



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Teemu Kuutti

# TEOLLISUUSVERKON YLIAALTOJEN MITTAUS

Tekniikka  
2016

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Teemu Kuutti
Opinnäytetyön nimi	Teollisuusverkon yliaaltojen mittaus
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	38
Ohjaaja	Kari Jokinen

---

Opinnäytetyössäni tarkoituksena oli selvittää Nurmon Atrian teollisuusverkon jänniteyliaalto ja jännitevaihtelutilanne, samalla mitattiin virrat, jännitteet ja THD:t. Työ suoritettiin, koska haluttiin selvittää teollisuusverkon tilanne ja kunto, että välttyttäisiin turhilta tuotantolinjojen seisahduksilta.

Mittaukset tehtiin Metrel Power Q4, MI2592-verkkoanalysointilaitteella, jolla mitattiin yliaallot ja muut suureet. Mittaustulokset analysoitiin Metrel PowerView nimisellä ohjelmalla, jolla saatiin ajettua standardin EN 50160 käyttämä testi.

Mittaukset olivat onnistuneita ja standardi EN 50160 jänniteyliaalto osio täyttyi suurimmassa osin mitatuista pääkeskuksista, jännitevaihteluosio täyttyi täysin. Näihin muutamaaan pääkeskukseen, jotka eivät täyttäneet kyseistä standardin jänniteyliaalto osiota on sovittu pidempiaikainen mittaus ja imupiirin tai estokelaparriston asennus.

## ABSTRACT

Author	Teemu Kuutti
Title	Harmonic Measurements of an Industrial Grid
Year	2016
Language	Finnish
Pages	38
Name of Supervisor	Kari Jokinen

---

The purpose of thesis was to study the harmonics and voltage variations of an industrial grid at Nurmo Atria. The harmonics measurements were made because there was a need to ensure the situation and condition of the industrial grid to avoid idle time at the production lines.

The measurements were made using the Metrel Power Q4, MI2592 grid analyzer, which measures harmonics and other quantities. The measurement results were analysed with the Metrel PowerView software, which enabled the running of a test in accordance with the standard EN 50160.

The results were positive and harmonics part of the standard EN 50160 was met with most of the measured switchboards. All voltage variations were according to the standard. As for the few switchboards, where the harmonics did not meet the standard EN 50160, long-term measurements and the installation of absorbing circuits or blocking reactors have been agreed on.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	6
2	VIRTA- JA JÄNNITEYLIAALLOT .....	7
	2.1 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot.....	7
	2.2 Virtayliaaltojen lähteet sähköverkossa .....	8
	2.2.1 Purkauslamput.....	8
	2.2.2 Hakkuriteholähteet .....	8
	2.2.3 Suuntaajat.....	9
	2.3 Yliaaltojen tarkastelu sähköverkossa.....	10
	2.4 Säröytyminen .....	11
	2.5 Yliaaltojen aiheuttajat ja haitat .....	13
	2.6 Virtayliaaltojen pienentäminen.....	16
	2.6.1 Suurempi pulssiluku.....	16
	2.6.2 Imupiiri.....	16
	2.6.3 Aktiivisuodatin.....	17
	2.6.4 Estokelaparisto .....	17
3	TARKASTELTAVA VERKKO JA MITATTAVAT KOHTEET .....	18
	3.1 Pelkistetyn verkon rakenne .....	18
	3.2 Mittauksen kohteet ja kuormat.....	21
4	MITTALAITE .....	24
5	VERKON MITTAUKSET JA ANALYYSI.....	28
	5.1 Standardi EN50160.....	28
	5.2 Mittausten analysointi .....	28
	5.3 Muuntamo 2, pääkeskukset 21, 22, 24 ja 25.....	29
	5.4 Muuntamo 3, pääkeskukset 31 ja 34.....	30
	5.5 Muuntamo 6, pääkeskukset 61, 62, 63, 64, 65, 66 ja 67.....	30
	5.6 Muuntamo 7, pääkeskukset 71, 72 ja 73.....	32
	5.7 Muuntamo 8, pääkeskukset 81, 82 ja 83.....	33
	5.8 Muuntamo 9, pääkeskukset 91, 92 ja 93.....	34
	5.9 Muuntamo 10, pääkeskukset 101, 102 ja 103.....	35

5.10 Muuntamo 14, pääkeskukset 141 ja 142.....	35
5.11 Muuntamo 16, pääkeskus 161.....	36
6 POHDINTA.....	37
LÄHTEET.....	38

## 1 JOHDANTO

Yliaallot ovat teollisuusverkon häiriöitä, jotka ovat vaihtosähkön taajuuden (50 Hz) monikertoja. Yliaallot huonontavat huomattavasti teollisuusverkon sähkönlaatua ja siksi halutaan varmistaa yliaalto-tilanne mittauksin pääkeskuksilta, jotta tuotanto ei seisahtelisi tai rikkoisi laitteita ja komponentteja.

