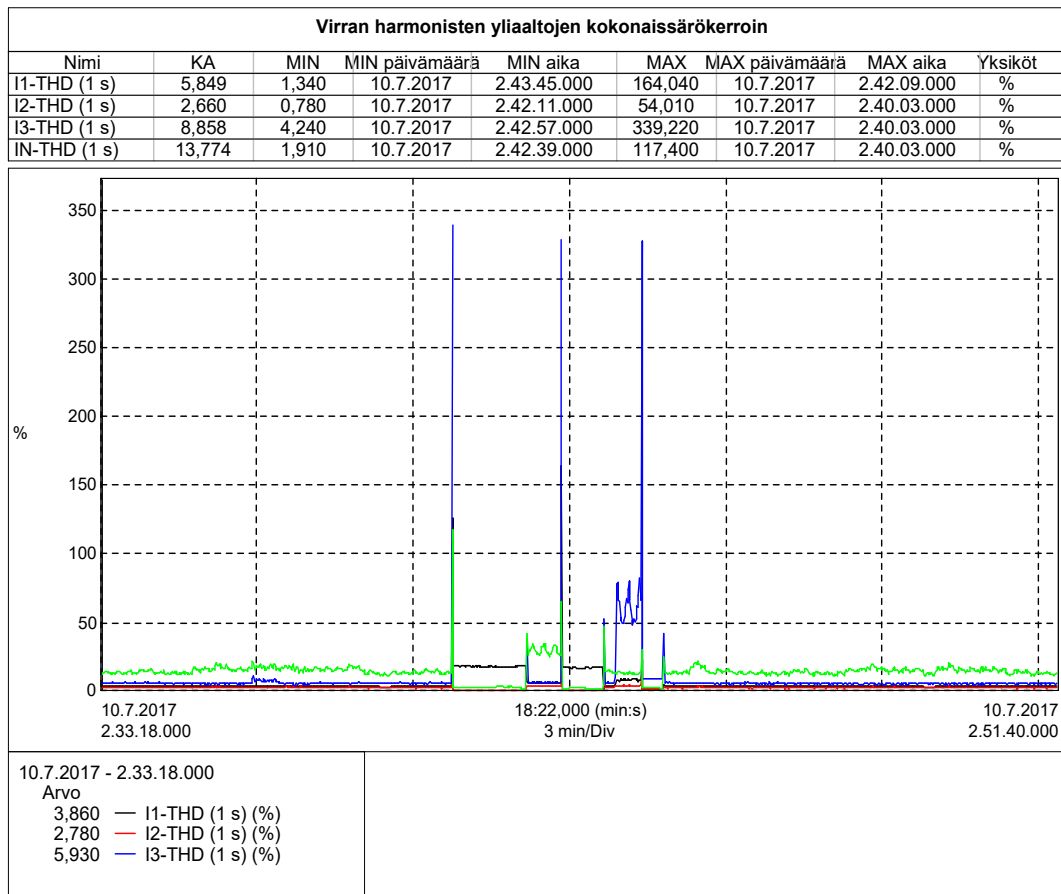
Kokonaiskulutuksesta huomaa, että vaiheen L2 keskikulutus on huomattavasti muita vaiheita korkeampi (L1 12,873 A L2 23,192 A L3 18,528 A) myös kylmällä säällä. Liittymän sulakekoko on 25 A ja vaiheen L2 sulakkeen kesto on ääriarajoilla. Kylmimmillä keleillä pääsulake L2 palaa silloin tällöin ja sen joutuu käydä nostamassa. Sulakkeet ovat tyyppiä pikakatkaisija.

Jälkimittausten koko tilan THDI mittauksissa paljastui, että vaiheen L1 THDI on edelleen korkeampi kuin muissa vaiheissa. Tämä voi johtua yhdestä yksittäisestä lampusta, ehtopuolella olevasta sähkölaitteesta, epälinearisesta kuormasta tai huonosta liitoksesta.



Kuva 15. Jälkimittaus. Kokonais-THDI-mittaus.

Kuvan 15 tallin THDI mittauksissa ei näy mitään epänormaalia, muuta kuin puhaltimen päälle- ja poislaittamisen tehopiikit.



Kuva 16. Jälkimittaus. Tallin THDI.

Toinen mittauskerta tukee mitatuilla tuloksilla ensimmäistä mittauskertaa. Epälineaarista kuormaa oli edelleen ja suurimmat kuormat olivat vaiheessa L2. Kuvan 16 THDI-mittauksissa vaiheessa L1 oli edelleen eniten säröilyä. Muut mittaus tulokset eivät olleet poikkeavia standardin annetuista arvoista. Jälkimittauksen kaikki mittaus tulokset löytyvät liitteestä 2.

## 6 Yhteenveto

Ennen tilan laatumittauksien aloittamista askarrutti, onko tämän kaltaisia mittauksia järkevää tehdä. Minkälaiset hyödyt tilallinen niistä mahdollisesti saa? Tila on toiminut jo vuosikymmeniä eikä mitään ihmeellistä ole tapahtunut. Onko taloudellisesti kannattavaa tutkia? Harjoitusmielessä tämä oli hyvin hyödyllinen projekti.

Yhteenvetona mittauksista voin sanoa, että mittaukset menivät hyvin ja molemmat mittaukset tukivat toisiaan. Jos toisella mittauskerralla olisi ollut merkittäviä poikkeavuuksia, ensimmäiseen nähden olisi pitänyt mitata vielä uudelleen. Näin varmistui, että tulokset ovat luotettavia ja laitteita käytettiin oikein.

