



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

SÄHKÖNLAADUN MITTAUS JA ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan koulutusala
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Pia Kärämä

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

KÄRSÄMÄ, PIA:

Sähkönlaadun mittaus ja energiatehokkuuden parantaminen

Muovitekniikan opinnäytetyö, 48 sivua, 8 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena on sähkölaadun mittaus ja energiatehokkuuden parantaminen. Sähkönlaadun mittaus tehtiin Hollolan kunnan virastotalossa. Mittauksen perusteella haluttiin selvittää esiintyykö virastotalon verkostossa sähkön laatua heikentäviä häiriöilmiöitä, joita ovat esimerkiksi harmoniset yliaallot. Myös loistehon osuus pätötehosta haluttiin selvittää.

Työn teoriaosassa tutustutaan vaihtosähkön ominaisuuksiin, mittausmenetelmiin ja sähkön laatuun. Sähkön laatuongelmat aiheutuvat usein käyttäjän omista laitteista ja sähkön käytöstä. Lisäksi perehdytään teoreettisesti tuotteisiin ja järjestelmiin, joilla parannetaan sähkönlaatua ja jotka johtavat oikean käyttötavan mukaisesti energiakustannusten alenemiseen.

Työssä käsitellään myös teoreettisesti energiantehokkuutta toimistotiloissa valaistuksen suhteen, ja tehdä ehdotuksia sähköenergian säästämiseksi vertailemalla loisteputkilamppujen energiankulutusta LED valoihin. Oikein suunnitellulla valaistuksella ja valaistuksen älykkäällä ohjaamisella voidaan vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen määrään ja sitä kautta myös hiilidioksidipäästöihin.

Työn loppuosassa analysoidaan saatuja mittaustuloksia ja verrataan tuloksia standardissa SFS-EN 50160 annettuihin arvoihin. Analysoinnin perusteella tehdään jatkotoimenpide suosituksia sähkön laadun parantamiseksi. Sähkön laatu on pääosin hyvä, mittauksista ilmeni kuitenkin sähköverkon sisältävän jonkin verran harmonisia yliaalloja ja loistehoa, joten niiden suodatus on tarpeellista.

Asiasanat: Sähkönlaatu, harmoniset yliaallot, loisteho, kompensointi, valaistus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Engineering

KÄRSÄMÄ, PIA: Power quality measurement and improvement of energy efficiency

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 48 pages, 8 pages of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

The topic of this thesis was the measurement of power quality and improving energy efficiency. Power quality measurement was performed in Hollola's municipal offices. The intention was to find out if there any phenomena interfering with power quality in the building's network, like for example harmonic waves. Another aim was to determine the portion of reactive power in active power.

The theory part explores the properties of alternating current, methods of measuring and power quality. Power quality problems are often caused by the user's own devices and the way of using electricity. This part also introduces the products and systems that are used to improve power quality and lead to the right way of usage in order to lower the energy expenses.

The thesis also theoretically deals with the theory of energy efficiency in illumination of office spaces, and makes proposals to save electrical energy by comparing the energy consumption of fluorescent bulbs and LED lights. With a correctly planned illumination and smart controlling of illumination, a building's energy expenses and also the carbon dioxide emissions can be reduced.

The final part of the thesis analyzes the measurement results obtained and compares them with the values given in the standard SFS-EN 50160. Further actions will be taken on the basis of the analysis to improve the power quality. Power quality is mostly good. However, the measurements showed the electricity grid contains some harmonics and reactive power, so filtration is necessary.

Key words: power quality, harmonics, reactive power, compensation, lighting

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Hollolan kunnan virastotalolle. Ensinnäkin haluan kiittää Teknisen huollon (varikko) Talotekniikkamestari Arto Nuutilaa mielenkiintoisen, mutta samalla myös haastavan työn mahdollistamisesta.

Vaikka pääaineeni on muovitekniikka, niin perusopintoihimme kuuluu energiatehokkuus sekä sähkö- ja automaatiotekniikka, joten suurimmat kiitokset kuuluvat opinnäytetyön ohjaajalleni Markus Halmeelle, jonka myötävaikutuksesta mielenkiintoni heräsi sähkö- ja laatuasioihin. Kiitän häntä myös hyvästä ohjauksesta, kannustuksesta ja opinnäytetyön mahdollistamisesta. Haluan kiittää myös yliopettajamme Pirkko Järvelää opinnäytetyön aiheen hyväksymisestä ja kannustavasta asenteesta. Kiitokset kuuluvat myös Sähköurakoitsija Jouko Pylkkäselle asiantuntemuksesta, neuvoista, mittaustuloksista ja ennen kaikkea mukavasta yhteistyöstä. Lämpimät kiitokset myös kaikille ystäväilleni ja läheisilleni, jotka jaksoivat tukea ja kuunnella minua opinnäytetyöprosessin aikana.

Lahdessa 01.03.2015

Pia Kärämä

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Opinnäytetyön tavoite	1
1.2	Opinnäytetyön rajaus	1
2	HOLLOLAN KUNNAN TEKNINEN TOIMI	2
2.1	Hollolan virastotalo	2
2.2	Teknisen toimialan tulosalue	2
3	MITTAUSTEKNIikka JA SÄHKÖN LAATU	4
3.1	Sähkön laatu	6
3.2	Laadun määritelmä	6
4	VAIHTOVIRTA	7
4.1	Kolmi- ja yksivaihejärjestelmä	7
4.2	Järjestelmän tunnuks	8
5	VAIHTOSÄHKÖN TEHOT	9
5.1	Pätotho	10
5.2	Loistho	10
5.2.1	Induktiivinen loistho	10
5.2.2	Kapasitiivinen loistho	11
5.3	Näennäistho	11
5.4	Tehokerroin ja -kolmio	11
6	YLIAALLOT JA KOMPENSOINTI	13
6.1	Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot	14
6.2	Yliaaltojen haittavaikutukset	14
6.3	Kompensointi	15
6.4	Kompensoinnin toteutus	16
7	KOMPENSOINTILAITTEET	18
7.1	Kondensaattoriyksiköt	18
7.2	Rinnakkaiskondensaattoriparisto	19
7.3	Estokelaparisto	20
7.4	Yliaaltosuodatin	20
7.5	Kolmannen yliaallon suodatin	21
7.6	Tyristorikytketty kondensaattoriparisto	22
7.7	Aktiivisuodatin	22

8	SÄHKÖN LAADUN MITTAUS	23
8.1	Järjestelmän kuvaus	24
8.2	Mittaustulokset	24
8.2.1	Päto-, lois- ja näennäisenergian kulutus	25
8.2.2	Verkkotaajuus	25
8.2.3	Jännitetason vaihtelut	25
8.2.4	Tehon vaihekulmat	25
8.2.5	Harmoniset yliaaltojännitteet ja -virrat	26
8.2.6	Nopeat jännitemuutokset ja välkyntä	27
8.2.7	Jakelujännitteen epäsymmetria	28
9	VALAISTUKSEN VAATIMUKSET	30
9.1	Sisävalaistusstandardi	31
9.2	Valaistuksen suunnittelu	32
10	VALONLÄHTEET	33
10.1	Loisteputkivalaisimet	33
10.2	Pienoisloistelamppu	34
10.3	Liitäntälaitteet	34
10.4	LED-valo	35
10.4.1	LED-valoputki	36
10.4.2	Valojen ohjaustapoja	38
11	VIRASTOTALON VALAISTUS	39
11.1	Valaisimien energiankulutus	39
11.2	Energiatehokkaampi valaistus	40
12	JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET	41
13	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	48

LYHENNELUETTELO

Cos φ	Tehokerroin
E_m	Valaistusvoimakkuus
ErP -direktiivi	Puitedirektiivi energiaa käyttävien tuotteiden ekologisen suunnittelun vaatimuksista
f	Taajuus, Hz
I	Virta, A
L	Luminanssi, (cd/m ²)
lx	valaistusvoimakkuuden yksikkö, luksi (lx=lm/m ²)
lm	Valon määrä, lumen
n	Harmonisten yliaaltojen järjestysluku
P	Pätöteho, [W]
Plt	Välkynnän pitkäaikainen häiritsevyysindeksi
Pst	Välkynnän lyhytaikainen häiritsevyysindeksi(mitattuna 10 minuutin ajalta)
Q	Loisteho, [var]
R _a	Värintoistoindeksi
S	Näennäisteho, [VA]
T	Jakson aika
THD	Harmoninen kokonaissärö
TCR	Tyristorihjatulla reaktorin (Thyristor Controlled Reactor)
TSC	Tyristorikytketty kondensaattori, (Thyristor Switched Capacitor)
U	Jännite, V
UGR	Häikäisyindeksi
UPS	Laite, joka takaa virransyötön lyhyissä sähkökatkoksissa
U _p	Pääjännite, 400 V
U _v	Vaihejännite, 230 V
φ	Vaihekulma

1 JOHDANTO

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan sähkön laatua loistehon sekä harmonisten yliaaltojen ja niiden aiheuttamien jännite- ja virtasäröjen osalta. Sähkön laadun mittausta suoritettiin Hollolan kunnanviraston pääkeskuksessa Virastotie 3:ssa. Mittaus suoritettiin SFS EN-50160 standardin mukaisesti yhden viikon mittaisena yhtäjaksoisena mittauksena. Kiinteistössä oli mittausten aikana normaali kuormitus.

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Työssä esitellään erilaisia laiteratkaisuja loistehon ja harmonisten yliaaltojen kompensointiin sähköverkosta. Työssäni analysoin tehdyn sähkön laatumittauksen mittaustuloksia ja verrataan niitä standardissa asetettuihin vaatimuksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on oppia tuntemaan sähkön laadun merkitys ja mittaustulosten tulkinta. Työssäni perehdyn myös virastotalon valaistukseen ja teen havaintojen pohjalta ehdotuksia, jolla saataisiin virastotalolle toimiva, tarkoituksenmukainen ja ennen kaikkea energiatehokas valaistus. Sähkön laadun parantaminen ja valaistus ovat edullisimpia (investointi maksaa loppujen lopuksi itsensä takaisin) ja ehkäpä helpoimpia toimenpiteitä, joilla voidaan säästää/vähentää energiankulutusta ja näin myös pienennetään hiilidioksidipäästöjä.

1.2 Opinnäytetyön rajaus

Työn tuloksena esitetään jatkotoimenpiteet ja esitetään tarvittava kompensointilaitteisto, jolla aiheutuvia ongelmia saadaan pienennettyä tai jopa poistettua kokonaan sähköverkosta. Itse kompensointilaitteen koon määrittämiseen en ota tässä työssä kantaa, vaan sen hoitavat alan ammattilaiset.

Valaistuksen osalta työssäni käsittelen energiatehokkaan valaistuksen toteutusta yleisellä tasolla LED-tekniikan hyödyntäen. Tarkastelen valaistusta vain kulutetun energian osalta, joten kustannuksiin en ota kantaa. Opinnäytetyössä en ota kantaa myöskään turvavalaitukseen, jolle on määritelty omat tarkat laatu- ja määrävaihtimukset.

2 HOLLOLAN KUNNAN TEKNINEN TOIMI

Hollolan kunnan tekninen toimi huolehtii kaavoituksesta ja maankäytöstä. Tekninen lautakunta tekee katu- ja liikennesuunnitelmien lisäksi puisto- ja leikkikenttäsuunnitelmia sekä vastaa niiden kunnossapidosta, kunnan omistamien kiinteistöjen ylläpidosta, jätehuollosta, väestön turvallisuudesta, ympäristönsuojelusta sekä asumiseen ja rakennusvalvontaan kuuluvista asioista.

Tilakeskuksen rakennuttaminen vastaa kunnan toimitilojen uudisrakentamisen, peruskorjausten ja muutostöiden rakennuttamisesta sekä investointisuunnitelman valmistelusta. (Hollola 2014.)

2.1 Hollolan virastotalo

Virastotalo on rakennettu vuonna 1979. Virastotalo koostuu kahdesta rakennuksesta, jossa ensimmäisessä (A) on viisi kerrosta ja toisessa osassa (C) kaksi kerrosta. Virastotalolla palvelee yhteispalvelupiste piipahlus, joka sijaitsee virastotalon a-osan ensimmäisessä kerroksessa. Yhteispalvelupiste tarjoaa useita eri palveluita ja se on toiminut Hollolan kunnanvirastolla jo kaksikymmentä vuotta. Virastotalolla toimii myös ruokala joka sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa, toisessa kerroksessa palvelee perusturvalautakunta, kolmannessa kerroksessa tekninen toimiala ja neljännessä kerroksessa sijaitsee kirjaamo. (Hollola 2014.)

2.2 Teknisen toimialan tulosalue

Teknisen toimialan tulosalueeseen kuuluvat hallinto, maankäyttö, rakennus- ja ympäristövalvonta, kuntatekniikka, tilakeskus, kiinteistöpalvelut, liikunta, palo- ja pelastustoimi, varikko ja vesihuoltolaitos.

Tekninen toimiala järjestää asumisen ja elinkeinoelämän tarvitsemat kuntatekniikan palvelut. Se vastaa myös toimitilojen rakennuttamisesta, kiinteistöjen ylläpidosta ja käyttäjä palveluista. Tekniset palvelut mahdollistavat hallintokuntien palvelutuotannon järjestämällä niille toimivat ja terveelliset tilat. Tekninen toimialan piirin kuuluu myös luoda osaltaan laadukkaat ja monipuoliset edellytykset liikun-

nan harrastamiseen. Lahti Aqua Oy vastaa vesihuoltolaitoksen liiketoiminnasta asetettujen tavoitteiden mukaisesti. (Hollola 2014, 52.)

Vuonna 2013 Hollolan kunnan toimintamenot olivat noin 141,1 milj. € josta teknisen palvelujen toimintameno osuus oli 14,5 % eli noin 20,5 milj. € Teknisen palveluiden toimintameno osuudet jaetaan vielä seuraavasti:

- hallinto 1,7 %
- kuntatekniikka 7,2 %
- tilakeskus 36,2 %
- kiinteistöpalvelut 28,2 %
- liikunta 9,6 %
- maankäyttöpalvelu 3,6 %
- rakennus- ja ympäristövalvonta 2,7 %
- palo- ja pelastustoiminta 8,7 %
- varikko 2,1 %. (Hollola 2014, 59.)

3 MITTAUSTEKNIikka JA SÄHKÖN LAATU

Vaihtosähkön suureita voidaan mitata useilla eri mittalaitteilla ja toiminnoilla.

Mittaus toiminto tapahtuu halutun sähkömuodon selville saamiseksi sen mukaan, mitä halutaan tietää. Vaihtosähköä mitataan muun muassa seuraavilla mittareilla, ja niillä saatavat tiedot ovat seuraavat:

- Kiertorautamittarin avulla mitataan vaihtosuureiden tehollisarvoa. Sitä käytetään ampeerimittarina sekä riittävän etuvastuksen kanssa volttimittarina.
- Sähködynaamisen mittarin avulla voidaan mitata virtaa ja jännitettä. Se toimii myös wattimittarina ja varimittarina. Sähködynaamisella ristikelamittarilla eli suhdemittarilla mitataan tehokerrointa ($\cos \phi$) ja taajuutta.
- Induktioimittarilla voidaan mitata yksi- tai kolmivaiheista pätöenergian kulutusta.
- Kuumalankamittarilla voidaan mitata sinimuodosta poikkeavien virtojen tehollisarvoa, joskin sen käyttö on nykyään vähäistä.
- Termoristimittarin avulla mitataan virran tehollisarvoa.
- Sähköstaattista volttimittaria käytetään lähinnä tarkkuusmittareina sekä energian suurkäyttäjien mittareina (tehotariffi).
- Oskilloskoopin avulla saadaan selville mitattavan suureen signaalin muoto, huippuarvo ja jakson aika. Taajuus (f) voidaan selvittää laskennallisesti ottamalla jaksoajan (T) käänteisarvo $1/T$.
- Yleismittarin avulla mitataan sinimuotoisen suureen tehollisarvo ja tassa suureiden aritmeettinen keskiarvo. Yleismittareita on niin analogisia kuin digitaalsiakin saatavilla. (Lindeman & Sahinoja 2000, 63–74).

Loistehon ja sähkön laatuasioissa on nykyaikainen kaukoluettava energiamittari erittäin hyvä väline, joka soveltuu massamittauksiin. Sillä saadaan tietää esimerkiksi loistehon ajallinen vaihtelu.

Hetkellistä tilannetta tai suorittaessa erilaisia säätötoimenpiteitä voidaan käyttää osoittavia mittalaitteita. Mitattaessa jännitettä, virtaa, taajuutta ja $\cos \phi$ käytetään pihtimittareita (kuva 1).



KUVA 1. Pihtimittari (Fluke 2014).

Yksi- ja kolmivaiheisella analysointilaitteella (kuva 2) voidaan tutkia jännitteiden, virtojen ja tehojen yliaaltopitoisuuksia sekä tulokset voidaan tallentaa PC:lle. Teho- ja / tai laatuanalysointilaitteet ovat rekisteröiviä laitteita, joilla voidaan tehdä kuormitustutkimuksia ja tallentaa vaikeasti havaittavia jännitemuutoksia haluttuna ajanjaksona. (Männistö ym. 2006, 108.)



KUVA 2. Analysointilaitteet ja virtapihdit suurten virtojen mittaamiseen (Fluke 2014).

3.1 Sähkön laatu

Sähkön laatu muodostuu pääasiassa kahdesta tekijästä, sen toimitusvarmuudesta sekä siirrettävän jännitteen laadusta. Voimayhtiöt toimivat sähkön tuottajina ja tukkumyyjinä. Sähkön vähittäisjakelusta huolehtivat sähkölaitokset, jotka puolestaan huolehtivat siitä, että verkossa jaettavan sähköenergian on täytettävä kansalliset laatuvaatimukset eli standardit. (Fortum 2014.)