Sähköllä on laatutekijänsä, kuten jännitetaso, hitaat ja nopeat jännitteen vaihtelut ja työssäni käsittelemäni yliaallot. Näistä aiheutuvat ongelmat saattavat vaurioittaa laitteita tai aiheuttaa resonanssi-ilmiöitä, virhetoimintoja suoja- ja mittalaitteisiin ja verkossa ylimääräisiä häviöitä, mikä johtaa laitteiden ylimitoitamiseen.

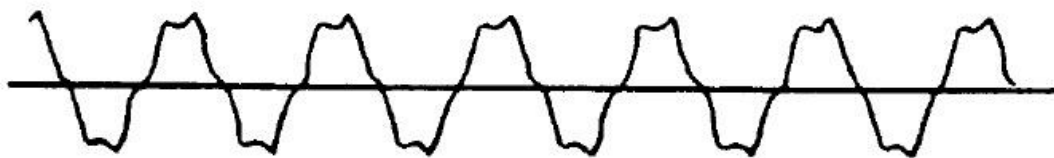
Opinnäytetyössäni aiheena oli selvitys Atrian teollisuusverkon tilasta ja kunnosta yliaaltojen kannalta. Atrian teollisuusverkossa on ollut komponenttien hajoamista ja syytä tälle ei välttämättä ole ollut ja täten haluttiin selvittää olisiko yliaallot syytä tähän tuotannon seisauksiin ja komponenttien rikkoutumiseen. Pääkeskuksilta mitattiin yliaaltojen lisäksi jännitesäröt ja – vaihtelut. Pääkeskusten yliaalto-omaisuuteen vaikutti pääkeskuskuormat, jota käyn tässä opinnäytetyössäni läpi.

## 2 VIRTA- JA JÄNNITEYLIAALLOT

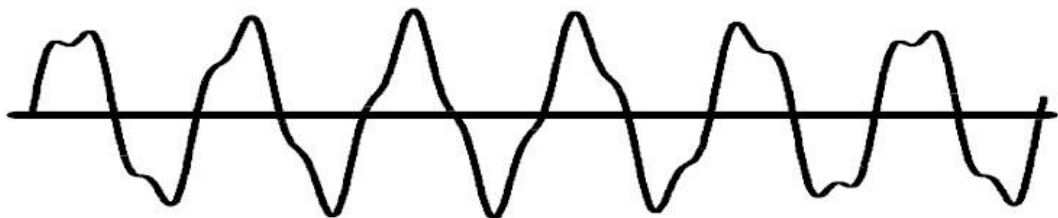
### 2.1 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Yliaallot voidaan luokitella harmonisiin yliaaltoihin, jotka ovat 50 Hz:n perustajuisen virran tai jännitteen monikertoja ja epäharmonisiin, jotka eivät ole perustajuisen monikertoja. Harmonisten yliaaltojen järjestysluku saadaan kaavan 1 mukaan. Jos virran tai jännitteen jakso toistuu samanlaisena, vaikkei olisikaan sinimuotoinen, niin saadaan harmonisia yliaaltoja.

Kuvassa 1 jakso toistuu samanlaisena ja täten on harmoninen, vaikka se ei olisikaan sinimuotoinen. Kuvasta 2 nähdään, ettei jakso toistu harmonisena, mikä tekee siitä epäharmonisen.



Kuva 1. Säröytynyt jännite harmonisen yliaallon vuoksi. /2/



Kuva 2. Säröytynyt jännite epäharmonisen yliaallon vuoksi. /2/

Harmonisia yliaaltojen järjestyslukua  $n$  kuvataan yleensä yliaaltokomponentin taajuuden suhteessa perusaaltoon, joka on 50 Hz, kaavan 1 mukaan.

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (1)$$

, missä

$f_n =$  yliaallon taajuus

$f_1 = \text{perusaalton taajuus}$

Yliaaltotarkastelu perustuu Fourier-analyysiin, jonka mukaan jaksollinen funktio voidaan esittää tasakomponentin, perustaajuuden komponentin ja harmonisten yliaaltojen summana, kuten kaavassa 2 on esitetty.