Tilan sähköasennukset vastaavat nykystandardeja. Asennukset on tehty asianmukaisesti ja siististi noudattaen SFS 6000 -standardia. Kaapeleissa ei löytynyt murtumia, kojeet ovat asiallisessa kunnossa ja maadoitukset on tehty standardin mukaisesti. Valaistus on hyvä ja riittävä talven pimeimpään aikaan.

Tilalliset ovat ajatelleet mahdollisesti investoida seuraavaksi ilmalämpöpumppeihin ja aurinkopaneeleihin. Nämä investoinnit ovat vasta harkinta-asteella mutta toteutessaan antavat hyvin mielenkiintoisen näkökulman uudelleen mittaamiselle sähkön laadun ja yleisen toimivuuden osalta.

Sähkön laadun osalta merkittävin epäkohta oli epäsymmetria vaiheiden kuormitusten kesken mikä aiheuttaa vaiheen L2 pääsulakkeen laukeamista erityisen kylmällä säällä, nollajohtimiin muodostui ei-toivottua virtaa ja vaiheiden kesken jännitteen eroa tallin keskuksella.

Suosituksena on jakaa sähkökuomat tasaisemmin vaiheiden kesken standardin SFS-EN-50160 mukaan. Standardissa suositellaan, että suurin vinokuormitusarvo on  $\pm 10$  % vaihevirtojen keskiarvosta. Kuormitusten tasaamisen jälkeen on hyvä mitata samat mittaukset uudelleen.

Opinnäytetyötä tehdessäni opin paljon eri laatukriteereistä sähkön laadun mittauksiin liittyen sekä sain hyvää oppi tulkitessani mitattuja tuloksia. Sähkön laadun mittaus on tullut itselleni paremmin tutuksi. Käyttämäni Chauvin Arnouxin PEL 103 -analysaattori

on hankittu yritykseni käyttöön, ja tämä opinnäytetyö tarjosi hyvän harjoitusalueen analysointia käyttöön.

Sähkön laadun mittaus tilan käyttäjien näkökulmasta paljasti, että sähkön laatu on pääasiassa hyvää. Sähkönjakelu oli mittaushetkellä hyvänlaatuista, eikä katkoja syntynyt. Ennen mittauksia oli tiedossa vaiheessa L2 olevan liian paljon kuormitusta, mutta ei ollut tiedossa miten iso vinokuorma koko tilalla on. Korjaustoimenpiteenä suosittelen vaiheiden välistä kuormituksen tasoittamista.

## Lähteet

ABB. 2000. TTT-käsikirja. E-kirja.

Sähköjärjestelmien kuntotutkimus. Sähkön laadun arviointi ja mittaaminen. 2006. ST-97.21. Sähkötieto ry

Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3., painos. Helsinki: Otatieto.

SFS-KÄSIKIRJA 600-1-1. Pienjännitesähköasennukset. 2017. Osa 1-1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1-6). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto ry.

SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. 2010. 4., painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto ry.

Kulutuksen ja tuotannontasapainon ylläpito. Verkkoaineisto. Fingrid Oy. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/> Luettu 6.4.2018.

Kontturi, Marko & Ålander, Jouni. 2008. Energiasäästölamppujen verkkovaikutukset. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti.

Chauvin Arnoux Group. 2014. Teho ja tehon mittaaminen. E-kirja.

Aura, Lauri ja Tonteri, J. Antti. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 3.-6., painos. Helsinki: WSOYpro Oy

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Aallonpituus>

[http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/uutiset/uutisarkisto/2009/fi\\_FI/200509\\_puhtaampaa\\_sahkoa/\\_files/81448763833058759/default/yliialto.gif](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/uutiset/uutisarkisto/2009/fi_FI/200509_puhtaampaa_sahkoa/_files/81448763833058759/default/yliialto.gif)

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/images/vanhaamk/etuotanto/030503/5gxiJBvZD/yliialto.jpg>

## Analysaattori PEL 103 Chauvin Arnoux

# Optimoi energiatehokkuutesi



Ergonomiset ja kompaktit, magneettisella takakannella varustetut energiatallentimet soveltuvat erinomaisesti asetettavaksi sähkökaappiin mittausten ajaksi.

- 1 -vaihe-, 2 -vaihe- sekä 3 -vaiheasennuksille
- Laitteen kytkeminen ei vaadi sähköpiirin katkaisemista
- Harmonisten yliaaltojen analysointi 50:een yliaaltoon asti
- Kommunikointi: Bluetooth®, Ethernet sekä USB
- Virtapihtien automaattinen tunnistus
- Tiedostojen tallennus SD-kortille
- DataView® -ohjelmisto reaaliaikaiseen kommunikointiin, tulosten analysointiin sekä mittauspöytäkirjojen luontiin

Teho- ja energiatallennin

IP  
54

1000 V CAT III





## Analysaattori PEL 103 Chauvin Arnoux

### SOVELLUKSIA

#### Energiankulutuksen valvontaan

PEL 100 -sarjan laitteet soveltuvat käytettäväksi myös vähäisempien kulutusten mittaamiseen erilaisissa kiinteistöissä (toimisto, tehdas jne.). Laitte sallii tallennettujen tulosten tarkastelun mittausten ollessa käynnissä.

#### Ehkäisevästi

Kytkeväällä laite kiinni sähkökaappiin pidemmäksi aikaa, saadaan tallennetuksi kaikki verkon päto-, loisk- sekä näennäsitehot. Laitte tallentaa automaattisesti asetettujen raja-arvojen ylittävät tapahtumat. Tulosten tarkasteluun DataView® -ohjelman avulla luodut mittauspöytäkirjat.