Sähkön tuotanto, jakeluverkko, asiakkaan oman sähköverkon rakenne ja kunto sekä verkkoon kytkettävät laitteet tuovat sähkön laatuun omat rajoituksensa ja häiriönsä. Jos jännitteen laadussa on puutteita, se voi näkyä esimerkiksi valojen himmentymisenä, kirkastumisena tai välkyntänä. (Fortum 2014.)

3.2 Laadun määritelmä

Laatumääritelmät pohjautuvat pitkälti SFS-EN 50160 -standardiin ja sen eri sovelluksiin. Standardin määrittämän laadun lisäksi Suomessa SENER (Sähköenergia-liitto ry) määrittää standardin täyttävän sähköenergian laadun joko korkeaksi tai normaaliksi. Sähkön epäpuhtauksien pääsy kuluttajalta jakeluverkkoon on kuluttajan vastuulla. Edellä mainittuja sähkön epäpuhtauksia ovat muun muassa yliaallot ja loisteho. (Fortum 2014.)

SFS-EN 50160 -standardi määrittelee rajat seuraaville komponenteille:

- verkkotaajuus
- jännitetaso vaihtelu
- välkyntä
- epäsymmetria
- harmoniset yliaallot
- jännitekuopat/ ylijännite
- signaalijännitteet. (SFS-EN 50160 2010.)

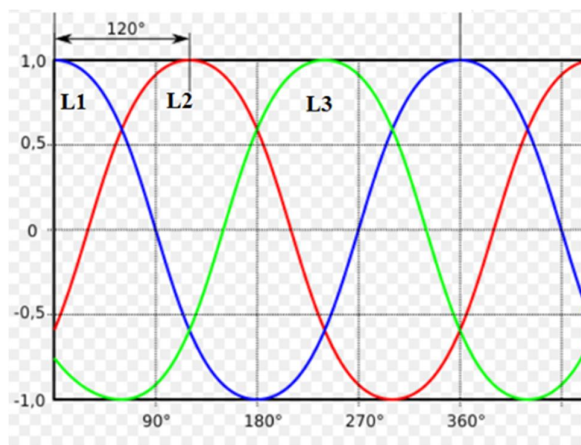
4 VAIHTOVIRTA

Suomen sähköverkoista tuleva virta on yleisesti ottaen vaihtovirtaa ja se toteutetaan kolmivaiheisella vaihtosähköjärjestelmällä. Kolmivaihejärjestelmä on valittu yleisen sähkönjakelun muodoksi muun muassa sen muunneltavuuden ja turvallisuuden vuoksi. (Hietalahti 2013, 80.) Vaihtosähköjärjestelmät voivat olla yksi-, kaksi- tai kolmivaihejärjestelmiä (Harsia 2006).

4.1 Kolmi- ja yksivaihejärjestelmä

Kolmivaihejärjestelmässä voidaan käyttää muuntajia, joiden tehtävä on jännitetason muuttaminen tarkoitukseen sopivaksi. Sähköverkon suojaus on helppo toteuttaa, osa vikatilanteista voi korjaantua itsestään sekä tehon virtaus on tasaista. Nollajohtimella varustettuun verkkoon voidaan liittää yksi- ja kolmivaiheisia kuormalaitteita. (Hietalahti 2013, 82.)

Yksivaihejärjestelmässä vaikuttaa yksi sinimuotoisesti vaihteleva jännite ja kolmivaihejärjestelmässä kolme, jossa kolmessa vierekkäisessä johtimessa on sinimuotoinen, saman taajuinen ja yhtä suuri jännite. Jännitteiden välillä on $1/3$ jakson eli 120° vaihe-ero (kuva 3), jolloin vaiheista yhteensä käytettävissä oleva teho on koko ajan yhtä suuri. Vaihejohtimien lisäksi käytössä on usein myös nollajohdin. (Johnsson 1999, 5.) Suojaustarkoituksia (sähköturvallisuus) varten on virrallisten johtimien lisäksi myös suojajohdin. Suojajohtimen tehtävänä on vikatilanteessa johtaa virta maadoitetun laitteen rungosta maahan. Tällöin syntyy oikosulku, ja sulake palaa tai vikavirtasuojia katkaisee virran. (Harsia 2006.)



KUVA 3. Kolmivaihevirran kaavio. L1 = Sininen L2 = Punainen L3 = Vihreä (Wikipedia 2009).

4.2 Järjestelmän tunnukset

Kolmea vaihetta merkitään sähköjärjestelmässä tunnuksilla L1, L2 ja L3. Vaihejohtimien värikoodi on yleensä

- ruskea (L1)
- musta (L2)
- harmaa (L3).

Sähköjärjestelmän nollaa merkitään N:llä ja suojamaata PE:llä sekä yhteistä nollaja suojamaadoitusjohdinta PEN:llä, joiden tunnusvärit ovat

- sininen (N)
- kelta-vihreä (PE)
- keltavihreä ja sininen (PEN).

Vanhoissa asennuksissa nollajohdon väri voi olla myös harmaa, valkoinen tai vaaleansininen ja suojamaan johdon väri voi olla punainen.

Vaiheen ja nollan välistä jännitettä kutsutaan vaihejännitteeksi (U_v). Vaiheiden välistä jännitettä kutsutaan pääjännitteeksi (U_p). Normaalissa sähköjakeluverkossa vaihejännite on 230 V ($400 \text{ V}/\sqrt{3}$) ja pääjännite on 400 V ($\sqrt{3} \cdot 230 \text{ V}$). (Sähkö 2014.)

5 VAIHTOSÄHKÖN TEHOT

Vaihtovirtapiirissä jännitteen (U) ja virran (I) välillä voi olla vaihe-eroa (φ), eli virran ja jännitteen huippuarvot eivät vaikuta samanaikaisesti. Sekä virran ja jännitteen huippuarvot vaihtelevat jatkuvasti positiivisen ja negatiivisen välillä, siitä johtuen vaihtovirtapiirissä tehot jaetaan:

- pätötehoon
- loistehoon
- näennäistehoon. (Sähkö 2014.)

Yksivaihejärjestelmässä tehoarvot lasketaan vaihejännitteen (U_v) 230 V mukaan kuten kaavasta 1, 2 ja 3 asia esitetään.

Yksivaihe:

$$P = U_v * I * \cos \varphi \quad [W] \quad (1)$$

$$Q = U_v * I * \sin \varphi \quad [var] \quad (2)$$

$$S = U_v * I \quad [VA] \quad (3)$$

Kolmivaihejärjestelmässä pääjännitteen (U_p) 400V mukaan, kuten kaavoissa 4, 5 ja 6 asia esitetään.

Kolmivaihe:

$$P = \sqrt{3} * U_p * I * \cos \varphi \quad [W] \quad (4)$$

$$Q = \sqrt{3} * U_p * I * \sin \varphi \quad [var] \quad (5)$$

$$S = \sqrt{3} * U_p * I \quad [VA] \quad (6)$$

joissa,

P = pätöteho

Q = loisteho

S = näennäisteho

$\cos \varphi$ = tehokerroin

φ = vaihekulma. (Aura & Tonteri 1996, 203,243.)

5.1 Pätöteho

Vaihtovirtapiireissä pätöteho on piirissä todellisuudessa kulutettu teho eli on teho, joka tekee työtä kuten esimerkiksi lämmittää kuormaa, tai sen avulla voidaan synnyttää jotain muuta energiamuotoa. Vaihtosähkötehosta pätöteho on se osa, joka tulee kuluttajan hyödyksi. Pätötehon tunnus on P ja yksikkö on watti (W). (TTY 2014; Aura & Tonteri 1996, 197.)

5.2 Loisteho

Loisteho on sitä sähköenergiaa, joka vaihtosähköverkossa värähtelee edestakaisin tehoa kuluttavan ja tuottavan laitteen välillä. Loisteho johtuu kuormituksen reaktiivisuudesta (virran ja jännitteen vaihe-ero). Reaktiivinen kuorma palauttaa osan energiastaan takaisin muuntoasemalle. Useat sähkölaitteet muun muassa muuntajat, ilmastointi ja kuristimilla varustetut valaisimet tarvitsevat toimiakseen loistehoa. Näin ollen loistehoa on vaikea välttää, koska sitä tarvitaan sähkölaitteiden pyörimisliikkeen aikaansaavan magneettikentän ylläpitämiseen. Muuttuvien magneettikenttien luominen vaatii tilannetta, jossa vaihtovirta jää jälkeen vaihtojännitteestä. Mikäli loistehoa ei tuoteta paikallisesti sitä kuluttavaa laitetta varten, joudutaan loisteho ottamaan sähköverkosta. Loisteho kasvattaa kuorman virtaa, joka puolestaan pienentää johtimen kapasiteettia siirtää hyödyllistä pätötehoa.

Loistehoa syntyy silloin, kun vaihtojännitteen ja -virran välille muodostuu vaihesiirtoa. Jos jännite ja virta olisivat samassa vaiheessa (tasasähkö), olisi kaikki siirrettävä teho vain pätötehoa. Loistehoa esiintyy vain siis vaihtosähköpiirissä. Loistehon siirto lisää johtojen ja muuntajien jännite-, teho- ja energiahäviöitä, sekä vähentää pätötehon siirtokykyä. Loisteho on induktiivisen tai kapasitiivisen kuorman vaatimaa työtä tekemätöntä tehoa. Loistehoa varastoituu ja purkautuu jaksollisesti verkon laitteiden magneetti- ja sähkökentissä. Loistehon tunnus on Q ja yksikkö on vari (var). (Suomen Akatemia 2010; Ahoranta ym. 1986, 339.)

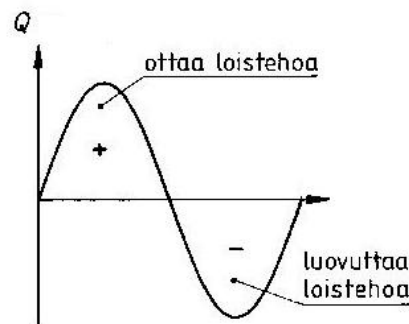
5.2.1 Induktiivinen loisteho

Positiivinen loisteho on induktiivista ja tarkoittaa sitä, että vaihesiirtokulma on positiivinen ja komponentti ottaa loistehoa, jolloin virta on jännitteestä 90° jäljessä

ja aiheuttaa siten virran muutoksen hidastumista, näin ollen induktiivinen loisteho sitoo energian magneettikenttään. Induktiivinen loisteho joudutaan ottamaan siirtoverkosta tai tuottamaan paikallisesti kulutuspaikasta läheisyydessä. (TTY 2014; Ahoranta ym. 1986, 201.)

5.2.2 Kapasitiivinen loisteho

Negatiivinen loisteho puolestaan on kapasitiivista ja tarkoittaa sitä, että vaihesiirtokulma on negatiivinen ja komponentti siis tuottaa loistehoa, jolloin tässä tapauksessa virta on jännitteestä 90° edellä ja aiheuttaa siten jännitteen muutoksen hidastumista. Kapasitiivinen loisteho sitoo energian sähkökenttään. (TTY 2014; Ahoranta ym. 1986, 341.)



KUVA 4. Induktiivisen ja kapasitiivisen kuorman loistehon hetkellisvaihtelu (Ahoranta ym. 1986, 348 muokattu).

5.3 Näennäisteho

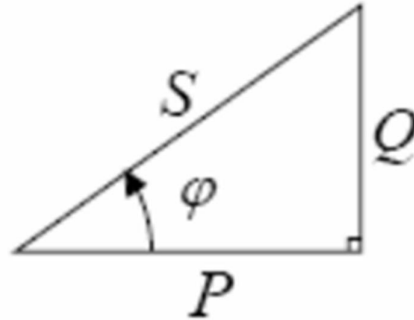
Näennäisteho koostuu pätötehosta ja loistehosta. Se kuvaa sitä kokonaistehoa joka kulutetaan vaihtosähköpiirissä. Näennäisteho on siis näin ollen vain laskennallinen suure, eikä sillä ole mitään fyysikaalista vastinetta. Näennäistehon tunnus on S ja yksikkö on voltiampeeri (VA). (Ahoranta ym. 1986, 342.)

5.4 Tehokerroin ja -kolmio

Tehokerroimen käyttö johtuu siitä, että vaihtovirrassa jännitteellä ja virranvoimakkuudella ei aina ole yhtä aikaa suurin arvonsa, vaan ne ovat vaihesiirtyneet,

jolloin vaihtovirran teho ei ole $U \cdot I$, vaan vaihtovirtatehossa tulo on kerrottava jännitteen ja virran voimakkuuden välisellä vaihesiirtokulmalla eli $\cos \varphi$:llä. Tämän U :n ja I :n vaihesiirtymisen aikaansaavat vaihtovirtapiirissä esiintyvät induktiiviset ja kapasitiiviset vastukset. (Iso tietosanakirja 1937, 778.) Tehokertoimen arvo vaihtelee yhden (puhdas pätöteho) ja nollan (positiivisen tai negatiivisen loistehon) välillä (Ahoranta ym. 1986, 338).

Näennäistehon, pätötehon ja loistehon suhdetta toisiinsa voidaan kuvata niin sanotulla tehokolmiolla joka on esitetty kuvassa 5. Pätö- ja loistehosta muodostuu näennäisteho (kaava 7). Pätö- ja näennäistehon suhde muodostavat tehokertoimen $\cos \varphi$ (kaava 10), eli kun tunnetaan kaksi suuretta, voidaan muut kaksi laskea eri kaavojen avulla.



KUVA 5. Tehokolmio (Wikipedia 2014).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (9)$$

$$\cos \varphi = P/S \quad (10)$$

joissa,

S = näennäisteho

P = pätöteho

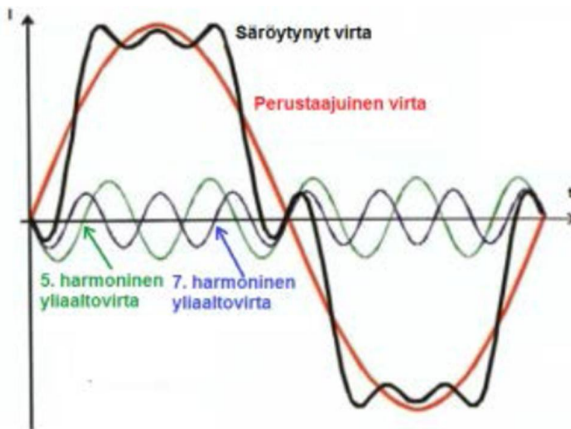
Q = loisteho

φ = vaihekulma

$\cos \varphi$ = tehokerroin. (Salo & Salo 2008, 122–123.)

6 YLIAALLOT JA KOMPENSOINTI

Suomessa jakelujännitteen perusaallon nimellistaajuus on 50 Hz (1/s eli 50 jaksoa sekunnissa) yleiseen sähköjakeluun käytettävissä verkoissa. Jakeluverkon vaihtojännitteitä ja -virtoja, joiden taajuus on yli nimellistaajuuden, kutsutaan yliaalloiksi. Taajuuden aaltomuoto on yleisesti sinimuotoista, jonka suunta muuttuu jatkuvasti. Kun vaihtosähkön käyrämuoto ei ole täysin sinimuotoinen, ovat vaihtojännitteet ja -virrat säröytyneitä, jolloin ne ovat verkon kannalta yliaaltolähteitä. (Männistö ym. 2006, 26–27.)



KUVA 6. Perustaajuinen virta, 5. ja 7. yliaaltovirta ja niiden yhteenlaskettu virta (Männistö ym. 2006, 28).

Nykyaikaisen tehoelektronikan kasvun myötä ovat yliaallot yleistyneet verkossa. Yleisimpiä yliaaltolähteitä ovat puolijohdetekniikkaa hyödyntävät suuntaajat, tyristorikytkimet, tietokoneissa käytetyt hakkuriteholähteet (myös akkulatureissa, kopiokoneissa, televisioissa ja radioissa), purkaus- (esimerkiksi energiansäästölamput) ja loisteputkilamput, moottorikäytöissä tasasuuntaajat ja pehmökäynnistimet, valokaariunit sekä UPS-laitteistot (järjestelmä, jonka takaa tasaisen virransyötön lyhyissä katkoksissa). Lisäksi muuntajat ja generaattorit ovat yliaaltojen lähteitä, mistä johtuen kaikissa sähköverkoissa jännitteen aaltomuoto poikkeaa hieman siniaallosta. Yleisimmin sähköverkossa esiintyy kolmas ja viides harmoninen yliaalto, joista erityisesti kolmas harmoninen yliaalto on haitallisista sen nolla johtoon summautumisen vuoksi (Männistö ym. 2006, 30–32.)

6.1 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Yliaallot jaetaan harmonisiin ja epäharmonisiin yliaaltoihin. Harmoniset yliaallot ovat perustaajuuden eli 50 Hz:n moninkertoja, ja ne voidaan tunnistaa järjestyslukunsa ($n=2, 3$ ja niin edelleen) perusteella. Niiden käyrämuoto on säännöllinen, mutta poikkeaa siniaallosta. (Männistö ym. 2006, 26.)

Epäharmonisten yliaaltojen taajuudet jäävät harmonisten taajuuksien väliin, eli ne eivät ole perustaajuuden kokonaislukumoninkertoja, ja niiden käyrämuoto on epä-säännöllinen. (Männistö ym. 2006, 27.)

6.2 Yliaaltojen haittavaikutukset

Sähköverkossa ja sähkönkäyttäjien laitteissa esiintyy yliaaltopitoisessa verkossa häviöiden kasvua sekä laitteiden kuormitettavuuden alenemista. Laitteiden toimintahäiriöt johtuvat useimmiten sähkönkäyttäjien omien laitteiden synnyttämistä yliaaltovirroista. (Männistö ym. 2006, 30.)