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} x\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(n \frac{2\pi}{T} x\right) \quad (2)$$

, missä

$$\frac{1}{2}a_0 = \text{tasakomponentti}$$

$T = \text{jakson pituus}$

$a_n$  ja  $b_n = \text{Fourier sarjan kertoimia}$

## 2.2 Virtayliaaltojen lähteet sähköverkossa

Virtayliaaltojen lähteinä voidaan pitää kaikkia verkon komponentteja, jotka eivät ota sinimuotoista virtaa verkosta.

### 2.2.1 Purkauslamput

Teollisuudessa on paljon purkaus- ja loistelamppuja, jotka ovat epälineaarista kuormaa ja ne tarvitsevat kuristimen virranrajoittamiseen. Tehokerroin jää tällöin huonoksi ja sitä parannetaan rinnakkaiskompensoinnilla. /3/

Uusien elektronisten liitälaitteiden toiminta perustuu verkkojännitteen vaihtosuuntaamiseen suurilla taajuuksilla (>20 kHz), joista syntyy 3:ta virtayliaaltoa. /3/

### 2.2.2 Hakkuriteholähteet

Tietokoneet ovat hyvä esimerkki, jotka sisältävät hakkuriteholähteen. Tietokoneen komponentit, kuten emolevy toimii tasasähköllä, joten vaihtosähkö muutetaan hakkuriteholähteessä tasasähköksi. Virran aaltomuoto poikkeaa suuresti sinimuotoisesta ja tällainen epälineaarinen virta sisältää osan perusaallosta ja paljon harmonisia yliaaltokomponentteja, kuten 3:ta virtayliaaltoa. /3/



### 2.2.3 Suuntaajat

Suuntaajaksi kutsutaan laitetta, joka muokkaa jännitteen tai virran tai molempien käyrämuotoa laitteelle sopivaksi, muokkaus tapahtuu joko vaihtojännitteestä tai – virrasta tasajännitteeksi tai – virraksi tai toisinpäin, eli tasajännitteestä tai -virrasta vaihtojännitteeksi tai -virraksi. Taajuusmuuttajat ovat hyviä esimerkkejä siitä, jotka omaavat tasa- ja vaihtosuuntauksen. /5/

Suuntaajakäytöt lisääntyvät koko ajan teollisuudessa hyvien ominaisuuksien vuoksi, niissä ei ole kuluvia osia, säätö nykytekniikalla on tarkkaa ja niissä on korkea hyötysuhde. Suuntaajan ongelmana ovat epäsinimuotoiset virtayliaallot ja tämä aiheuttaa verkkoimpedanssien vuoksi myös jänniteyliaaltoja eli jännitteen vääristymistä sinimuodosta.

Suuntaajan rakenteen perusteella voidaan selvittää, mitä yliaaltoja se aiheuttaa verkkoon. Teoreettiset yhtälöt perustuvat seuraaviin oletuksiin, mutta likimäärin ne pitävät paikkansa, vaikka oletukset eivät täysin täytyisikään:

- Verkko on symmetrinen.
- Verkon jännite on sinimuotoinen.
- Verkon impedanssi on nolla.
- Suuntaajan edessä ei käytetä erillistä kommutointikuristinta.
- Suuntaajan kaikkien tyristorien ohjauskulma on sama.
- Suuntaajan tasavirta on täysin tasaista.

Jos nämä oletukset ovat voimassa, saadaan suuntaajan syöttämille yliaalloille yleispätevä yhtälö. /3/

$$n = p \times i \pm 1 \tag{3}$$

, missä

$n$  = yliaallon järjestysluku

$p$  = pulssiluku

$i = \text{kokonaisluku}(1, 2, 3 \dots n)$

Syntyneiden yliaaltojen suuruus voidaan laskea kaavalla 4.

$$I_{vn} = \frac{I_{v1}}{n} \quad (4)$$

, missä

$I_{vn} = \text{virran } n. \text{ aallon tehollisarvo}$

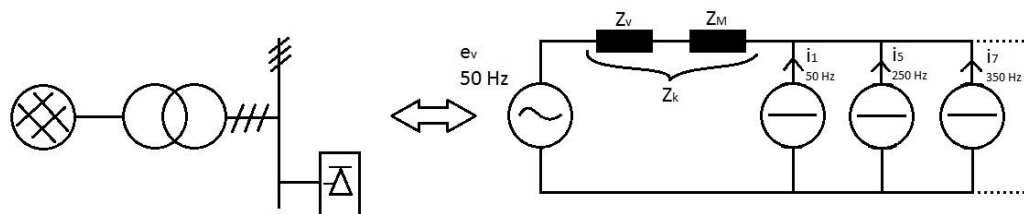
$I_{v1} = \text{virran perusaallon tehollisarvo}$