#### Kulutustiedot keskitetysti

Käyttämällä useampaa PEL 100 -sarjan tallenninta samassa kohteessa, saadaan aikaiseksi koko laitteiston kattava kokonaisanalyysi. Tulosten tarkastelu onnistuu Ethernetin, USB:n tai Bluetoothin kautta reaaliajassa.

- katuvalaistus
- kiinteistöjen valaistus
- sähköverkostojen valvontaan
- yleiset 1-vaihejärjestelmät
- 3-vaihejakelu

#### Mittaa mitä säästät

Tallennetut tiedot ovat aika- ja päivämäärämerkittyjä. Kyseinen toiminto tekee muutostöistä koituvien säästöjen laskemisesta helppoa. Viitearvona käytetään ennen muutostöitä tehtyjen mittausten tuloksia, mitkä löytyvät tallennettuna laitteen muistista. Oikein kytkettynä, laite antaa nopean yleiskuvan asennuksen laadusta. PEL auttaa parannusta kaipaavien kohteiden paikantamisessa. Sähköpiiriä ei tarvitse katkaista mittausten ajaksi. Tämä toiminto on suureksi eduksi pidempiaikaisissa mittauksissa.

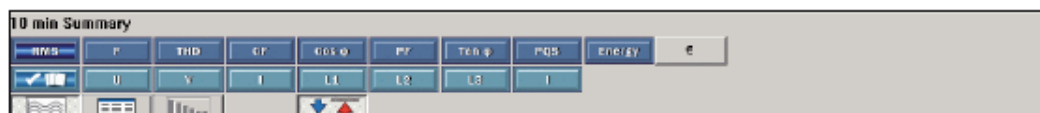
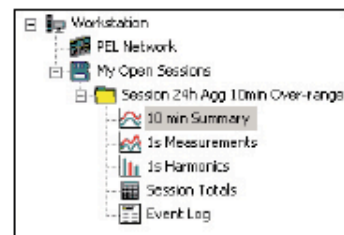


#### DataView -ohjelmisto:

- ☒ PEL 100:n konfigurointiin
- ☒ Tarkistaa, että kytkennät ovat tehty oikein ennen mittausten aloittamista
- ☒ Siirtää kaikki tallennetut tiedostot mittalaitteelta
- ☒ Näyttää kaikki parametrit

DataView®:n avulla luot tarpeisiisi sopivia mittauspöytäkirjoja.

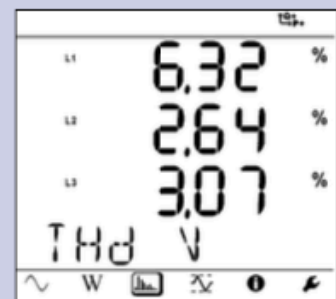
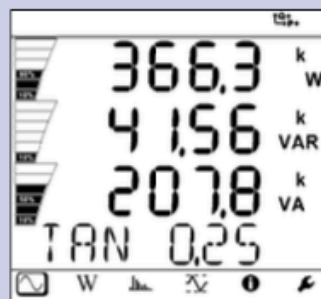
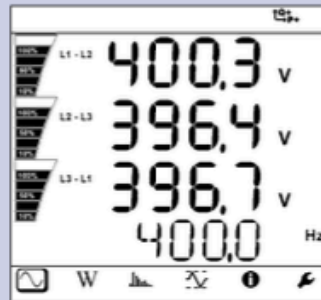
Helppo tapa luoda energian kulutusta kuvaavia raportteja.



## Analysaattori PEL 103 Chauvin Arnoux

### Toiminnot:

- Taajuus, jännite ja virta TRMS
- Tehon arvot VA, W; var
- Energian arvot VAh, Wh (kulutettu/ tuotettu) sekä varh (4 kvadranttia, ja kokonaisenergia)
- $\cos \varphi$ ,  $\tan \Phi$  ja tehokerroin (PF)
- Huippukerroin
- THD laskettu virroille ja jännitteille
- Yksittäisten yliaaltojen mittaus 50:een yliaaltoon asti sekä virralle että jännitteelle
- DC, 50Hz, 60Hz sekä 400Hz
- AC ja AC+DC TRMS
- LCD -näyttö (PEL 103)
- Tallentaa kaikki tulokset SD-kortille
- Automaattinen virtapihtien tunnistus
- Sähkönjakelujärjestelmät: yksi-vaihe, kaksi-vaihe, kolmi-vaihe, nollalla tai ilman jne.
- Kommunikointi: USB, Bluetooth
- Tiedostojen siirtoon, reaaliaikaiseen tarkasteluun sekä pöytäkirjojen luontiin soveltuva ohjelmisto (PC)