Yliaallot aiheuttavat lisähäviöitä eri verkkokomponenteissa. Ne aiheuttavat myös virhetoimintoja suoja- ja mittalaitteissa. ATK- ja automaatiojärjestelmiin häiriöitä ja vaurioita, televerkon häiriöitä sekä nollajohtimen ylikuormitusta. Suuritaajuiset yliaaltotaajuudet aiheuttavat esimerkiksi ääni-, radio- ja tv-taajuuksissa häiriöjännitteitä, jotka leviävät säteilemällä. Pienitaajuiset yliaaltotaajuudet puolestaan aiheuttavat sähkölaitteiden lämpenemistä (esimerkiksi moottorien) sekä voivat myös vaurioittaa niitä. (Männistö ym. 2006, 30–31.)

Yliaaltolähteen verkkoon syöttämät yliaaltovirrat aiheuttavat verkossa jännitesärröä, näin ollen myös jännitteen käyrämuoto poikkeaa sinimuodosta. Kolmivaiheiset, epälineaariset kuormitukset aiheuttavat parittomia yliaaltotaajuuksia; 5., 7., 11. ja 13. Yksivaiheiset kuormitukset aiheuttavat edellisten lisäksi 3. yliaaltoa ja sen kerrannaisia. (ABB 2000, 7.)

TAULUKKO 1. Harmonisten yliaaltojen luokitus symmetrisellä kolmivaihekuormalla, 9 ensimmäistä (Männistö ym. 2006, 35).

Harm. (n)	peruaalto	2	3	4	5	6	7	8	9
Taajuus Hz	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Kiertosuunta	+	-	0	+	-	0	+	-	0

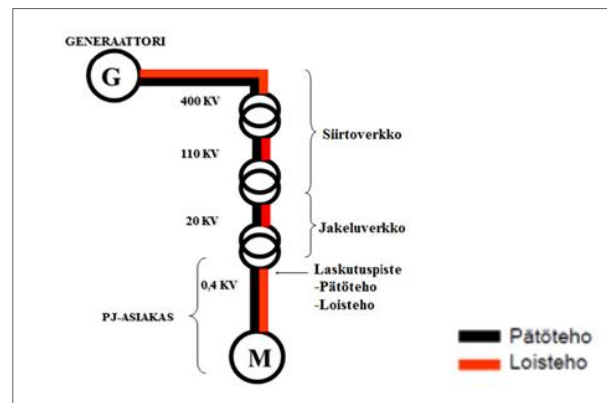
Yliaallot jaetaan positiiviseen-, negatiiviseen-, ja nollakomponentteihin. Komponenttijako kuvataan seuraavanlaisesti (taulukko 1). Jos $n = 4, 7, 10\dots$ on luokitus positiivinen, silloin vaihejärjestys (vaihekulma) on sama kuin perusaallolla, eli yliaallot pyörivät eteenpäin. Tällöin laitteistoissa syntyy lisälämpenemistä. Jos $n = 2, 5, 8\dots$ on luokitus negatiivinen, jolloin vaihejärjestys on eri kuin perusaallolla, eli yliaallot pyörivät eri suuntaan. Tällöin aiheutuu myös laitteiden kuumentumista sekä tehohäviöitä. Jos $n = 3, 6, 9\dots$ on luokitus nolla, eli niin sanottu tasakenttä ja vaihekulmat ovat kaikilla vaiheilla samat, eli yliaallot eivät pyöri. Näin ollen yliaallot summautuvat nollajohtimeen, jolloin seuraa nollajohtimen kuumentumista. (Männistö ym. 2006, 35.)

6.3 Kompensointi

Sähkökäyttäjän kannalta loistehon kompensoinnin tarve syntyy lähinnä jakeluverkon haltijan loissähkön hinnoittelusta. Loistehon kompensoinnissa on tunnettava myös jakeluverkon yliaaltopitoisuus, jotta voidaan rakentaa toimiva, kustannustehokas ja turvallinen laitekokonaisuus. (Männistö ym. 2006, 9.)

Kompensoimattomassa sähköverkossa loisteho tuotetaan voimalaitosten generaattoreilla pätötehon lisäksi (kuva 7). Siirrettävän pätötehon lisäksi myös loisteho kuormittaa jakeluverkkoa ja siirtoverkkoa lisäten näin käytetyn energian kustannuksia, jolloin sähkökäyttäjä maksaa siitä jakelu-yhtiölle (laskutus piste). Loissähköt maksujen avulla jakeluyhtiöt kohdistavat kustannukset niiden aiheuttajille eli käyttäjille. Loistehoa kompensoimalla siirtohäviöt pienenevät ja jännite pysyy tasapainossa. Loissähköä voidaan tuottaa missä tahansa verkon pisteessä toisin

kuin pätöteho, joka tuotetaan voimalaitoksien generaattoreilla. (Männistö ym. 2006, 82.)



KUVA 7. Loistehon siirtäminen voimalaitokselta (Männistö ym. 2006, 82).

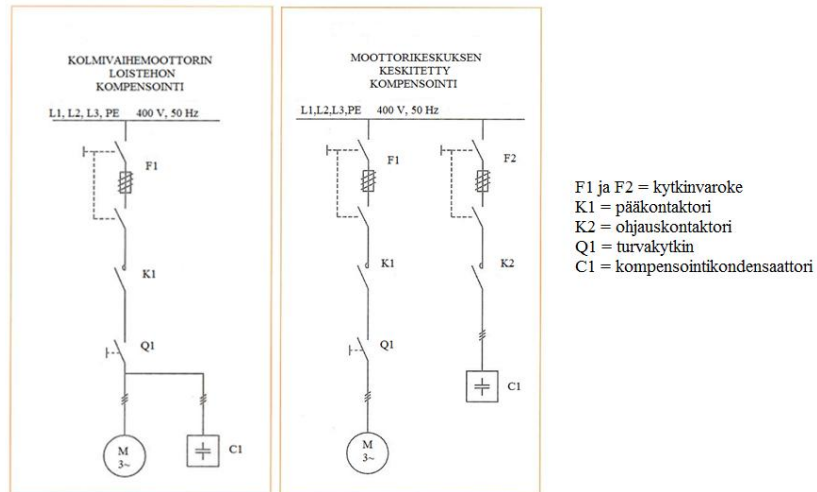
6.4 Kompensoinnin toteutus

Kompensointi voidaan toteuttaa muun muassa seuraavilla menetelmillä:

- Laitekohtainen kompensointi (kuva 8), joka toteutetaan asentamalla kompensointikondensaattori suoraan moottorin tai valaisimien liittimiin. Laitekohtaisen kompensoinnin edellytyksenä on pienehkö loistehon tarve.
- Ryhmäkompensointi, joka toteutetaan asentamalla kondensaattori tietyille moottori- ja/tai valaisinryhmille niiden ryhmäkeskukseen. Kojeryhmien kompensoinnin edellytyksenä ovat pienehköt loistehon tarve ja kojeiden etäisyydet keskuksesta ovat pienet verrattuna keskusta syöttävään johtoon.
- Keskitetty kompensointi (kuva 8), joka toteutetaan asentamalla kompensointikondensaattori ryhmäkeskukseen, pääkeskukseen tai suoraan muuntajan alajännitepuolen napoihin sulakkeilla suojattuina. Näin saadaan kompensoitua koko pienjännitejärjestelmä.

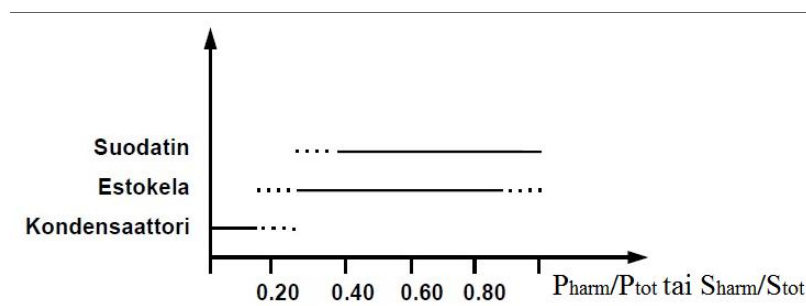
Menetelmissä käytetään tietyn kvar-arvon omaavia kondensaattoreita tai automatiikkaparistoja. Automatiikkaparistossa loistehonsäädin ohjaa tarvittavan määrän kondensaattoriportaita päälle tarpeen mukaan; tällä menetelmällä estetään myös ylikompensointi. Mikäli verkossa on yliaaltoja tuottavaa kuormaa,

kompensointi hoidetaan estekelapariistoilla tai yliaaltosuodattimilla. (Mäkinen & Kallio 2004, 19.)



Kuva 8. Periaatekuva laitekohtaisesta (vasen) ja keskitetystä (oikea) kompensoidusta 3-vaiheisesta sähkömoottorista (Mäkinen & Kallio 2004, 19).

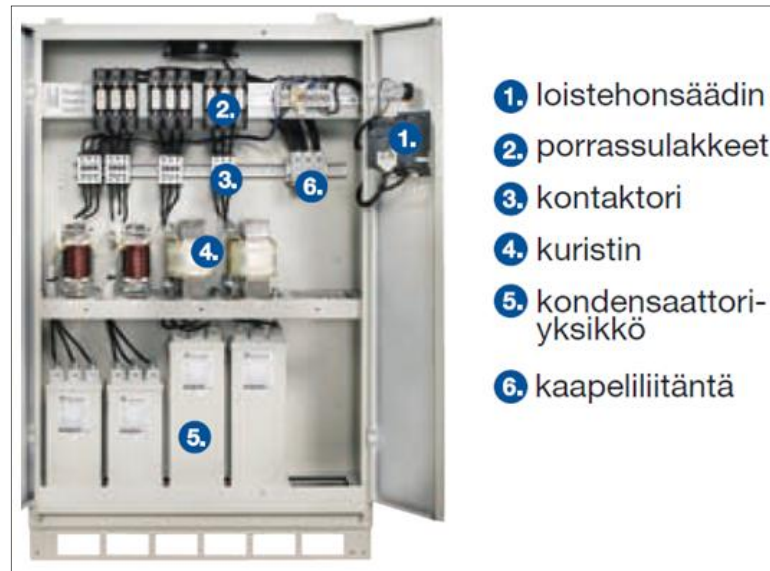
Kompensointilaitteistoa valittaessa on verkolle tehtävä yliaaltoanalyysi, jolloin saadaan kokonaiskuva sähköverkon tilasta. Kompensointilaitteen oikeaan valintaan laitevalmistajat käyttävät tietokonepohjaisia yliaaltoanalyysijä. Yksinkertaistettu kompensointilaitteen valinta voidaan myös tehdä alla olevan kuvan (kuva 9) mukaan. (Männistö ym. 2006, 98.)



Kuva 9. Kompensointilaitteen yksinkertaistettu valinta menetelmä yliaaltopitoiseen verkkoon (Männistö ym. 2006, 98 muokattu).

7 KOMPENSOINTILAITTEET

Kompensointikondensaattoriksi voidaan valita joko tavallinen kompensointikon-
densaattoriyksikkö, automatiikkaparisto, estokelalla varustettu kompensointiyk-
sikkö (kuva 10), kolmannen yliaallon suodatin tai yliaaltosuodatuksella varustettu
kompensointiyksikkö. (Männistö ym. 2006, 48.)



KUVA 10. Periaatekuva estokelaparistosta (Sähkönumero 2014).

7.1 Kondensaattoriyksiköt

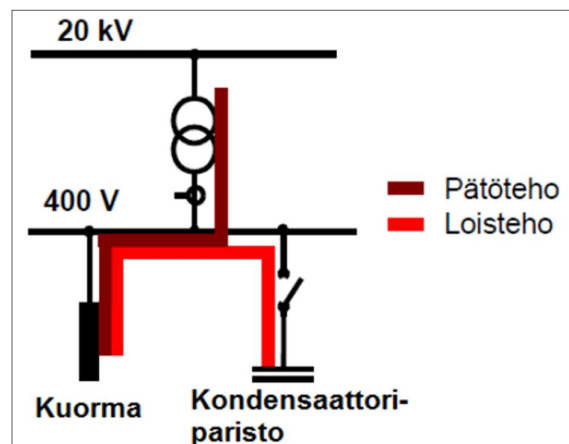
Kondensaattorielementit koostuvat useista rinnankytketyistä elementeistä. Ele-
mentit valmistetaan nykyisin itseparantuvista metalloidusta polypropyleeni kal-
vosta ja näin ollen niiden vikaantuessa metallikerros höyrystyy ja elementti jää
oikosulkuun ylilyönnin seurauksena. Elementit eivät sisällä mitään kyllästysnes-
tettä, eli ne ovat rakenteeltaan kuivia. Jokainen yksittäinen elementti on varustettu
sisäisellä sulakkeella sekä jokainen yksikkö sisäisellä purkausvastuksella. Kon-
densaattoriyksiköt ovat 3 - tai 1 vaiheisia ja sisäisesti kolmio- tai tähteen kytket-
tyjä. (Männistö ym. 2006, 48.)

Kondensaattoriyksiköiden nimellistehot vaihtelevat 2,5–125 kvar ja nimellisjännite on 200-1000V. Sovellukset ovat kaikentyypiset kondensaattoriparistot, laiteryhmäkohtainen kompensointi ja moottorikompensointi. Tyypillisimpiä kohteita ovat pj-kojeistonvalmistajat. Asiakkaan saamat edut ovat pienet häviöt, kompakti koko, kevyt, itseparantuva rakenne ja helppo asentaa. (Alstom 2014, 4–5.)

7.2 Rinnakkaiskondensaattoriparisto

Rinnakkaiskondensaattorit ovat kuorman kanssa rinnan kytkettyjä. Paristot muodostuvat komponenteista jotka ovat kondensaattoriyksiköt, kontaktorit ja sulakkeet (kuva 11). Paristot jaetaan kahteen ryhmään: kiinteisiin ja säädettäviin. (Männistö ym. 2006, 49.)

Kiinteät tietyn kvar-arvon omaavat paristot liitetään sähköverkkoon ilman säätöä. Säädettävissä eli automatiikkaparistoissa on mikroprosessorilla toimiva loistehon säädin, jolloin sähköverkkoon kytkettyä kondensaattoritehoa säädetään portaittain. Mikroprosessori asetetaan halutut havahtumisrajat induktiiviselle sekä kapasitiiviselle puolelle. (Männistö ym. 2006, 49–50.)



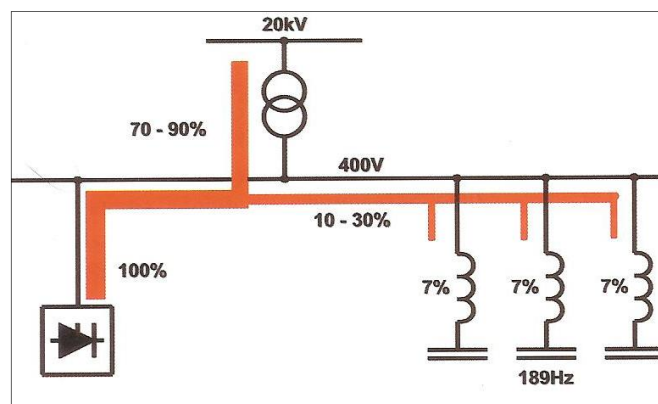
KUVA 11. Rinnakkaiskompensoinnin periaate (Männistö ym. 2006, 50).

Automatiikkapariston nimellistehot vaihtelevat 15–100 kvar ja nimellisjännite on 400 V - 690 V. Tehokomponenttien määrä vaihtelee 1–5 kappaleeseen. Sovellukset sopivat loistehon kompensointiin pienjänniteverkossa, jossa ei ole yliaaltoja, sekä keskitettyyn kompensointiin. Sovellutuksia käytetään yleisesti pää- ja alakeskuksissa. Tyypillisimpiä kohteita ovat pienet marketit ja pienkiinteistöt. Asi-

akkaan saamat edut ovat pieni tilantarve, monipuoliset liitännämahdollisuudet sekä laitteen laajennettavuus. (Alstom 2014, 6.)

7.3 Estokelaparisto

Estokelapariston jokainen porraskoostuu kondensaattoriyksiköstä, jonka kanssa on kuristin kytketty sarjaan (kuva 12). Näin ollen verkossa vaikuttavat harmoniset yliaaltovirrat eivät voi aiheuttaa resonanssitilannetta. Resonanssi aiheuttaa virtasäron nousua, joka puolestaan nostaa myös jännitesäröä. Estokelaparistolla vältetään täten haitallisten resonanssien syntyminen kondensaattorin kapasitanssin ja syöttävän verkon induktanssin välillä. (Männistö ym. 2006, 52–53.)



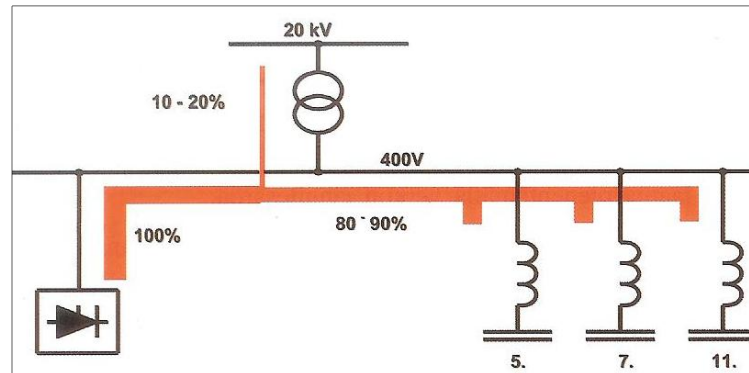
KUVA 12. Estokelapariston suodatusvaikutus (Männistö ym. 2006, 54).