$n = \text{aallon järjestysluku}$

Tavallisin ja yleisin suuntaajatyyppejä teollisuusverkossa on kolmivaiheinen kuusipulssisuuntaaja, joka edellä esitetyn yhtälön aiheuttaa parittomia yliaaltoja kuten 5:tä, 7:tä, 11:tä ja 13:tta. Näitä yliaaltoja voidaan vähentää, kun kuusipulssisuuntaajan tilalle laitetaan kaksitoistapulssisuuntaaja, tämän ansiosta päästään eroon 5. ja 7. yliaallosta.

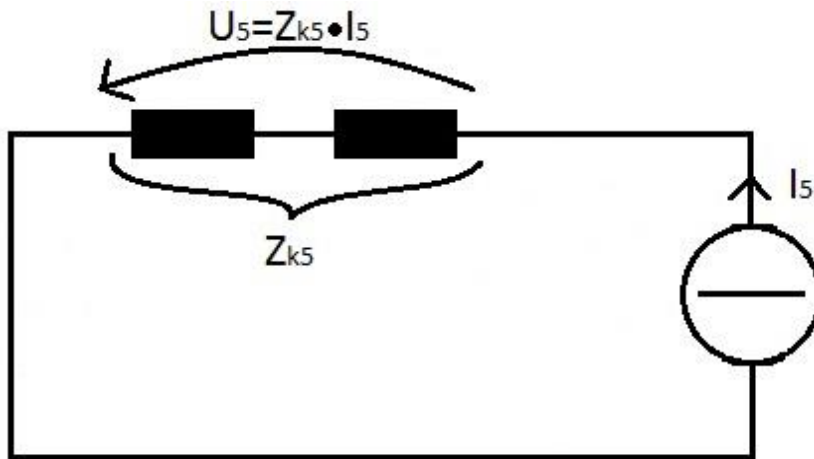
### 2.3 Yliaaltojen tarkastelu sähköverkossa

Yliaaltoja voidaan kuvata ns. virtalähdejääteluna, jolla tarkoitetaan, että yliaaltolähde toimii virtalähteenä, joka syöttää verkkoon yliaaltovirtaa. Suuntaajat ovat hyvä esimerkki tällaisesta lähteestä, joten kuvassa 3 on esitetty juuri 6-pulssisuuntaajan generoimat yliaallot.



Kuva 3. 1-vaihe sijaiskytkentä.

Harmoniset jänniteyliaallot aiheutuvat virtayliaaltojen aiheuttamista vastaavan taajuisista jännitehäviöistä verkon impedansseissa. Kuvassa 4 on esimerkki 5. yliaallon tapauksessa.



Kuva 4. 5. jänniteyliaallon syntyminen.

$$U_5 = Z_{k5} \times I_5 \quad (5)$$

, missä

$U_5 =$  Viides jänniteyliaalto

$Z_{k5} =$  Viides yliaaltoimpedanssi

$I_5 =$  Viides virtayliaalto

## 2.4 Säröytyminen

Harmonisella virta- tai jännitekokonaissäröllä, eli THD:llä kuvataan harmonisten yliaaltojen määrää suhteessa perustaajuiseen komponenttiin, joka määritellään kaavan 6 mukaan. Kyseinen kaava käy harmonisille virta- ja jänniteyliaalloille.