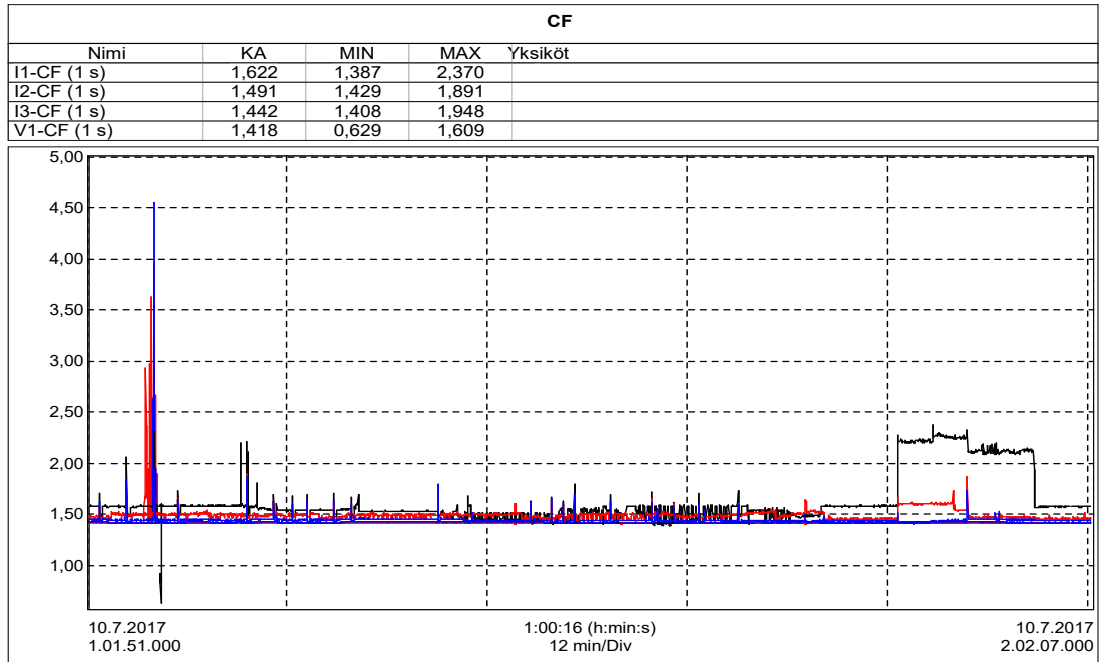


## Analysaattori PEL 103 Chauvin Arnoux

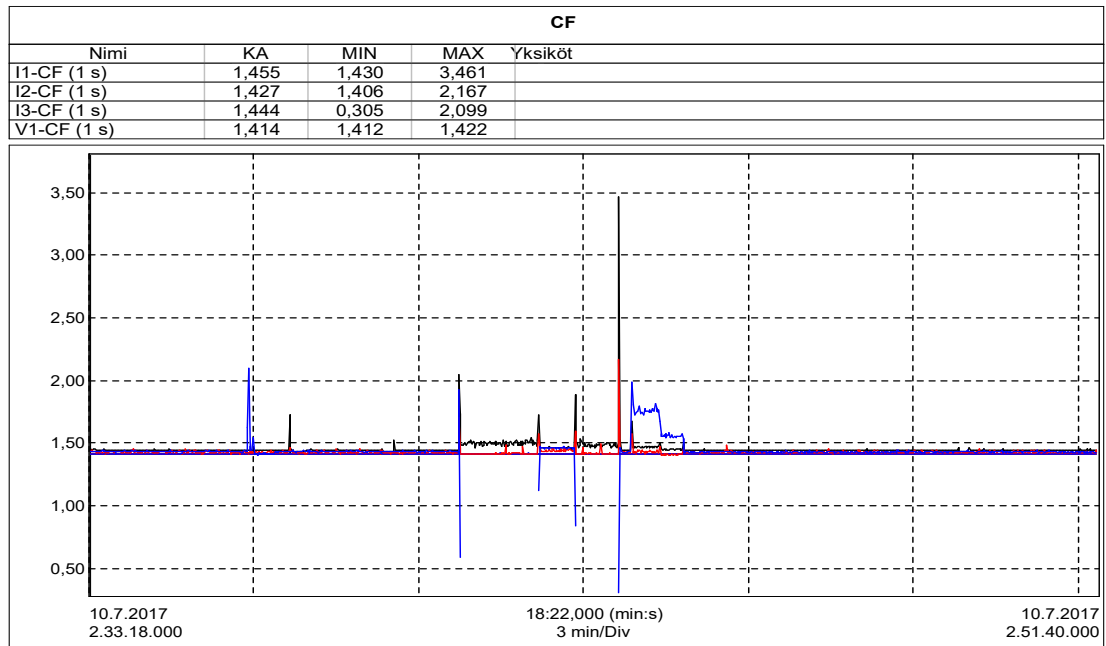
Tekniset tiedot:

Mallit	PEL102	PEL103
Näyttö	-	Kyllä, kolmiosainen
Sähkönjakelujärjestelmä	Yksi-, kaksi-, kolmevaiheinen, nollalla tai ilman sekä muita konfigurointeja	
Tarkkuusluokka	0,2 %	
<b>Sähköteknilliset tiedot</b>		
Tulojen määrä	3 jännitetuloa / 3 virtatuloa + nolla	
Verkkotaajuudet	DC, 50 Hz, 60 Hz & 400 Hz	
Jännitealue	Jännite: 0...1000V <sub>DC</sub>	
Virtapihdit	MN93 MN93A C193 A193 och MA193 PAC93 E3N	2...240 A <sub>AC</sub> 0,005 A <sub>AC</sub> ...5 A <sub>AC</sub> /0,1A...120 A <sub>AC</sub> 3 A...1200 A <sub>AC</sub> 100 mA...10000 A <sub>AC</sub> 10 A...1000 A <sub>AC</sub> /10A...1400 A <sub>DC</sub> 50 mA...10 A <sub>DC</sub> / 100 mA...100 A <sub>AC/DC</sub>
Jännitteen / Virran muuntosuhde	Jopa 65 kV / Jopa 25 kA	
<b>Laskettavat suureet</b>		
Teho	10 W...10 GW / 10 var...10 Gvar / 10 VA...10 GVA	
Energia	Jopa 4EWh / 4 EVAh / 4 Evarh	
Vaihe	cos φ, tan Φ, PF	
Harmoniset yliaallot	50:nteen yliaaltoon asti	
<b>Lisätoiminnot</b>		
Vaiheen osoitus	Kyllä	
Min / Max	Kyllä	
Kiinnitys	Magneetilla tai koukulla	
<b>Tallennus</b>		
Otanta / Keskiarvon muodostus / Kirjaaminen	128 krt/ajanjakso - 1 mittaus/s - 1 min...60 min	
Muisti	SD kortti (4GB / mittaus), yhteensä 32 GB)	
Kommunikointi	Bluetooth* (Luokka 2), Ethernet, USB	
Käyttöjännite	110 V - 250 V (+ 10 %, - 15 %) @ 50-60 Hz & 400 Hz	
Sähköturvallisuus	EN 61010 600V CAT IV – 1000V CAT III	
<b>Mekaaniset tiedot</b>		
Koko	256 x 125 x 37 mm ilman virtapihtejä	
Paino	900 g	950 g
Suojakotelointi	IP54 - UL	