Estokelapariston nimellistehot vaihtelevat 15–450 kvar ja nimellisjännite on 400–690 V aina sen mukaan onko kyseessä seinä-, lattia- tai kiinteä malli. Tehokomponenttien määrä vaihtelee 3–7 kappaleeseen. Sovellukset sopivat loistehon kompensointiin yliaaltopitoisessa verkossa. Tyypillisimpiä kohteita ovat kauppakeskukset, toimistorakennukset, teollisuus ja kiinteistöt. Asiakkaan saamat edut ovat pieni tilantarve, seinä- tai lattia-asennus. (Alstom 2014, 7.)

7.4 Yliaaltosuodatin

Yliaaltosuodatin rakentuu kontaktorista, termisestä ylivirtareleestä ja kondensaattorista, jonka kanssa on sarjaan kytketty kuristin. Näin ollen siitä muodostuu kais-tanestosuodattimena toimiva sarjaresonanssiipiiri, joka yleisesti koostuu kolmesta

piiristä (kuva 13). Piirit suodattavat tietyt taajuudet verkosta 5., 7. ja 11. harmoninen yliaalto. (Männistö ym. 2006, 55.)



KUVA 13. Yliaaltosuodattimen toimintaperiaate (Männistö ym. 2006, 56).

Yliaaltosuodattimen nimellistehot vaihtelevat 60–300 kvar ja nimellisjännite on ≤ 690 V. Sovellukset sopivat yliaaltojen suodattamiseen ja tehokertoimen parantamiseen. Tyypillisimpiä kohteita ovat kauppakeskukset, toimistorakennukset, teollisuus ja kasvihuoneet. Asiakkaan saamat edut ovat pieni tilantarve, monipuoliset liitännämahdollisuudet ja laitteen laajennettavuus. (Alstom 2014, 13.)

7.5 Kolmannen yliaallon suodatin

Kolmannen yliaallon suodatin rakentuu kontaktorista, termisestä ylivirtareleestä, kuristimesta, kondensaattorista ja jännitteenvalvontareleestä. Rinnakkaisresonanssipiirillä eli niin sanotulla estopiirillä voidaan vaikuttaa kolmannen yliaallon määrään. Nollajohtimen kanssa sarjaan kytketty estopiiri muodostaa suuren impedanssin 150 Hz:n taajuudelle, jolloin kolmas yliaalto ei pääse enää kulkemaan nollajohtimessa. (Männistö ym. 2006, 57–58.)

Kolmannen yliaallon suodattimen nimellistehot ovat 15, 35 ja 50 kvar ja nimellisjännite on 400V. Sovellukset sopivat kolmannen yliaallon suodattamiseen ja tehokertoimen parantamiseen. Tyypillisimpiä kohteita ovat toimistorakennukset ja kasvihuoneet. Asiakkaan saama etu on alentunut kolmas harmoninen virta vaiheissa ja nollajohtimessa. (Alstom 2014, 12.)

7.6 Tyristorikytketty kondensaattoriparisto

Tyristorikytketty kondensaattoripariston jokainen porrassuunnitelma koostuu kondensaattorin ja kuristimen sarjakytkennästä, joka on viritetty alemmas kuin verkon alin yliaaltotaajuus. Paristolle tuodaan ohjaussignaali kompensoitavalta laitteelta, jolla saavuttaa lähes viiveetön loistehon kompensointi. Pienjännitteellä käytetään TSC (Thyristor Switched Capacitor) ja suurjännitteellä TCR (Thyristor Controlled Reactor) tyyppisiä paristoja. (Männistö ym. 2006, 60.)

Tyristorikytketty kondensaattoripariston nimellistehot vaihtelevat 50–450 kvar ja nimellisjännite on 400–690 V. Tehokomponenttien määrä vaihtelee 2–12 kappaaleeseen. Sovellukset sopivat sähkön laadun ja tehokertoimen parantamiseen verkoissa, joissa kuormitus muuttuu nopeasti. Tyypillisimpiä kohteita ovat satamanosturit, hissilliset kiinteistöt, koneenrakentajat ja hitsaava teollisuus. Asiakkaan saamat edut ovat pieni koko, nopea vasteaika, helposti laajennettava ja sen mekaaninen kulumattomuus sekä äänen toiminta. (Alstom 2014, 11.)

7.7 Aktiivisuodatin

Aktiivisuodatin on ohjattu virtalähde, energialähteenä toimivat kompensoitavan verkon lataamat kondensaattorit ja invertteri (muuntaa tasavirtaa vaihtovirraksi) tuottaa virran verkkoon. Aktiivisuodatin vähentää harmonisia yliaaltoja (myös 3. harmoninen yliaalto), tasapainottaa kuormitusta ja mahdollistaa portaattoman loistehon hallinnan induktiivisilla ja kapasitiivisilla kuormilla sekä sillä voidaan yhdistää erilaisia isäntä- ja orjayksiköitä. (Männistö ym. 2006, 62.)

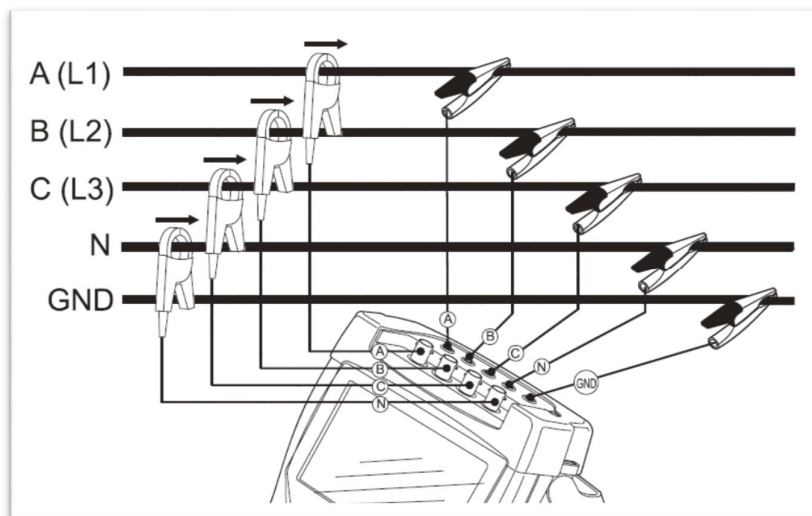
Aktiivisuodattimen nimellistehot ovat 17–280 kVA ja nimellisjännite on 400V. Sovellukset sopivat harmonisten yliaaltojen suodattamiseen ja nopeasti vaihtelevien kuormien tehokertoimen parantamiseen. Tyypillisimpiä kohteita ovat tuulivoimalat, hitsaava teollisuus, hissi- ja nosturikäytöt sekä nopeita kuormituksen vaihteluita aiheuttava teollisuus, mutta ne soveltuvat myös liike-, asuin- ja kevyisiin teollisuussovellutuksiin. Asiakkaan saamat edut ovat harmonisten yliaaltojen suodatus (jopa 50. harmoniseen asti) myös kolmannen yliaallon suodatus, tehokertoimen parantuminen ja välkynnän poistuminen. (Alstom 2014, 11.)

8 SÄHKÖN LAADUN MITTAUS

Mittausten tavoitteena oli selvittää virastotalon sähkön laadun nykytila, jotta voitaisiin selvittää tarpeet jatkotoimenpiteille. Mittaus suoritettiin Fluken 435 II -sähkönlaatu- ja energia-analysaattorilla. Verkkoanalysaattori keräsi mittaustietoa 10 minuutin näytteenottojakson ajan ja laski tästä 10 minuutin minimi, maksimi ja keskiarvon. Näistä muodostui viikon mittaisella mittausjaksolla tulokset jännitteestä, virroista, tehoista ja yliaalloista. Mittaustulokset saatiin puretuksi verkkoanalysaattorilta tietokoneelle ja tuloksia tarkastella aikatasolla.

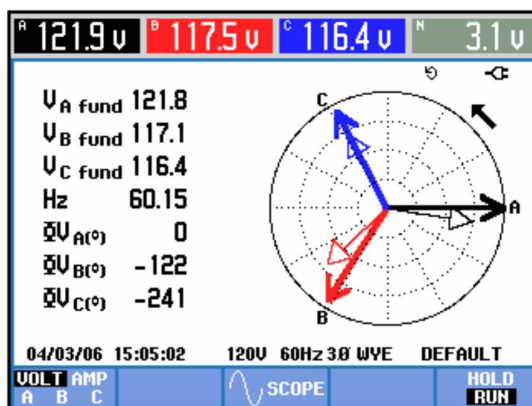
Analysaattoria käytti Sähkörenki Ky:stä Jouko Pylkkänen, joka tunsu laitteet ja menetelmät. Ennen mittausten suorittamista oli analysaattoriin valittu oikea nimellisjännite, -taajuus ja johdotuskytkentä. Tehtäväni oli lähinnä avustaa ja tehdä muistiinpanoja sekä esiselvittää laitteen toiminta ennen mittaustapahtumaa.

Mittasimme sähkön laatua pääjakelukiskoston kaikista vaihekiskoista ja nollakiskosta. Mittarin virtapihdit asetettiin jokaisen pääkeskukseen tulevan vaihejohtimen ympärille sekä nollajohtimen ympärille (kuva 14). Mittaukset suoritettiin jännitteisten osien läheisyydessä, joten kytkennöissä käytettiin erityisiä jännitteilykäsineitä ja muita asianmukaisia suojavälineitä.



KUVA 14. Periaatekuva analysaattorin liittämisestä 3-vaihejärjestelmään (Fluke käyttöopas 2014, 6–1).

Vektorinäytön puolelta tarkastimme vielä, että virtapihdit ja jännitejohtimet on kytketty oikein. Vektorinäytössä (kuva 15) vaihevirratt ja jännitteet A (L1), B (L2) ja C (L3) näkyivät myötöpäivään kulkevassa järjestyksessä.



KUVA 15. Periaatekuva vektorinäytöstä (Fluke käyttöopas 2014, 6–3).

8.1 Järjestelmän kuvaus

Syöttömuuntamolta tulee virastotalon pääkeskukseen AXMK 4*185S syöttökaapelia. Virastotalon sähköliittymän pääkeskuksen nimellisvirta on 2*3*500A ja sähkön kulutus virastotalossa muodostuu pääasiassa valaistuksesta, hissistä, ilmastointilaitteista, tietokoneista, kopiokoneista ja virastotalolla toimivasta ruokalasta, jossa on keittiölle määrättyt peruslaitteet (kylmiöt, pakastimet, liedet, huuvat ym.).

8.2 Mittaustulokset

Tuloksista on esitetty noin puolentoista vuorokauden mittaustapahtumat liitteissä ja yhteenveto (liite 1) mittaustapahtumasta taulukoituna liitteissä. Tuloksia verrataan standardin SFS-EN 50160 antamiin suositusarvoihin.

8.2.1 Pätö-, lois- ja näennäisenergian kulutus

Virastotalon pätö-, lois- ja näennäisenergian kokonaiskulutus noin puolentoista vuorokauden ajanjaksolta 29.4–30.4 oli loisenergian kulutus maksimissaan 629,24 kvarh pätöenergian ollessa noin 1056,83 kWh (liite 1). Liitteestä kaksi näkyy myös vaihekohtaiset kokonaiskulutukset.

8.2.2 Verkkotaajuus

Standardin mukaan nimellistaajuuden tulee olla 50 Hz. Normaaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvon 10 s aikaväliltä mitattuna tulee olla välillä: 50 Hz \pm 1 % (eli 49,5 Hz... 50,5 Hz) 99,5 % vuodesta sekä 50 Hz + 4 % / - 6 % (eli 47 Hz...52 Hz) 100 % ajasta. (SFS-EN 50160 2010.)

Taajuudessa ei havaittavia vikoja. Taajuus muuttui minimissään 0,16 % alle 50Hz ja maksimissaan 0,32 % yli 50Hz (liite 1).

8.2.3 Jännitetaso vaihtelut

Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa (pois lukien keskeytysjaksot) jännitetaso vaihtelut eivät saisi ylittää \pm 10 % nimellisjännitteestä (U_n) joka on 230 V (eli 207 V - 253 V) sekä kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä $U_n + 10\%$ / - 15 % (eli 195,5 V–253 V). (SFS-EN 50160 2010.)

Mittausjakson aikana jännitteiden vaihtelut eri vaiheiden ja nollan välillä (liite 3) olivat 230 V + 3,3 % / - 1,5 % ja pysyvät niin ollen koko mittauksen aikana standardin vaatimissa rajoissa.

8.2.4 Tehon vaihekulmat

Tehokertoimet vaihtelivat vaiheiden välillä 0,63–1,02 (liite 4). Tehokerroin oli alimmillaan virastotalon aukioloaikana, jolloin tehokerroin laskee alas.

TAULUKKO 2. Vaihekohtaiset (L1-L3) tehokertoimet.

Tehokerroin	L1	L2	L3
minimi n.(päivällä)	0,68	0,63	0,66
maksimi n. (yöllä)	1,01	1,00	1,02

8.2.5 Harmoniset yliaaltojännitteet ja -virrat

Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mitausjakson aikana, 95 % jakelujännitteen kunkin yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin keskimääräisistä tehollisarvoista tulee olla yhtä suuri tai pienempi kuin taulukossa 2 esitetty arvo. Jakelujännitteen kokonaissärökertoimen, THD tulee olla $\leq 8\%$. (SFS-EN 50160 2010.)

TAULUKKO 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka (Männistö ym. 2006, 22).

Parittomat yliaallot, kolmella jaottomat		Parittomat yliaallot, kolmella jaolliset		Parilliset yliaallot	
Järjestys- luku h	Yliaalto- jännite %	Järjestys- luku h	Yliaalto- jännite %	Järjestys- luku h	Yliaalto- jännite %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
Kokonaissärö THD 8 %					

Yliaaltovirroille standardissa ei aseteta vaatimuksia, vaan suosituksia (taulukko 4) annetaan esimerkiksi Yliaallot ja Kompensointi kirjassa.

TAULUKKO 4. Suurimmat sallitut yliaaltovirrat liittymiskohdassa tarkasteltuina (Männistö ym. 2006, 44–45 muokattu).

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

Liitteessä yksi näkyy vaihekohtaiset virran ja jännitteen kokonaissäröt. Jännitteen osalta vain nollajohdon kokonaissärö oli maksimissaan 65,22 % sekä virran osalta 8 % raja ylittyi kaikissa vaiheissa sekä nollajohtimessa. Liitteestä viisi nähdään harmonisten yliaaltojen osuus eri vaiheissa. Eniten esiintyy 3. yliaaltoa, joka näkyy nollajohtimen suurena THD-prosentti osuutena. Myös 5. ja 7. yliaalto ylittävät sallitut rajat.

8.2.6 Nopeat jännitemuutokset ja välkyntä

Jännitetason nopeat muutokset aiheutuvat pääasiassa asiakkaan verkossa tapahtuvista kuormitusmuutoksista, järjestelmässä tapahtuvista kytkennöistä tai vioista. Nopeille jännitemuutoksille standardi suosittelee rajoiksi, että normaaleissa tilanteissa nopea jännitemuutos ei ylitä 5 % arvoa U_n , mutta lyhytaikaisesti jopa 10 % nopea jännitteenmuutos voi tapahtua joissakin olosuhteissa muutaman kerran päivässä. Jännitekuopaksi muutos luokitellaan silloin, kun jännite laskee alle 90 % U_n . (SFS-EN 50160 2010.)

Liitteissä kolme esitetty jännitteen epäsymmetria, ja liitteessä kuusi näkyvaiheiden ja nollan väliset jännitteet, jotka ovat hyvin symmetrisiä toisiinsa nähden. Suurin jännitteen nopea nousu vaiheissa on heti kello 06:00 jälkeen noin $230,25 \text{ V} - 237,5 \text{ V} = 7,25 \text{ V}$. Suhteutettuna jännitteen nimellisarvoon saadaan vaiheille noin $7,25 \text{ V} / 230 \text{ V} = 3,15 \%$ jännitteen nousu.

Normaaleissa käyttöolosuhteissa, minkä tahansa viikon pituisen mittausjakson aikana, jännitteen vaihtelun aiheuttaman pitkäaikaisen välkynnän häiritsevyyksindeksin (Plt) tulisi olla 95 % ajasta yhtä suuri tai pienempi kuin yksi. Liitteessä seitsemän on esitetty mittaustulos lyhytaikaisesta häiritsevyyksindeksistä (Pst), joka on mitattu kymmenen minuutin aikaväliltä. Lyhytaikaisista häiritsevyyksindekseistä lasketaan pitkäaikainen häiritsevyyksindeksi Plt yhtälön (11) mukaisesti. (SFS-EN 50160 2010.)

$$P_{It} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (11)$$

Liitteestä seitsemän saatujen Pst arvojen perusteella (laskettuna kahdestatoista kahden tunnin mittausaikaväliltä saadusta Pst arvoista) saadaan Plt arvoksi 0,57.

8.2.7 Jakelujännitteen epäsymmetria

Normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana, jokaisen, jakelujännitteen (perustaajuisen) vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvon keskiarvoista 95 % tulee olla välillä 0–2 % (perustaajuisesta) myötäkomponentista. Standardi antaa arvoja vain vastakomponentille, koska se on järjestelmään kytkettyjen laitteiden mahdollisten häiriöiden kannalta olennainen. Virroille ei standardi anna mitään suosituksia. (SFS-EN 50160 2010.) Fluken käyttöoppaassa määritellään myös virtojen epäsymmetria joka ei saisi ylittää 10 % sekä nelijohdinjärjestelmässä nolla kiertosuunnan komponenttien yli 2 % epäsymmetriaa pidetään liian suurena. (Fluke käyttöopas 2014, 13–4.)