Jälkimittaustuloksia, CF

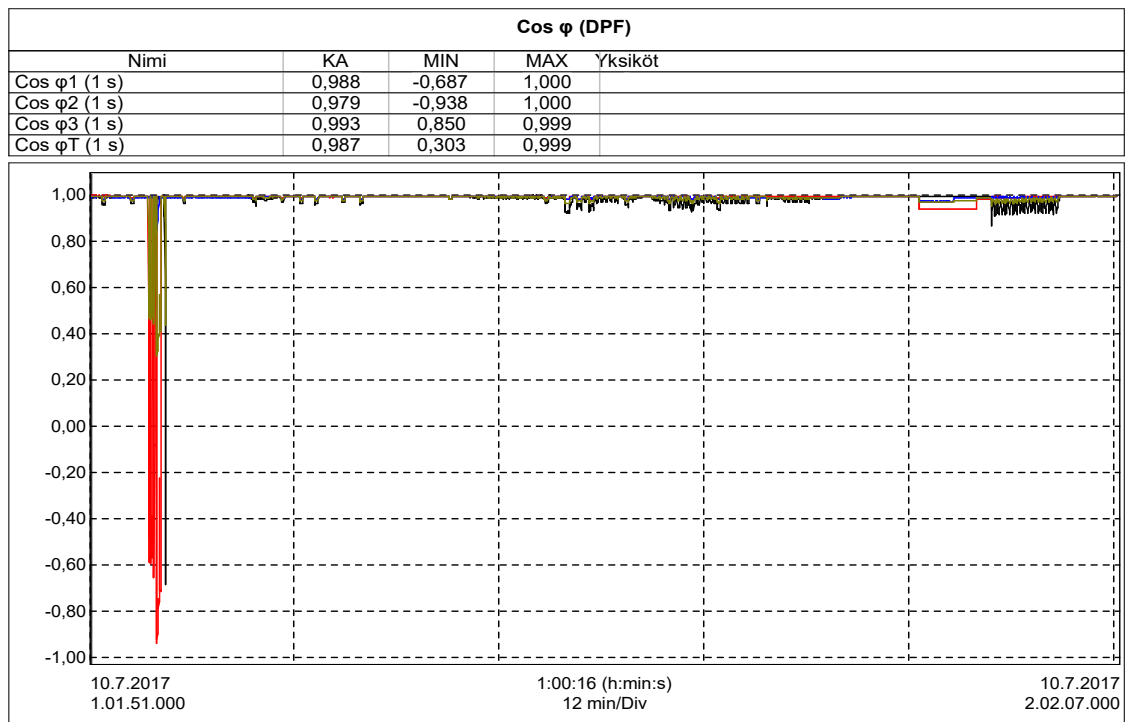


Kuva 17. CF koko tila.

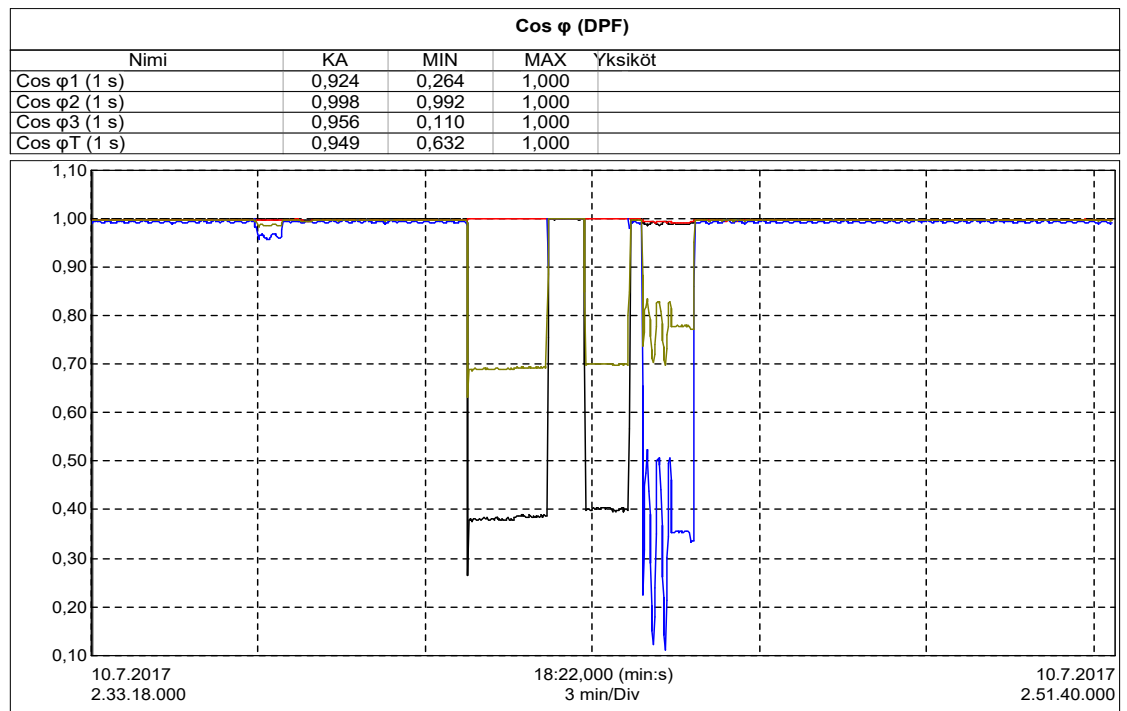


Kuva 18. CF talli.

Jälkimittaustuloksia, COS fii

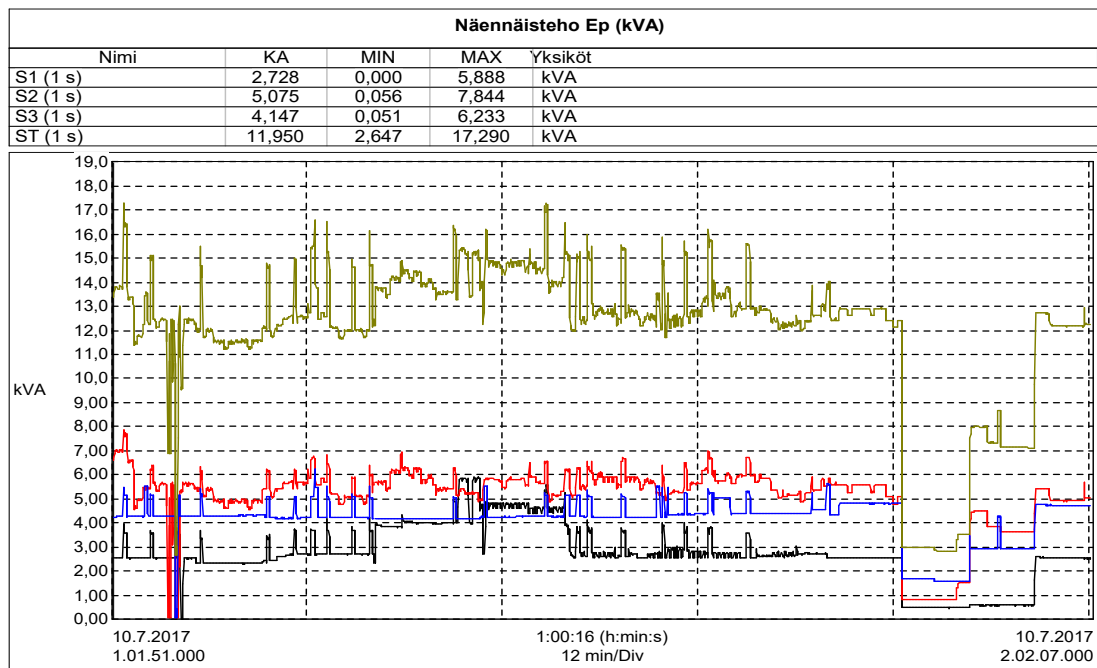


Kuva 19. COS fii, koko tila.

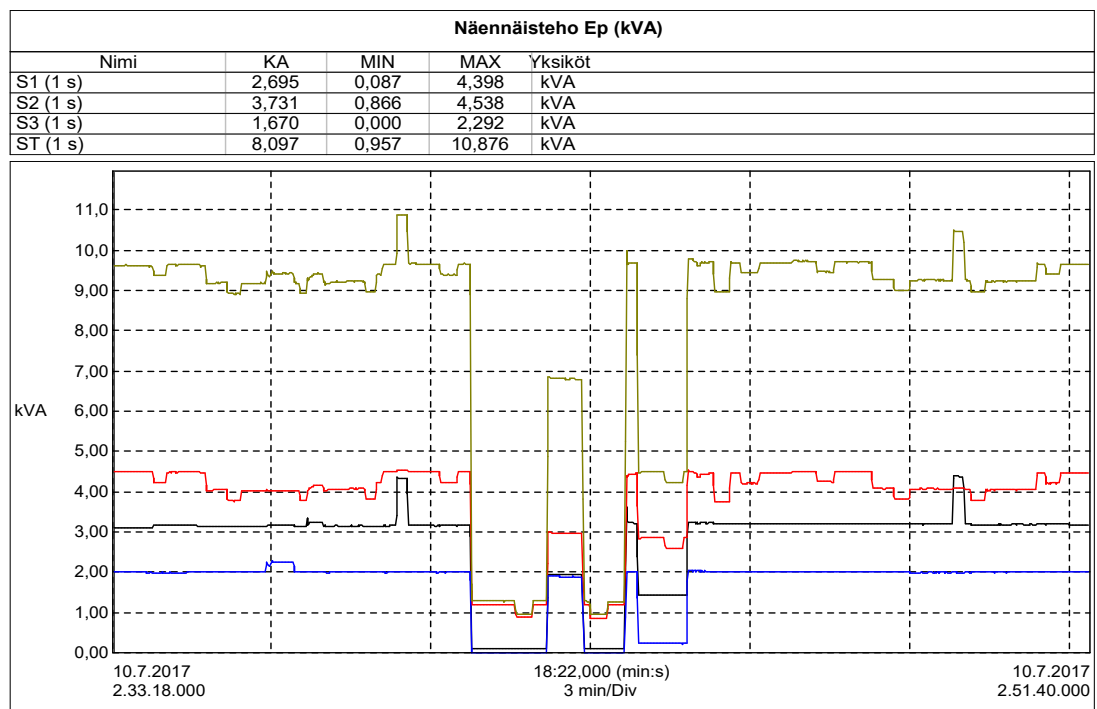


Kuva 20. COS fii, talli.