Liitteessä yksi saatujen mittaustuloksien perusteella (taulukko 5) jännitteen osalta tulos ei ylitä negatiivisen eikä myöskään nollan kiertosuunnan osalta annettuja arvoja. Virtojen osalta vain nollan kiertosuunnan osalta arvo ylittyy ja se vastaa nollajohtimessa kulkevaa virtaa, joka oli maksimissaan noin 70 A virastotalon aukioloaikana (liite 6).

TAULUKKO 5. Negatiivisen ja nolla kiertosuunnan jännite- ja virtaepäsymmetriat %.

Epäsymmetria	Vneg	0,25 %
	Vzero	0,11 %
Epäsymmetria	Aneg	4,26 %
	Azero	5,63 %

9 VALAISTUKSEN VAATIMUKSET

EU-lainsäädännön myötä lamppujen energiatehokkuuteen kiinnitetään yhä enemmän ja enemmän huomiota. Muutoksiin olisikin hyvä varautua ajoissa, jotta saadaan tehokas ja käytön mukainen valaistus sekä vältetään turhilta investoinneilta. Valaistuksen energiatehokkuutta on muutenkin tärkeää parantaa, jotta päästäisiin niihin tavoitteisiin, jotka energiankäytölle on asetettu. Muun muassa Motiva on jo vuonna 2009 suositellut kuntia järkevään valaistuksen investointiin:

Valaistukseen, kuten muuhunkin energiankäyttöön, on tullut tehostamismääräyksiä. Suomessa on pystyttävä parantamaan energiatehokkuutta yhdeksän prosenttia vuoteen 2016 mennessä. Julkisella sektorilla on esimerkin näyttäjän rooli. Valaistuksen uusiminen on kannattavimpia tapoja säästää energiaa. (Motiva 2009.)

Nykytekniikalla yksilöllisten ja säädettävien valaistustilanteiden järjestäminen on hyvinkin mahdollista. Valaistuksen oikea ohjaus tuo valon oikeaan aikaan sinne, missä sitä tarvitaan. Näin vältetään turhalta ja tyhjän tilan valaisemisesta. Elinkaariajattelun kautta sijoitus uuteen valaistusjärjestelmään maksaa itsensä takaisin ja valaistusmuutoksien lisäkustannukset kuoleentuvat nopeasti. (Motiva 2009.) Valaistuksen energiatehokkuuteen (kuva 16) vaikuttavat valaisimet ja valaistustapa, tarpeenmukainen käyttö sekä ympäristö (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 24).



KUVA 16. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 24).

9.1 Sisävalaistusstandardi

Sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1 käsittelee useita näköympäristöä määrittäviä tekijöitä sekä määrittelee henkilöiden sisätyötilojen valaistusvaatimukset. Standardissa annetaan suositukset tila- ja tehtäväkohtaiseen valaistukseen (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Toimistotilojen valaistussuosituksia (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 10).

Viite nro	Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR_L	R_a	Huomautukset
3.1	Arkistointi, kopiointi, jne	300	19	80	
3.2	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	80	Näyttöpäätetyö
3.3	Tekninen piirtäminen	750	16	80	
3.4	CAD-työasemat	500	19	80	Näyttöpäätetyö
3.5	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
3.6	Vastaanottotiski	300	22	80	
3.7	Arkisto	200	25	80	

Taulukoissa annetaan keskimääräinen valaistusvoimakkuuden arvo (E_m), jota pidetään valaistuksen mitoituksen lähtökohtana ja sen yksikkö on luks (lx). Pienin sallittu häikäisyindeksi (UGR_L) sekä pienin sallittu yleinen värinointindeksi (R_a). Uuden standardin mukaan lamppuja, joiden värinointindeksi (R_a) on pienempi kuin 80, ei tule käyttää tiloissa, joissa työskennellään tai oleskellaan pitkäaikaisesti. Näyttöpäätetiloihin annetaan valaisimille luminanssirajoitukset (UGR_L), jotta ne eivät aiheuttaisi heijastumia kuvaruutuihin. Standardissa on myös määritelty kahvihuoneiden, odotus- ja WC-tilojen E_m luku, joka on 200 lx. Porraskäytävissä puolestaan E_m luku on 150 lx.

Standardissa annetaan suositukset (taulukko 7) myös valaistustasot työalueen välittömälle lähiympäristölle, joka on noin puolen metrin vyöhyke työalueen ympärillä. Sekä työalueelle ja sen välittömälle ympäristölle määritellään omat valaistuksen tasaisuusarvonsa. Myös koko työskentelytilaan on asetettu minimivaatimukseksi 200 lx. Valaistusvoimakkuutta ei määritellä koko tilaan vaan ainoastaan työalueelle, jolloin työalueen välittömässä läheisyydessä voidaan käyttää pienempää valaistustehokkuutta. (SFS-EN 12464-1. 2011.)

TAULUKKO 7. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudet sekä niiden tasaisuus (SFS-EN 12464-1. 2011).

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{työalue}}$
Tasaisuus: ≥ 0,7	Tasaisuus: ≥ 0,5

Standardissa on määrätty myös seinä- ja kattopintojen keskimääräiset valaistusvoimakkuuksien ylläpitoarvot (E_m), jolla varmistetaan tasainen luminanssijauman tiloihin. Myös pintojen luminanssit ovat tärkeitä ja ne määräytyvät pinnan heijastussuhteen ja valaistusvoimakkuuden perusteella. Luminanssi kuvaa pinnalta lähtevää valon voimakkuutta eli pinnan kirkkautta. Luminanssin tunnus on L ja mittayksikkö on (cd/m^2). Heijastuskertoimet huonepinnoille ovat

- katto: 0,6...0,9
- seinät: 0,3...0,8
- työtasot: 0,2...0,6
- lattia: 0,1...0,5 (SFS-EN 12464-1. 2011; Wikipedia 2014.)

9.2 Valaistuksen suunnittelu

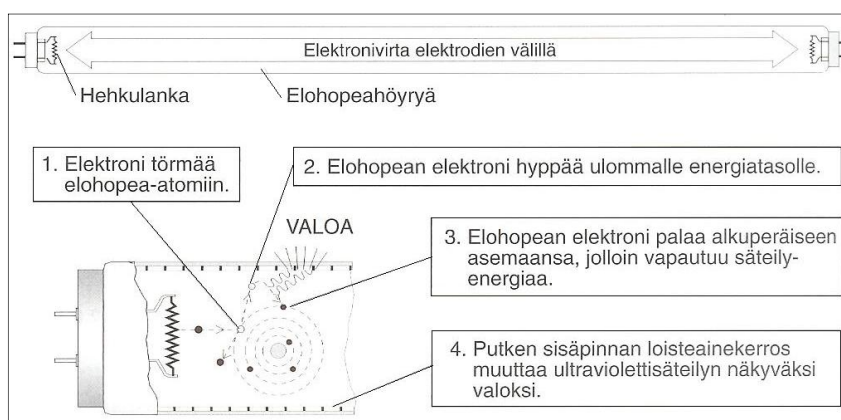
Valaistuksen suunnittelun lähtökohtana on standardien ja laatutason saavuttaminen. Valaistustavat, valaisimet ja valaistuksen ohjausjärjestelmät valitaan niin, että ratkaisu on energiataloudellisesti optimaalinen ja tulee edulliseksi elinkaarikustannusten kannalta. Valaistushankinnoissa on otettava huomioon rakennusten valaistusjärjestelmien energiatehokkuutta koskevan standardin SFS-EN 15193 vaatimukset, ja myös ErP-direktiivi (Energy Related Products Directive) asettaa omat vaatimuksensa. Valaistuksen laatuvaatimuksia ja energiatehokkuuskriteerejä on tarkemmin selvitetty Suomen Valoteknillinen Seura ry:n taustaraportissa: Valaistushankintojen energiatehokkuus. (Suomen Valoteknillinen Seura 2008.)

10 VALONLÄHTEET

Valo on sähkömagneettista säteilyä, joiden toiminta perustuu vapaisiin elektroneihin. Niiden törmätessä atomeihin virittyvät uloimman kuoren elektronit. Elektronien palatessa viritetystä tilasta perustilaan syntyy niistä fotoneja eli näkyvää valoa. (Hietalahti 2013, 294.)

10.1 Loisteputkivalaisimet

Loisteputkilamppu on elohopeaa ja jalokaasuja sisältävä purkausputki. Putken kummassakin päässä on volframilanka elektrodina, joka toimii anodina ja katodina, ja näin ollen elektrodien välillä kulkee elektronivirta.



Kuva 17. Loistelampun valontuotto (Ahoranta 2013, 326).

Loisteputken toiminta perustuu sähkön kulkemiseen matalapaineisessa elohopeahöyryssä, jolloin höyry tuottaa ultraviolettisäteilyä, joka muuttaa putken sisäseinämässä olevan loisteainekerroksen näkyväksi valoksi (kuva 17). Valon väri riippuu loisteaineen koostumuksesta. Loisteputkivalaisimilla päästään 20–90 lm/W valotehokkuuteen, riippuen lampun koosta ja väriominaisuuksista.

Sisätiloihin tarkoitetuissa valaisimissa on yleisesti käytetty T5- ja T8-mallisia loisteputkia. Loisteputkien halkaisijat, tehot ja pituudet eroavat toisistaan, T8-loisteputket ovat halkaisijaltaan 26 mm ja kanta G13, T5-loisteputket 16 mm ja kanta G5. (Ahoranta 2013, 326–328; Hietalahti 2013, 295.)

10.2 Pienoisloistelamppu

Pienoisloistelampuissa elektroniset liitäntälaitteet sijaitsevat lampun sisällä ja ne ovat asennettavissa suoraan hehkulampun tilalle ja ne tuottavat valoa samalla periaatteella kuin tavalliset loisteputkilamput. Lampun tuottama valo on välkkymätöntä ja miellyttävää, joka on saatu aikaan elektronisen kuristimen avulla. Kuristimen avulla nostetaan sähkön taajuus kymmeniin kilohertzeihin. Pienloistelamppuja kutsutaan myös energiansäästölamputiksi. Lamppu on kuitenkin verkon kannalta epälineaarinen kuormalaite, joka voi liitäntälaitteen rakenteesta riippuen aiheuttaa sähköverkkoon haitallisia harmonisia yliaaltoja. (Hietalahti 2013, 296.)

Pienoisloistelamppujen kannat ovat yleensä samat kuin hehkulampuissa eli E27 ja E14 (kierrekantaiset). Pienoisloistelamppuja löytyy myös pistokantaisina, kaksi- ja nelinastaisina. Kaksinastaisissa on G23 kanta. Kannassa on sytytin ja ulkopuolella kuristin (magneettinen), joten EU-direktiivin myötä nämä lamput tulevat poistumaan markkinoilta. Nelinastaisessa on 2G11 (pienitehoiset) tai 2G7 (suurempitehoiset) kanta ja ulkoinen elektroninen liitäntälaitte. (Ahoranta 2013, 330.)

10.3 Liitäntälaitteet

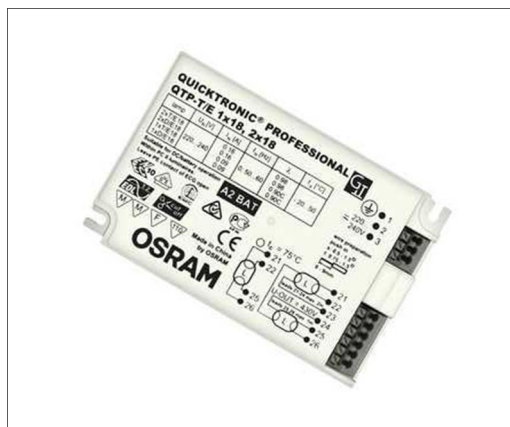
Loisteputket tarvitsevat toimiakseen sytyttimen ja kuristimen tai elektronisen liitäntälaitteen. Itse loisteputkissa niitä ei ole, vaan niille tarkoitetuissa valaisimissa ne on oltava.

Magneettisen kuristimen (kuva 18) tehtävänä on rajoittaa virta tietyn suuruiseksi, jottei lamppu heti tuhoudu. Sytyttimen tehtävä on synnyttää liuskojen välille hohtopurkaus, jolloin sytytin johtaa alussa virran lävitsensä. Sytyttimen virtapiirin avautuessa kuristimen magneettikenttä purkautuu muodostaen kuristimeen korkean jännitteen, joka aiheuttaa sähköpurkauksen loisteputkessa ja lamppu syttyy. EU-direktiivin energiatehokkuusvaatimusten myötä magneettiset liitäntälaitteet poistuvat myynnistä vaiheittain vuosien 2009–2016 aikana. (Ahoranta 2013, 328; Hietalahti 2013, 297.)



Kuva 18. Magneettiset kuristimet (Sähkönumero 2014).

Elektroninen liitântälaite (kuva 19) korvaa perinteisen loistelamppukytkennän sytyttimen, kuristimen sekä kompensointi- ja häiriönpoistokondensaattorin. Elektroninen liitântälaite muuttaa 50 Hz:n verkkojännitteen 25–50 kHz:n taajuiseksi lampujännitteeksi, jonka ansiosta loistelamppu syttyy heti ilman vilkkumista ja viivettä ja sen valo on värinätöntä. Liitântälaitteen turvapiiri erottaa automaattisesti vanhentuneen lampun pois palamasta. Liitântälaitteiden etuna on hyvä tehokerroin, ja sen energiankulutus on pienempi kuin magneettisilla kuristimilla.



Kuva 19. Elektroninen liitântälaite (Sähkönumero 2014).

10.4 LED-valo

LED (Light-Emitting Diode) eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun hyvin ohuiden materiaalien läpi johdetaan sähkövirta, ja valo syntyy niin sanotussa kvanttikaivossa. Ledien valmistusmateriaalina käytetään yleensä

sä gallium-yhdisteitä, joka määrittää komponentin lähettämän valon värin. Ledin valkoinen väri syntyy sinisestä galliumnitridipohjaisesta ledsirusta, jota peittää fosforikalvo. Muita värejä saadaan ledin pintaan lisätyillä kalvoilla ja pinnoitteilla (loisteaineilla). Yksittäinen ledsiru on hyvin pieni (1mm²) ja valon spektri on kapea. Tästä syystä LED-valoissa on useita ledejä. LED-lamput ovat vielä kehitysvaiheessa, ja niiden valotehokkuus on parantunut ja paranee edelleen. Valotehokkuudelta LED-tuotteet ovat jo ohittaneet perinteiset valonlähdeyyppit. (Hietalahti 2013, 298.)

LED-lamput syttyvät heti sytytyksen jälkeen, ja niitä pystytään helposti ohjaamaan ja säätämään kuitenkin vaikuttamatta lampun käyttöikänsä. Sytytyskertojen lukumäärä ei vaikuta lampun elinikään. Lamppujen pintalämpötila on alhainen, mutta lampun sisällä ledit kuumenevat ja niiden tuottama lämpö täytyy ohjata tai tuulettaa ulos suljetusta lampusta tai valaisimesta, muuten kuumuus vähentää lamppujen valontuottoa ja käyttöikää. Lamppujen kannat, kuvut ja heijastimet ovat samoja kuin halogeeni- ja pienoislampuissa. LED-lamppu tarvitsee elektronisen liitäntälaitteen, jolla muutetaan 230 V:n vaihtojännite tasajännitteeksi. Laite voi olla itse lampussa tai se on erillinen, kuten esimerkiksi pienoislampuille. Jos elektronisessa liitäntäpiirissä ei ole kompensointi- ja suodatinpiiriä voi lampun tehokerroin olla huono (0,4–0,8). Laadukkailla liitäntäpiireillä voidaan estää virran säröytyminen, harmoniset yliaallot ja pienentää käynnistyksen virtapiikkiä, sekä parantaa tehokerrointa. (Ahoranta 2013, 332.)

LED-valaisimen hankinnassa kannattaa selvittää, voidaanko LED vaihtaa, jos se rikkoontuu. Valaisimien suhteen on huomattavia eroja valmistajien kesken. Kehittyneimmissä versioissa komponentti on erillisessä pitimessä tai kannassa, joka on vaihdettavissa. On kuitenkin tuotteita, joissa komponentin vaihtaminen on mahdollonta ja näissä tapauksissa koko valaisin joudutaan vaihtamaan uuteen. (Cariitti 2015.)

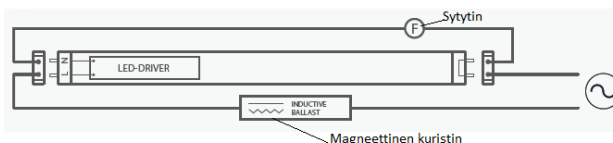
10.4.1 LED-valoputki

LED-valoputkilla päästään jo 130 lm/W valotehokkuuteen. LED-valoputket ovat ensimmäinen ja toistaiseksi ainoa LED-lamppumuoto, joka sai kansainvälisen harmonisoidun standardin (EN 62776) joulukuussa 2014. Standardointi mahdol-

listaa T8-loisteputken kanssa yhteensopivien led-valoputkien valmistamisen. Standardissa määritellään LED-valoputkilta vaadittavat ominaisuudet, kuten mekaaninen kestävyys, fyysiset mitat ja sähköiset ominaisuudet. Lisäksi tuotteelle vaaditaan tietyt merkinnät ja yhtenäiset testauskäytännöt. (Valtavallo 2015.)

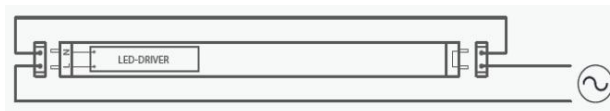
Markkinoilla on kahden tyyppisiä LED -valoputkia, joilla voidaan korvata T8-malliset loisteputkivalot: retrofit LED -valoputkia ja LED-valoputki-muutossarjoja (conversion kits).