Jälkimittaustuloksia, näennäisteho

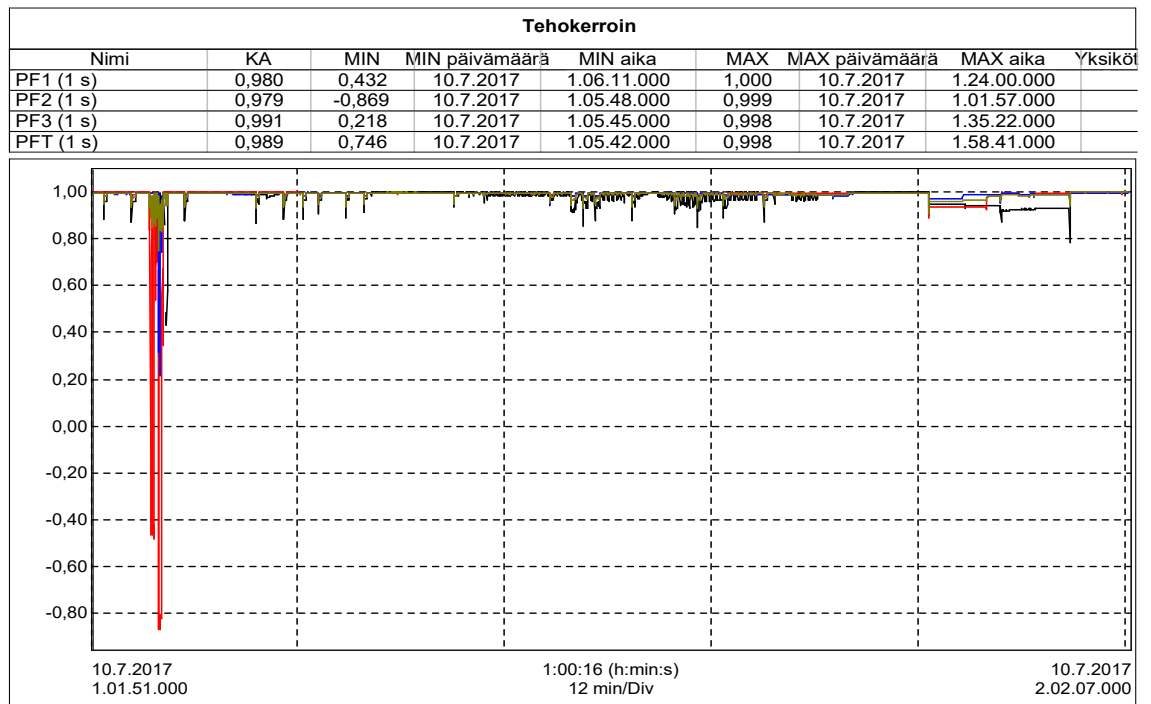


Kuva 21. Näennäisteho, koko tila.

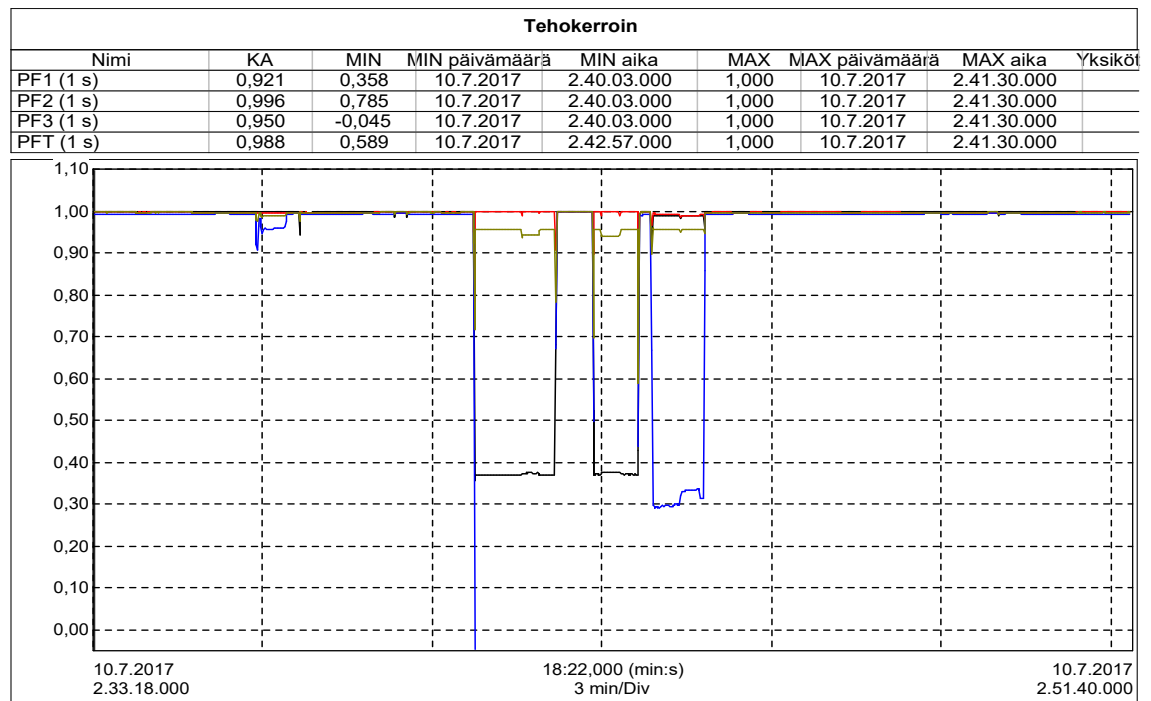


Kuva 22. Näennäisteho, talli.

Jälkimittaustuloksia, tehokerroin

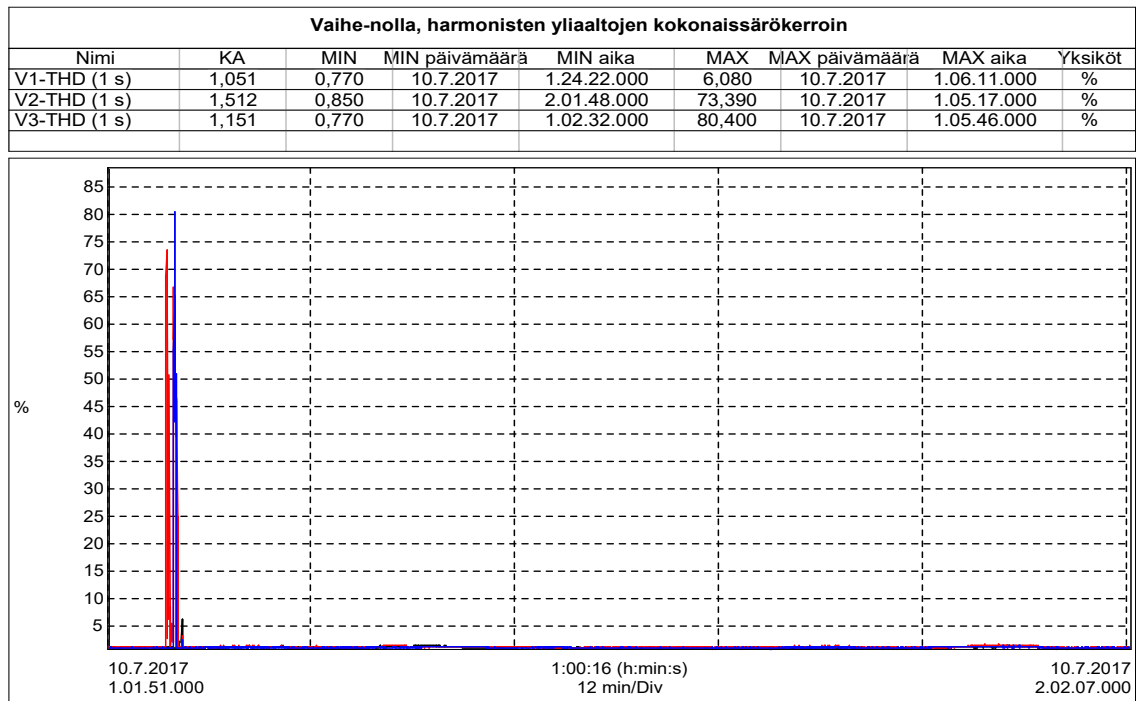


Kuva 23. Tehokerroin, koko tila.

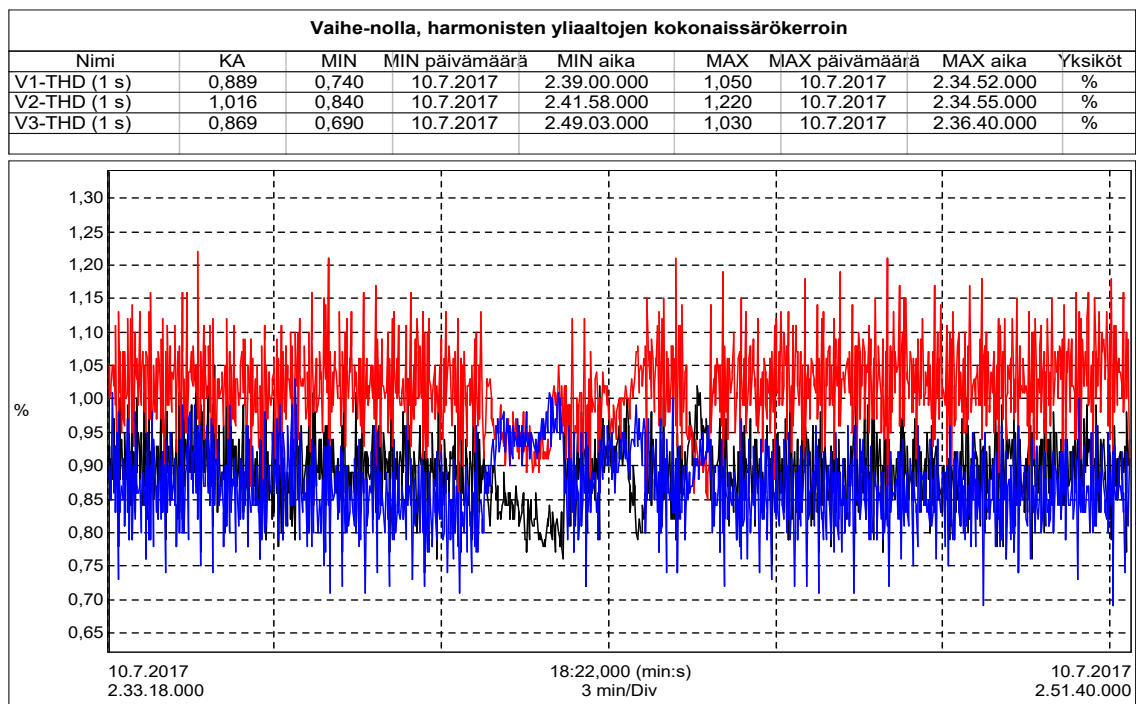


Kuva 24. Tehokerroin, talli.

Jälkimittaustuloksia, THDV



Kuva 25. THDV, koko tila.



Taulukko 26. THDV, talli.