- Retrofit LED -valoputket asennetaan jo olemassa oleviin loisteputkivalaisimiin. Retrofit asennustapaan soveltuvissa valaisimissa on tavallisesti magneettinen virranrajoitin eli kuristin. Retrofit-asennuksissa loisteputken sytytin korvataan LED -sytyttimellä (kuva 20). Tämä asennustyö rinnastetaan yleensä ylläpitotyöksi.



Kuva 20. Periaatekuva retrofit asennustavasta (Valtavallo 2015).

- Muutossarjoissa LED -valoputken asentaminen puolestaan edellyttää alkuperäiselle loisteputkivalaisimelle ja sen komponenteille ohjeiden mukaisesti tehtäviä muutostöitä (kuva 21). Muutostöitä ovat muun muassa liitäntälaitteiden ja sisäisen johdotuksen muuttaminen, korvaaminen tai poistaminen. Muutostyön voi tehdä vain sähköalan ammattilainen ja valaisimiin pitää laittaa varoitus/merkintä siitä, että ne on muutettu LED -valoputkikäyttöön. (Tukes 2014.)



Kuva 21. Periaatekuva uudelleenjohdotetusta valaisimesta (Valtavallo 2015).

LED-valoputkia on saatavilla myös vanhaan T5-malliseen loisteputkivaloon, mutta asennus on tehtävä valmistajan erityisehtoja noudattaen ja asennuksen voi suorittaa vain sähköalan ammattilainen (Finlight 2015).

10.4.2 Valojen ohjaustapoja

Valaistuksen tarpeenmukaisella ohjauksella vähennetään kokonaisenergiankulutusta ja saavutetaan energiansäästöjä tiloissa, joissa ei oleskella jatkuvasti sekä hyödynnetään päivänvaloa. Valaistuksen ohjauksella voidaan parantaa tilan käytännöllisyyttä, laatua ja mukavuutta muun muassa alla olevilla toiminnoilla. Perinteisesti valaistusohjaukset on toteutettu päälle ja pois-ohjauksina, jolloin valot ovat joko päällä tai sammutettuina.

- Vakiovalo-ohjaus toimii sisään tulevan päivänvalon mukaan ja pitää tilan valaistustason vakiona riippumatta auringon asennosta ja pilvisyydestä. Ohjauksella saadaan noin 10–15 % säästöt, koska sillä pystytään kompensoimaan alenemakertoimesta johtuvaa ylimitoitusta.
- Läsnaolo-ohjaus toimii periaatteella, valot päällä vain tarvittaessa. Valo syttyy automaattisesti, kun joku on paikalla ja sammuu automaattisesti säädettävän viiveen jälkeen, kun henkilö on poistunut tilasta. Käytävätöminnolla pystytään säätämään ohjaus niin, että valaistuksen taso laskee kun siellä ei ole liikettä ja liikkeen tunnistuksen avulla nostaa valaistustason maksimiin.
- Päivänvalo-ohjaus toimii samalla periaatteella kuin vakiovalo-ohjaus. Päivänvalo-ohjaus puolestaan säätää valaistusvoimakkuutta ikkunoista tulevan luonnonvalon mukaan.
- Yhdistetty ohjaus perustuu vakiovalo-, läsnäolo- ja päivänvalo-ohjauksen samanaikaiseen käyttöön, jolloin saadaan maksimaalinen hyöty energiankulutuksen suhteen.
- Poissaolo-ohjaus toimii läsnäolo-ohjauksen periaatteella, mutta valo sytytetään manuaalisesti kytkimellä ja valot sammuvat viimeisen läsnäolohavainnon jälkeen automaattisesti. Tällä ohjauksella voidaan saada vielä hieman suurempi säästö kuin läsnäolo-ohjauksella. (Varsila 2015.)

11 VIRASTOTALON VALAISTUS

Virastotalon valaistus muodostuu useista sadoista valaisimista, ellei tuhansista. Pääasiassa virastotalossa on käytetty paljon loisteputkivalaisimia jotka ovat T8-mallisia teholtaan 1*36W ja 1*58W (porraskäytävät), 2*58W (toimistohuoneet) ja 4*18 W (ruokala) sekä ainakin tuloaulassa on energiansäästölamppuja useita kappaleita. Valaisimien lukumäärä vaihtelee toimistohuoneissa niiden pinta-alojen mukaan, esimerkiksi suurimmissa on 3*2*58 W valaisimia. Kerroksesta riippuen valaistavien käytävien pinta-ala osuudet vaihtelevat noin 150–200m² sekä yksittäisten toimistohuoneiden pinta-alat vaihtelevat noin 10–22m². Valaistukseen on jossain vaiheessa liitetty liiketunnistin toimintaa, mutta ne ovat poistettu käytöstä toimimattomuuden vuoksi.

11.1 Valaisimien energiankulutus

Valaisimen tehosta riippuen myös kuristin ja sytytin kuluttavat energiaa, jolloin loisteputken ottotehoon lisätään kuristimen ja sytyttimen kuluttama teho, joka vaihtelee eri valmistajien mukaan.

- 58 W-loisteputken kokonaiskulutus liitäntälaitteen/kuristimen kanssa on 63-72W, keskimäärin voisi kulutus olla noin 71 W
- 36 W-loisteputken kokonaiskulutus liitäntälaitteen/kuristimen kanssa 39-50W, keskimäärin voisi kulutus olla noin 45 W
- 18 W-loisteputken kokonaiskulutus liitäntälaitteen/kuristimen kanssa 19-32W, keskimäärin voisi kulutus olla noin 26 W. (Finlight 2015.)

Energiankulutuksen laskuissa käytän kutakin loisteputkea 100 kappaleen verran (58 W, 36 W ja 18 W), koska valaisimien tarkkaa lukumäärää ei ole tiedossa, jolloin nykyinen kokonaiskulutus sadan kappaleen loisteputkille on $100 \cdot 71 \text{ W} = 7,1 \text{ kW}$, $100 \cdot 45 \text{ W} = 4,5 \text{ kW}$ sekä $100 \cdot 26 \text{ W} = 2,6 \text{ kW}$ eli yhteensä 14,2 kW.

11.2 Energiatohokkaampi valaistus

Valmistajasta riippuen led-valoputkien tehomäärät ja valojen vastaavuudet vaihtelevat hieman, esimerkiksi 58 W (150 cm) tilalle suositellaan LED -valoputkea, joka tuottaa saman määrän valoa ja toimii 24–28 W teholla (+ kuristin 0,5–3 W). Myös tuotteiden takuuajat vaihtelevat viidestä seitsemään vuoteen (kotimainen valmistaja). Esimerkissä käytän erään kotimaisen valmistaja LED -valoputkia, joiden väriämpötila on 4000 K (neutraali), värintoistoindeksi $R_a > 80$ ja energiatehokkuudet 150 cm putkilla $> 109\text{--}125$ lm/W, 120 cm putkilla $> 119\text{--}147$ lm/W sekä 60 cm putkilla $> 113\text{--}130$ lm/W. Joissa elektroninen LED -liitäntälaite on integroitu putken sisälle.

- Korvataan vanha (150 cm) 58W:n loisteputki 27 W:n (+liitäntälaite 2 W) LED -valoputkella.
- Korvataan vanha (120 cm) 36W:n loisteputki 18 W:n (+liitäntälaite 2 W) LED -valoputkella.
- Korvataan vanha (60 cm) 18W:n loisteputki 9W:n (+liitäntälaite 2 W) LED -valoputkella.

Tällöin tehonkulutus olisi sadan kappaleen LED -valoputkilla noin $100 \cdot 29 \text{ W} = 2,9 \text{ kW}$, $100 \cdot 20 \text{ W} = 2,0 \text{ kW}$ sekä $100 \cdot 11 \text{ W} = 1,1 \text{ kW}$ eli yhteensä 6 kW.

Verrattaessa yhden toimistohuoneen (20m^2) energiankulutukseen, jossa on 3 valaisinta ja kussakin valaisimessa on $2 \cdot 58 \text{ W}$ loisteputkivaloja, joten energiankulutus on 426 W. Jos lamput vaihdettaisiin LED -valoputkiin, niin energiankulutus olisi 174 W, jolloin energiansäästö olisi 40 %.

Liitteessä kahdeksan on esitetty suuntaa antava laskenta raportti, jossa säästöpotentiaali on suurin piirtein samaa luokkaa kuin yllä esitettyssä esimerkissä. Mukana on myös toinen arvio, jossa on käytetty vain 500 kappaletta 58 W:n loisteputkivaloja (Leditalo 2015). Laskuissa ei ole otettu huomioon muutostöistä aiheutuva kustannusta, joten takaisinmaksuaikaan en ota kantaa. Valmistajien eri säästölaskelma ohjelmilla keskivertainen säästö olisi kokonaistehojen mukaan noin 40–50 % sähkön käytöstä, ja hiilidioksidipäästöt pienentyisivät noin 44 %.

12 JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET

Virtayliaaltopitoisuus verkossa on 3. yliaallon osalta suurehko ja 5. ja 7. yliaalto ylittivät myös suosituksissa annetut rajat, ja loistehon kulutus on induktiivista. Mittaustuloksien perusteella suosittelen kompensointia loistehosäätimillä varustettua estokelaparisto järjestelmää ja 3. yliaallon suodattimen hankintaa.

Valaistuksen osalta jatkotoimenpidesuosituksia on kaksi: Vanhojen loisteputkien tilalle vaihdettaisiin LED -valoputket (vertailuissa käytetyillä tehoilla), jolloin saataisiin vanhoille valaisimille vielä lisää käyttövuosia. Asennustavaksi suosittelisin muutostyötä, jolloin valaisimen johdotukset on tehtävä uudestaan. Valaistuksen täydentämistä voisi harkita toimistohuoneisiin LED -työpistevalaisimia, joissa olisi valon voimakkuuden ja kirkkauden säätö. Näin saataisiin jokaiselle työntekijälle oman mieltymyksen ja tarpeenmukainen valaistus.

Toisena vaihtoehtona suosittelisin koko valaistusjärjestelmän uusimista, koska järjestelmä on jo vanha ja jossain vaiheessa sen uusiminen kuitenkin tulee ajankohtaiseksi. Valaisimiksi valittaisiin LED -valaisimia, ja valaistusjärjestelmän voisi toteuttaa läsnäolo-, liiketunnistin- ja päivänvalo-ohjaukseen perustuvalla ohjauksella. Esimerkiksi toimistohuoneisiin valittaisiin läsnäolo- ja päivänvalo-ohjauksella varustettuja LED -valaisimia sekä työpistevalaisin. Käytävillä ja porashuoneisiin asennettaisiin liiketunnistimella toimiva ohjaus, jossa olisi perusvalo esimerkiksi 10 % ja liikkeen havaittua syttyisi 100 %. Taukuhuoneisiin, WC-tiloihin ja muihin tiloihin, joissa ei oleskella jatkuvasti, suosittelen läsnäolotunnistimella toimivaa valaisinta, joka syttyy liikkeestä ja sammuu kokonaan, kun liikettä ei havaita.

13 YHTEENVETO

Sähkönlaatumittauksia tehdään, kun siihen on yleensä jokin syy tai tarve. Tarpeet muodostuvat yleensä siitä, että kiinteistön sähkölaitteet eivät toimi toivotulla tavalla tai loistehon maksut nousevat korkeaksi. Työn päätavoitteena oli selvittää Hollolan kunnanviraston virastotalon sähkön laatu, missä onnistuttiin hyvin. Mittausten perusteena oli käytännössä ilmenneiden ongelmien lisääntyminen. Mittaustulokset vahvistivat kompensoinnin ja yliaaltosuodatuksen tarpeen. Kolmannen yliaallon osuus on otettava huomioon kolmivaihejärjestelmässä sen nollajoh-timeen summautumisen vuoksi.

Kompensointilaitteen hankinnassa on myös hyvä miettiä tulevaisuuden laitehankintojen kehitystä, koska uudet laitteet, kuten esimerkiksi tasasuuntaajat, voivat rasittaa lisää sähköverkkoa, jolloin kompensoinnin tarve voi muuttua. Siksi kompensointilaitteiston tulisikin olla helposti laajennettavissa tai muunneltavissa aina kulloisenkin käyttötarpeen mukaan.

Hieman hämmennystä herättää yritysten suhtautuminen sähkön laadun tutkimuksiin. Kyselyiden perusteella kompensointiin ei haluta panostaa, koska säästöpotentiaali koetaan liian pieneksi tai ei katsota loistehomaksun olevan vielä niin suuri, jotta kompensointiin kannattaisi panostaa. Yritykset eivät mielestäni osaa katsoa kokonaisvaltaisesti kompensoinnin merkitystä, kuten esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen ja säästöihin loistehomaksuissa. Myöskään sähkön laadusta tulleita laitevikoja ei osata yhdistää huonoon sähkön laatuun, koska ne useimmiten johtuvat käyttäjien omista laitteista ja niiden tuomista häiriöistä verkostoon. Olisikin hyvä asettaa laki tai velvoite, jolla saataisiin yritykset panostamaan laadukkaaseen sähkön laatuun ja sisällyttämään sähköverkon laatuanalyysit pakollisiksi viranomaistarkastuksiin.

Opinnäytetyössä tutustuttiin myös valaistuksen energiatehokkuuteen pienimuotoisesti ja haluttiin selvittää sen vaikutuksia toimistorakennukseen. Energiatehokkaammalla valaistuksella vähennetään energiankäyttötarvetta ja saadaan aikaan taloudellisia säästöjä pienentyneen sähkölaskun muodossa.

Opinnäytetyön tekeminen oli todella haasteellista, mutta samalla myös opettavais- ta. Opin paljon hyvän sähkön laadun merkityksestä ja energiatehokkuudesta. Otta-

en huomioon omat lähtötietoni vaihtosähkön ominaisuuksista, sähkön laadusta ja valaistuksesta, työ onnistui mielestäni suhteellisen hyvin. Työn tekemiseen meni odotettua kauemmin aikaa, koska teorian sisäistäminen ja ymmärtäminen oli aluksi vaikeaa. Työtä hankaloitti myös tiedonhaun monimutkaisuus, mutta loppujen lopuksi eri kompensointitavat ja valaistuksen energiatehokkaammat ratkaisut tulivat tutuiksi.

LÄHTEET

Painetut lähteet.

Ahoranta, J. 2014. Sähköasennustekniikka. 11. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Ahoranta, J., Lesch, K. & Sundell, L. 1986. Yleisjakson sähkötekniikka. 4. painos. Porvoo: WSOY

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka. 2. uudistettu painos. Porvoo: WSOY

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka

Iso tietosanakirja. 1937. Kolmastoista osa. Helsinki: Otava

Johnsson, B. 1999. Sähköoppi 2000 Iisalmi: IS-VET Oy

Lindeman, K. & Sahinoja, T. 2000. Sähkömittaustekniikan perusteet. 1. painos. Helsinki: WSOY

Mäkinen, M. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otava

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

Salonen, J. & Salonen, P. 2008. Sähkötekniikan perusoppi 6. Vaihtosähkötekniikka. Keuruu: Otava

Suomen standardisoimisliitto SFS ry, SFS-EN 12464-1:2011. Sisävalaistusstandardi

Suomen standardisoimisliitto SFS ry, SFS-EN 50160:2010. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet

Elektroniset lähteet.

ABB. 2000. TTT-käsikirja 2000. Pdf. Luku 9: Loistetehon kompensointi ja yliaal-
tosuojaus [viitattu 11.12.2014]. Saatavissa:

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

Alstom. 2014. Pienjännitetuotteiden tuoteopas. Pdf [viitattu 11.11.2014]. Saata-
vissa:

<http://www.alstom.com/Global/Finland/Resources/Documents/Pienj%C3%A4nnitetuotteiden%20tuoteopas.pdf>

Cariitti. 2015. Led-tietopaketti [viitattu 25.02.2015]. Saatavissa:

<http://www.cariitti.fi/sivut/led-tietopaketti>

Finlight. 2015. FL-TL8 LED-valoputket [viitattu 25.02.2015]. Saatavissa:

<http://www.finlight.fi/index.php?page=tuotteet&id=96>

Fluke. 2014. Käyttöopas. Pdf [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa:

<http://www.fluke.com/fluke/fifi/Sahkonlaatutyokalut/Kolmivaiheinen/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>

Fluke. 2014. Tuotteet [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa:

<http://www.fluke.com/fluke/fifi/products/default.htm>

Fortum. 2014. Sähkön laatu [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa:

<https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/asiakaspalvelu-ja-ohjeet/hairiot-ja-vikailmoitukset/sahkon-laatu/pages/default.aspx>

Hollola. 2014. Palvelut [viitattu 10.10.2014]. Saatavissa:

<http://www.hollola.fi/keskus/frame/frame3.htm>

Hollola. 2014. Toimintakertomus. Pdf [viitattu 20.12.2014]. Saatavissa:

http://www.hollola.fi/keskus/talous/toimintakertomus_2013.pdf

Leditalo Oy. 2015. Kokeile uutta LED-Säästölaskuria [viitattu 03.02.2015]. Saa-
tavissa: <http://teholed.com/laskuri/>

Motiva. 2009. Valaistusta on uusittava. Pdf [viitattu 03.02.2015]. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta_on_uusittava_Tarkeaa_tietoa_kuntien_paattajille.pdf

Suomen Akatemia. 2010. Tietysti [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa:
<http://www.aka.fi/fi/T/Kysytyt-kysymykset/Miten-loistehoa-voisi-valttaa-jatuleeko-loisteho-jossakin-vaiheessa-maksulliseksi>

Suomen Valoteknillinen Seura. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus [viitattu 03.02.2015]. Saatavissa:
http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf

Sähkö. 2014. Pdf [11.11.2014]. Saatavissa:
<http://personal.inet.fi/private/procyon/pub/Sahkooppi.pdf>

Sähkönumero. 2014. Tuotteet [viitattu 10.12.2014]. Saatavissa:
<http://sahkonumerot.fi/tuoteryhmat/>

Tampereen teknillisen yliopisto. 2014. Sähkötekniikka. Pdf [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: <http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-2100/2012/periodi2/luento11.pdf>

Tukes. 2014. Muistio. Pdf [viitattu 25.02.2015]. Saatavissa:
http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/LED_valoputket_loisteputki_en_korvaajina.pdf

Valtavalo. 2015. Tiedotteet [viitattu 25.02.2015]. Saatavissa:
<http://valtavalo.fi/tiedotteet/uusi-standardi-vauhdittaa-led-valoputkimarkkinaa/>

Varsila, M. Pdf [viitattu 25.02.2015]. Saatavissa:
<http://www.ktinterior.fi/luettelot/ValaistuksenOhjaus/files/valaistuksen%20ohjaus.pdf>

Wikipedia. 2009. Kolmivaihevirta [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kolmivaihevirta>

Wikipedia. 2014. Luminanssi [viitattu 25.02.2015]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Luminanssi>

Wikipedia. 2014. Tehokolmio [viitattu 11.11.2014]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cmplxpower.svg>

LIITTEET

LIITE 1. Mittaustapahtumat taulukoituna

LIITE 2. Vaihekohtaiset pätö-, lois- ja näennäistehot sekä kokonaiskulutus

LIITE 3. Taajuus Hz ja epäsymmetria % sekä virran ja jännitteen epäsymmetria

LIITE 4. Vaihekohtaiset tehokertoimet

LIITE 5. Harmoniset yliaallot (1-7 aaltoon) sekä kokonaissärö

LIITE 6. Vaihekohtaiset jännitteet ja virrat

LIITE 7. Välkäntä

LIITE 8. LED-säästölaskuri

LIITE 1. Mittaustapahtumat.

Date	AN(V) / A(A) Min	AN(V) / A(A) Avg	AN(V) / A(A) Max	IN(V) / I(A) Min	IN(V) / I(A) Avg	IN(V) / I(A) Max	CV(V) / C(A) Min	CV(V) / C(A) Avg	CV(V) / C(A) Max	NE(V) / N(A) Min	NE(V) / N(A) Avg	NE(V) / N(A) Max	Total Min	Total Avg	Total Max
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	-119,72°	-119,72°	-119,72°	-239,88°	-239,82°	-239,78°	-239,74°	-239,74°	-239,74°	2300 W	2600 W	2730 W
28.4.2014 12:40:39 383sec	-39,4%	-37,64%	-36,24%	-157,84°	-157,84°	-157,84°	-278,22°	-278,48°	-277,06°	-141,05°	-126,06°	-109,11°	1650 W	1650 W	1650 W
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5900 W	5900 W	5900 W
28.4.2014 12:40:39 383sec	185,6 A (0,00)	199,9 A (0,00)	199,9 A (0,00)	188 A	179,8 A (0,00)	179,8 A (0,00)	207,6 A	207,6 A	216,5 A (0,00)	42,6 A (0,00)	42,6 A (0,00)	45,9 A (0,00)	37400 Wh	37400 Wh	37400 Wh
28.4.2014 12:40:39 383sec	385 A	394,4 A	394,4 A	385 A	375,2 A	375,2 A	386,2 A	386,2 A	395,3 A	24,2 A	24,2 A	26,8 A	37400 Wh	37400 Wh	37400 Wh
28.4.2014 12:40:39 383sec	33,65 kW	35,4 kW	37,6 kW	32,1 kW	32,1 kW	32,1 kW	36 kW	36 kW	38,25 kW	4,5 kW	4,5 kW	4,7 kW	109,45 kW	109,45 kW	109,45 kW
28.4.2014 12:40:39 383sec	43 kVA	44,2 kVA	46,2 kVA	40,8 kVA	40,8 kVA	40,8 kVA	46,75 kVA	46,75 kVA	50,3 kVA	4,7 kVA	4,7 kVA	4,7 kVA	133,8 kVA	133,8 kVA	133,8 kVA
28.4.2014 12:40:39 383sec	3,2 kVA	3,5 kVA	3,7 kVA	3,65 kVA	3,65 kVA	3,65 kVA	4,25 kVA	4,25 kVA	4,5 kVA	0,5 kVA	0,5 kVA	0,5 kVA	11,3 kVA	11,3 kVA	11,3 kVA
28.4.2014 12:40:39 383sec	34,9 kW	37,1 kW	37,1 kW	34,9 kW	34,9 kW	34,9 kW	37,7 kW	37,7 kW	39,8 kW	3,7 kW	3,7 kW	3,7 kW	98,05 kW	98,05 kW	98,05 kW
28.4.2014 12:40:39 383sec	46,05 kVA	46,05 kVA	46,05 kVA	38,95 kVA	38,95 kVA	38,95 kVA	46,55 kVA	46,55 kVA	50,1 kVA	5,0 kVA	5,0 kVA	5,0 kVA	136,05 kVA	136,05 kVA	136,05 kVA
28.4.2014 12:40:39 383sec	26,5 kvar	27,85 kvar	27,85 kvar	25,5 kvar	25,5 kvar	25,5 kvar	30,05 kvar	30,05 kvar	30,85 kvar	0,81 kvar	0,81 kvar	0,81 kvar	82,1 kvar	82,1 kvar	82,1 kvar
28.4.2014 12:40:39 383sec	0,78	0,8	0,8	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
28.4.2014 12:40:39 383sec	0,77	0,79	0,81	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
28.4.2014 12:40:39 383sec	0,071	0,081	0,081	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
28.4.2014 12:40:39 383sec	330,27 kWh	330,27 kWh	330,27 kWh	347,78 kWh	347,78 kWh	347,78 kWh	386,79 kWh	386,79 kWh	424,73 kWh	424,73 kWh	424,73 kWh	424,73 kWh	1056,83 kWh	1056,83 kWh	1056,83 kWh
28.4.2014 12:40:39 383sec	403,99 kWh	403,99 kWh	403,99 kWh	433,78 kWh	433,78 kWh	433,78 kWh	484,73 kWh	484,73 kWh	524,73 kWh	524,73 kWh	524,73 kWh	524,73 kWh	1254,73 kWh	1254,73 kWh	1254,73 kWh
28.4.2014 12:40:39 383sec	180,33 kWh	180,33 kWh	180,33 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	210,30 kWh	620,24 kWh	620,24 kWh	620,24 kWh
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2500 W	2500 W	2500 W
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1650 W	1650 W	1650 W
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5900 W	5900 W	5900 W
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16859 Wh	16859 Wh	16859 Wh
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8028 Wh	8028 Wh	8028 Wh
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11114 Wh	11114 Wh	11114 Wh
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	37400 Wh	37400 Wh	37400 Wh
28.4.2014 12:40:39 383sec	2,23 %	2,24 %	2,25 %	2,44 %	2,45 %	2,45 %	2,45 %	2,45 %	2,47 %	64,57 %	64,57 %	65,22 %	50 Hz	50,01 Hz	50,01 Hz
28.4.2014 12:40:39 383sec	6,2 %	6,6 %	6,6 %	9,54 %	9,54 %	9,54 %	9,54 %	9,54 %	9,55 %	150,78 %	150,78 %	150,78 %	231 V	231 V	231 V
28.4.2014 12:40:39 383sec	1,22V	1,22V	1,23V	1,33V	1,33V	1,33V	1,36V	1,36V	1,39V	20,11V	20,11V	20,66V	0,3V	0,3V	0,3V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0,09	0,09	0,09	0,1 %	0,11 %	0,11 %	0,12 %	0,12 %	0,12 %	0,07 %	0,07 %	0,07 %	0,28V	0,28V	0,28V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0,67V	0,67V	0,67V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V	0,68V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0,119	0,119	0,119	0,118	0,118	0,118	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	23V	23V	23V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,28V	0,28V	0,28V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,28V	0,28V	0,28V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,28V	0,28V	0,28V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,28V	0,28V	0,28V
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,28V	0,28V	0,28V
28.4.2014 12:40:39 383sec	231,52 V	231,67 V	231,79 V	232,23 V	232,23 V	232,23 V	232,53 V	232,53 V	232,53 V	0,02 V	0,02 V	0,02 V	0,25%	0,25%	0,25%
28.4.2014 12:40:39 383sec	400,72 V	400,99 V	401,17 V	402,8 V	402,8 V	402,8 V	402,21 V	402,21 V	402,54 V	4,28%	4,28%	4,28%	0,13%	0,13%	0,13%
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4,28%	4,28%	4,28%
28.4.2014 12:40:39 383sec	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5,63%	5,63%	5,63%

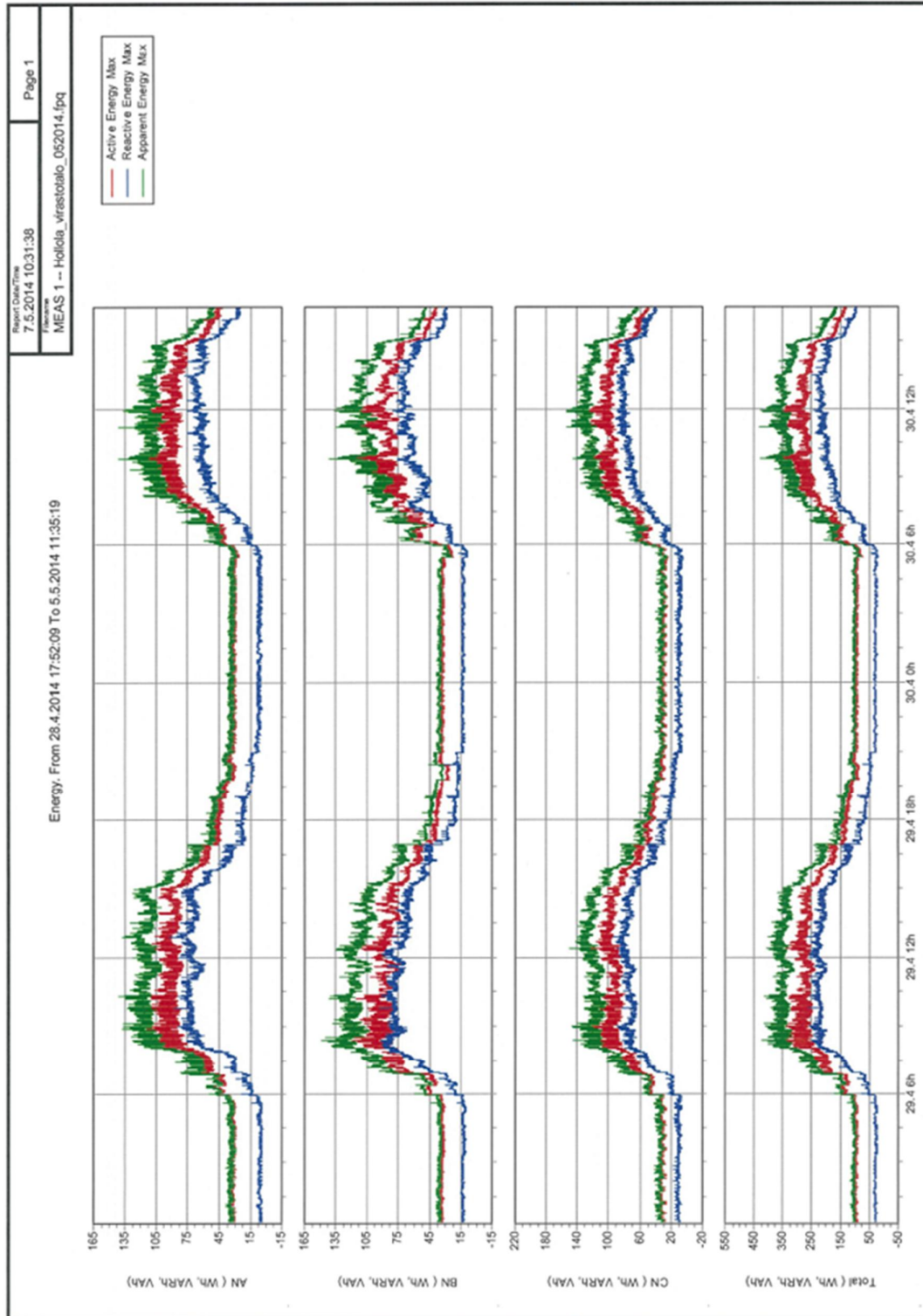
COM: ...

From 28.4.2014 05:35 To 30.4.2014 21:26

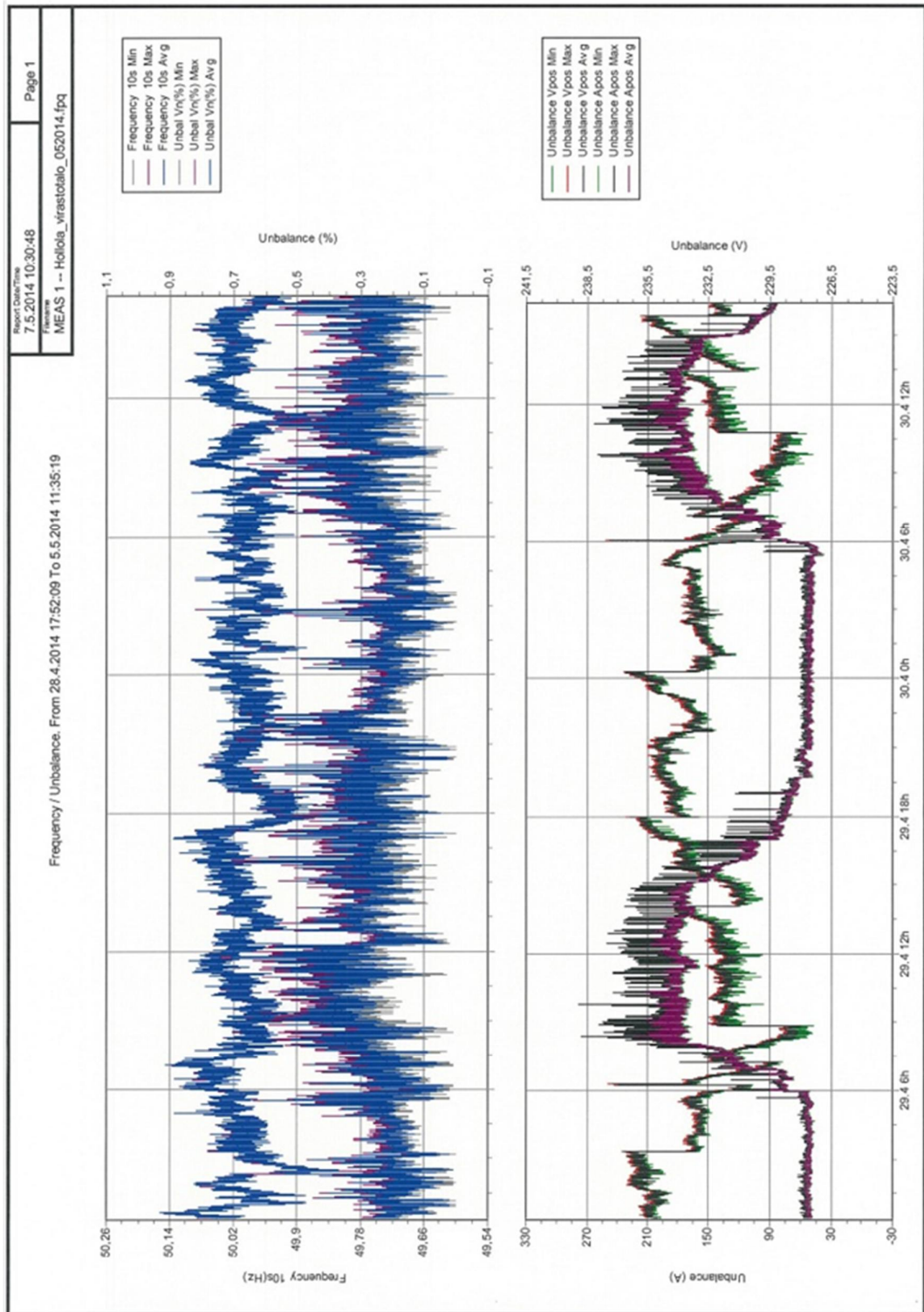
Summaries: Voltage and Current Statistics, Frequency/Unbalance, Power, Energy Losses, Flicker, Wave Signaling, Power Harmonics, Harmonics

AN(V) / A(A) IN(V) / I(A) CV(V) / C(A) NE(V) / N(A) Total

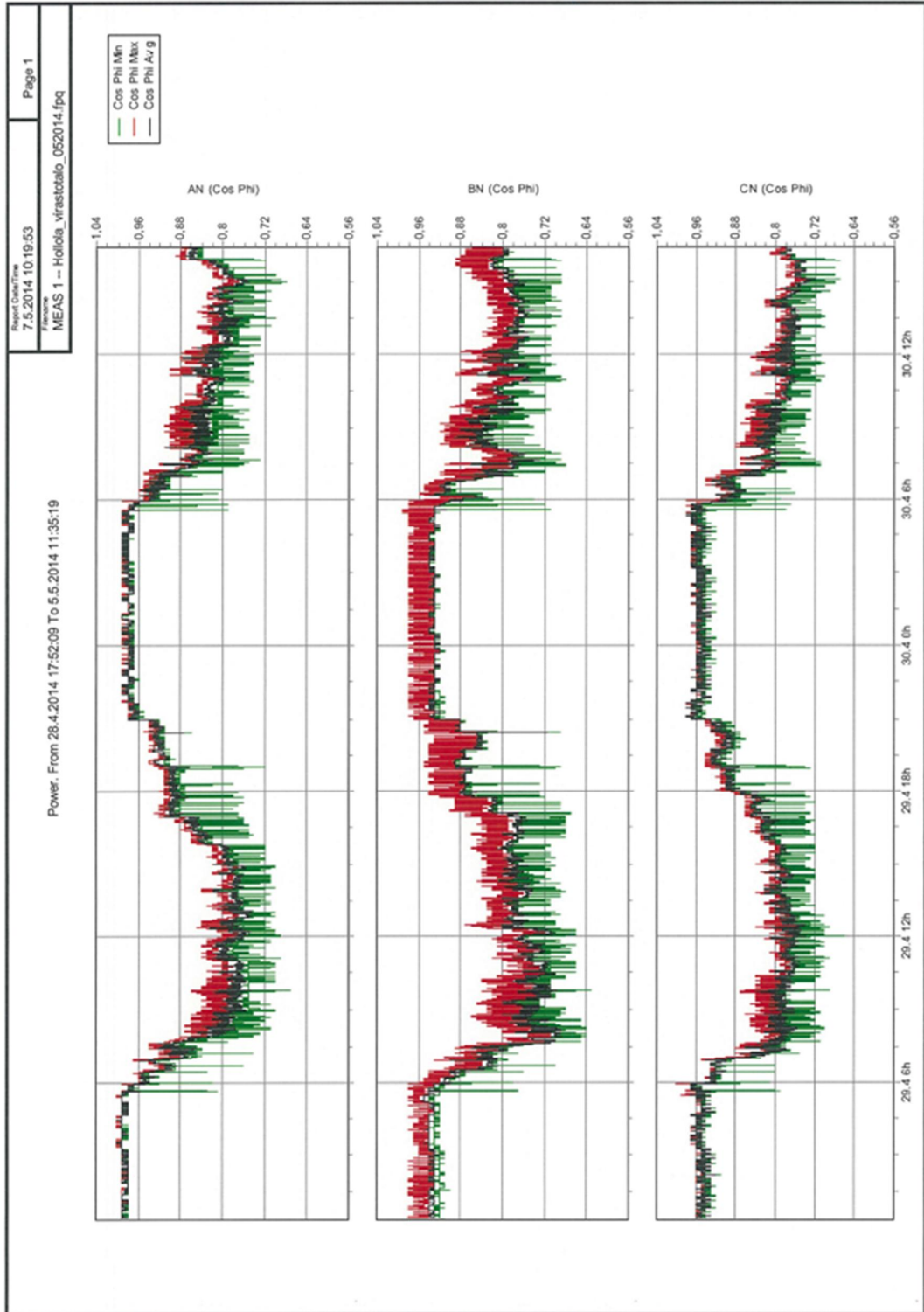
LIITE 2. Vaihekohtaiset pätö-, lois- ja näennäistehot sekä kokonaiskulutus.



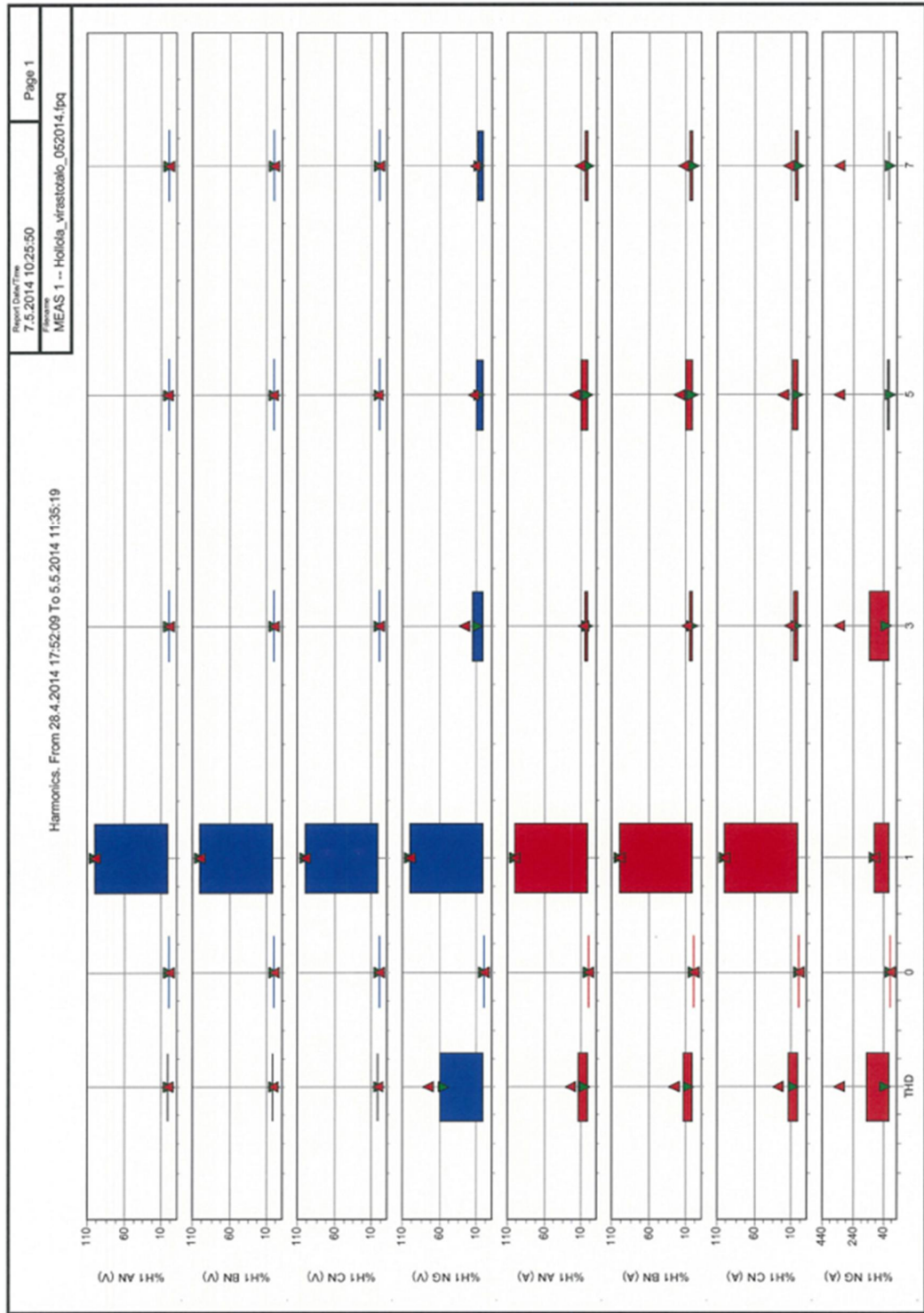
LIITE 3. Taajuus Hz ja epäsymmetria % sekä virran ja jännitteen epäsymmetria.



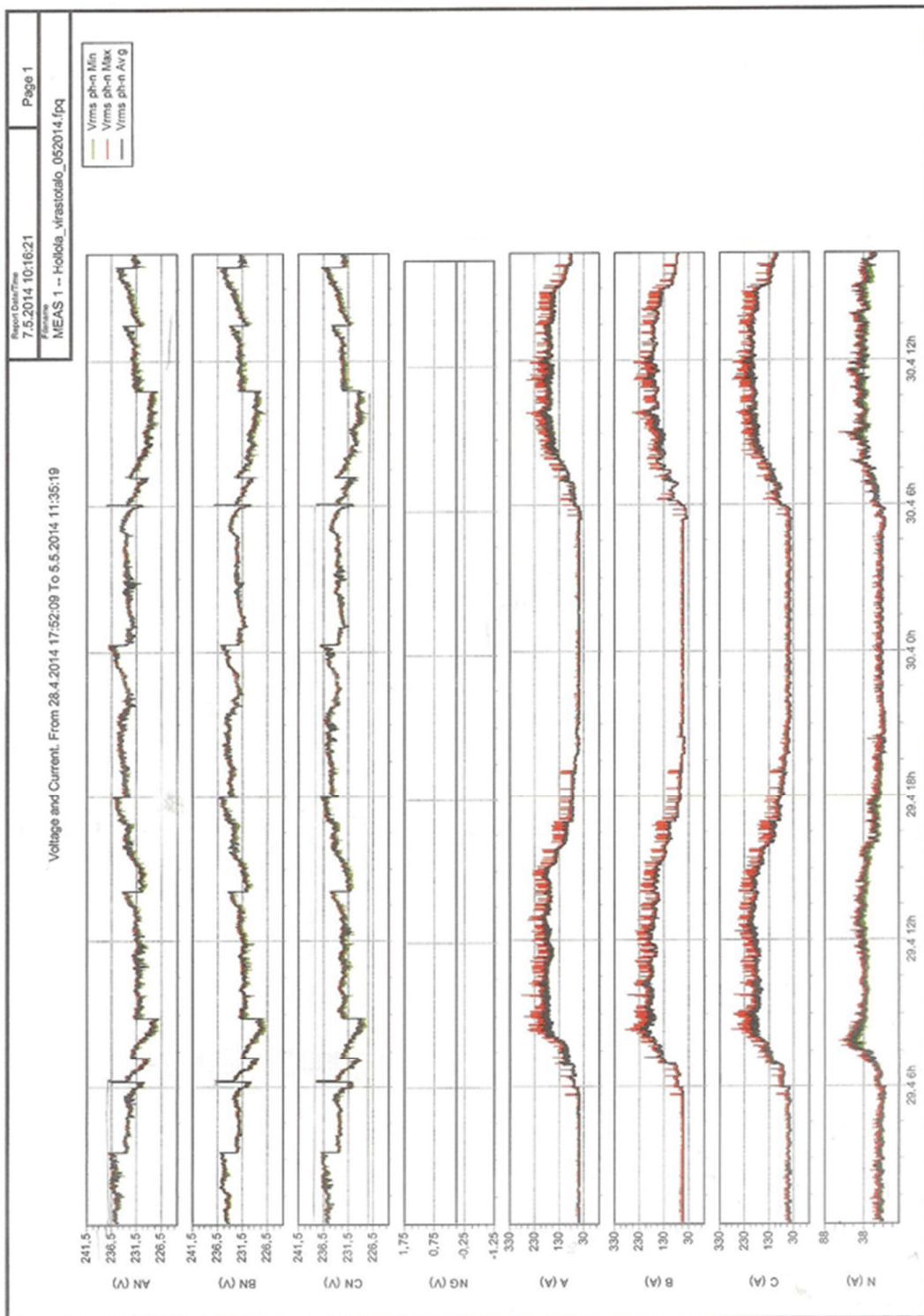
LIITE 4. Vaihekohtaiset tehokertoimet.



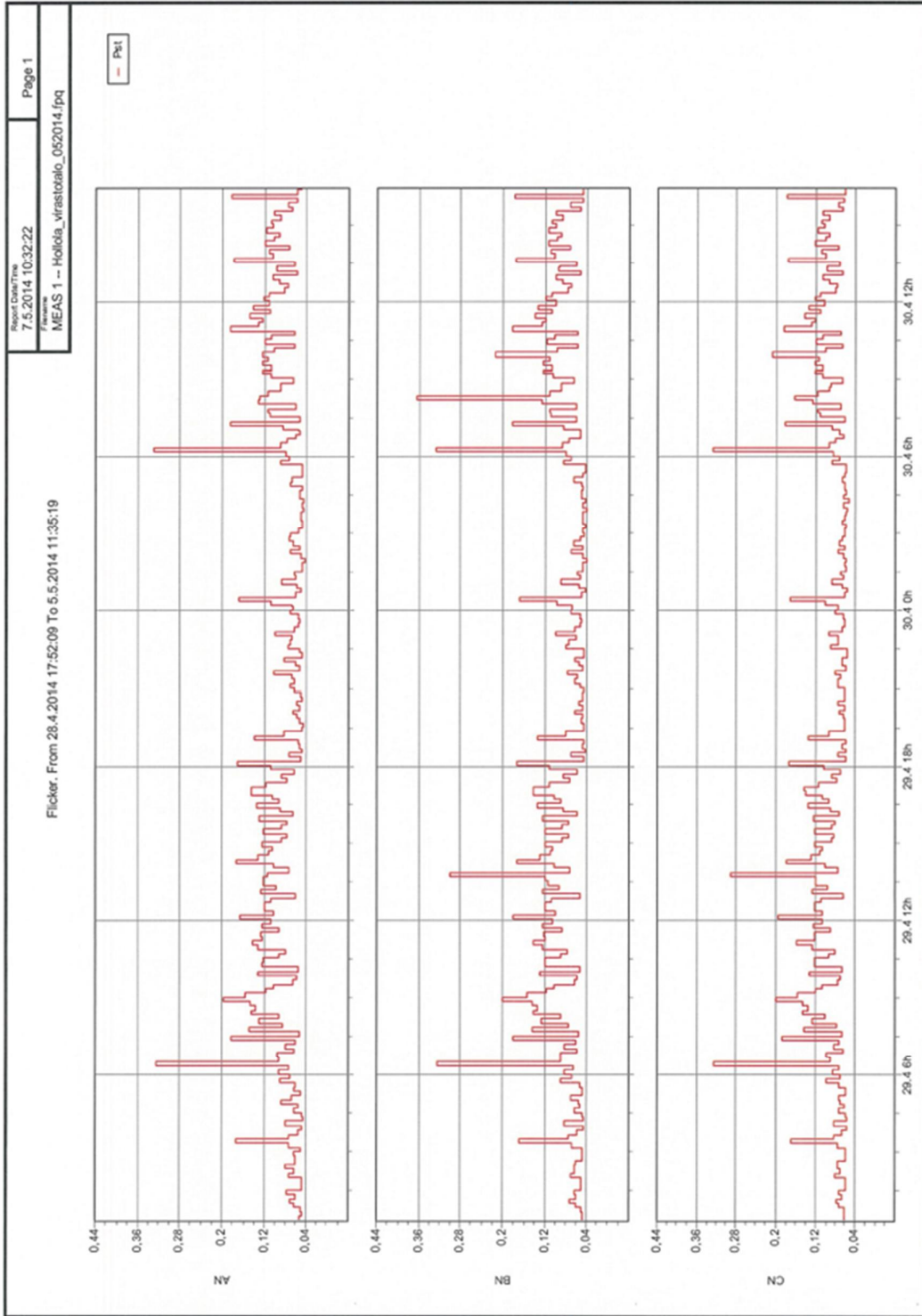
LIITE 5. Harmoniset yliaallot (1-7 aaltoon) ja jännitteen sekä virran kokonaissärö.



LIITE 6. Vaihekohtaiset jännitteet ja virrat.



LIITE 7. Välkyntä.



LIITE 8. LED-säästölaskuri.

Yhteenveto	Valaistus perinteisellä tekniikalla (10V)	Valaistus LED-tekniikalla (10V)	Energian säästö (10V)	Takaisinmaksuaika
	33663 €	19711 €	123 MWh	Alle 4 vuotta

Laskelman tiedot

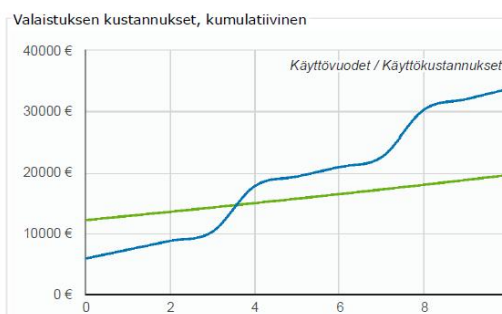
Laskelman valaistuksessa on käytetty 100kpl 60cm loisteputkia, 100kpl 120cm loisteputkia sekä 100kpl 150cm loisteputkia.

Valaistus on käytössä 2087 tuntia vuodessa, LED-putket on uusittava 14 vuoden käytön jälkeen.

Energiakustannuslaskuissa on huomioitu vuosittain 2% nouseva sähkön hinta 6 snt/kWh.

Laskelman loisteputkimäärä sisältää 2400 mg elohopeaa.

Energiankulutus	Perinteinen	LED
Valaistuksen teho	11.2 kW	5.3 kW
Energiankulutus päivässä	5.38 €	2.54 €
Energiankulutus vuodessa	1402.46 €	663.67 €
Energiansäästö	0%	53 %
Energiankulutus 10 vuodessa	233744 kWh	110611 kWh
Hiilidioksidipäästöt 10 vuodessa	47 tonnia	22 tonnia
Vaihdettavia lamppuja 10 vuodessa	900 kpl	300 kpl



Yhteenveto	Valaistus perinteisellä tekniikalla (10V)	Valaistus LED-tekniikalla (10V)	Energian säästö (10V)	Takaisinmaksuaika
	70559 €	41982 €	344 MWh	Alle 4 vuotta

Laskelman tiedot

Laskelman valaistuksessa on käytetty 500kpl 150cm loisteputkia.

Valaistus on käytössä 2087 tuntia vuodessa, LED-putket on uusittava 14 vuoden käytön jälkeen.

Energiakustannuslaskuissa on huomioitu vuosittain 2% nouseva sähkön hinta 6 snt/kWh.

Laskelman loisteputkimäärä sisältää 4500 mg elohopeaa.

Energiankulutus	Perinteinen	LED
Valaistuksen teho	29 kW	12.5 kW
Energiankulutus päivässä	13.92 €	6 €
Energiankulutus vuodessa	3631.38 €	1565.25 €
Energiansäästö	0%	57 %
Energiankulutus 10 vuodessa	605230 kWh	260875 kWh
Hiilidioksidipäästöt 10 vuodessa	121 tonnia	52 tonnia
Vaihdettavia lamppuja 10 vuodessa	1500 kpl	500 kpl