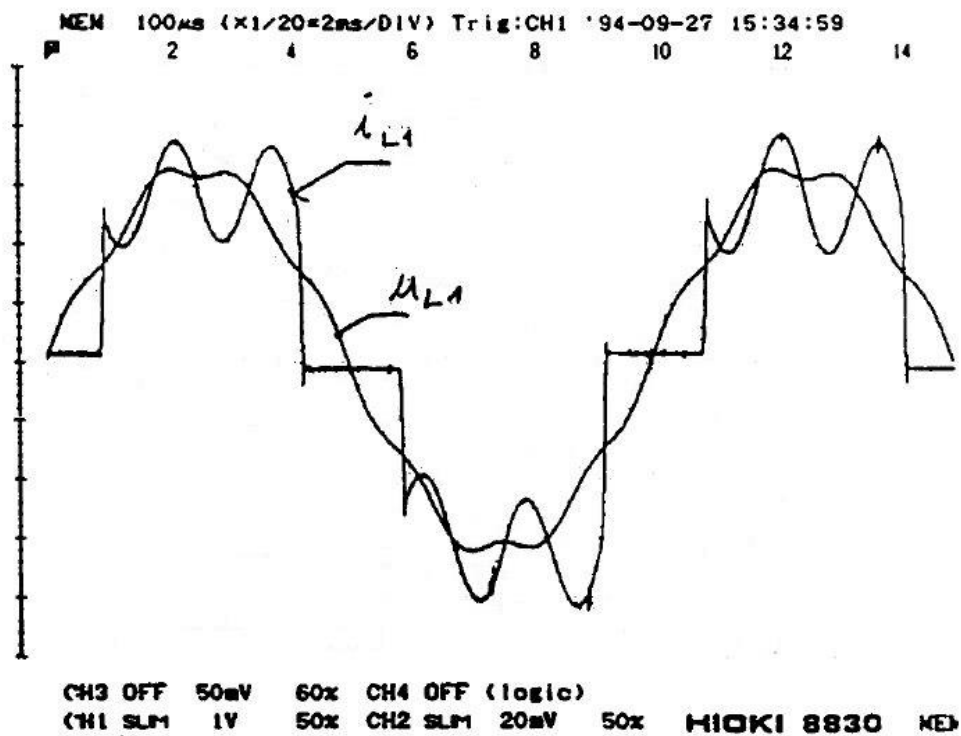
$$THD\% = \sqrt{\left(\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n}{I_1}\right)^2} \times 100\% \quad (6)$$

, missä

$I_n = \text{yliaaltovirta}$

$I_1 = \text{perustaaajuinen virta}$

Vaihtovirrat ja – jännitteet säröytyvät, kun niiden käyrämuoto poikkeaa sinimuodosta. Epälineaaristen kuormitusten verkosta ottamat tai verkkoon syöttävät virrat lisäävät verkkojännitteen säröytystä. Muodoltaan perustaaajuisesta sinikäyrästä poikkeavat virrat aiheuttavat verkon impedansseissa jännitehäviöitä, joka johtaa jännitteen säröytymiseen, mutta toisaalta myös säröytynyt jännite aiheuttaa sinimuodosta poikkeavia virtoja lineaarisillakin kuormituksilla. Kuvassa 5 on esitetty yliaallon aiheuttama virran ja jännitteen säröytyminen. /1/



Kuva 5. Vaiheen L1 yliaallon aiheuttama virran ja jännitteen säröytyminen. /7/

Generaattoreissa, moottoreissa ja muuntajissa esiintyy myös jonkin verran jännitteen säröytymistä epälinearisuuden takia. /1/

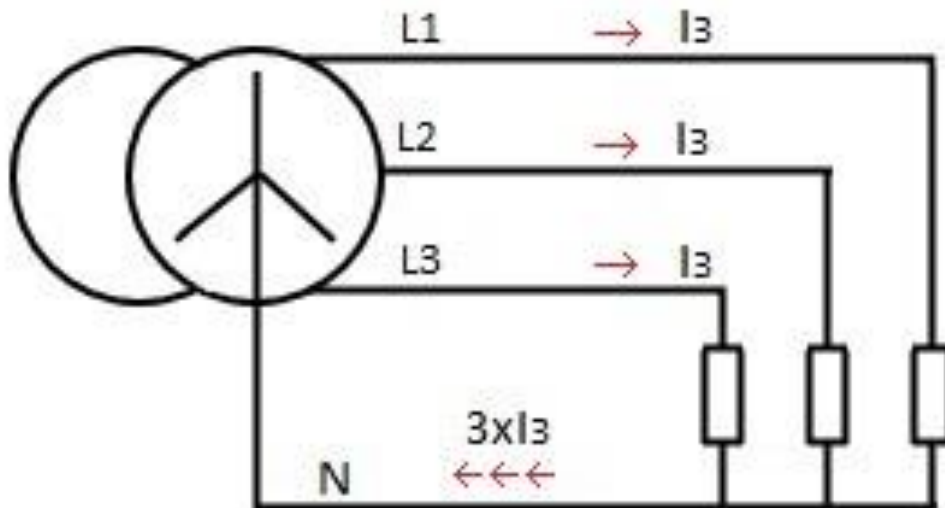
## 2.5 Yliaaltojen aiheuttajat ja haitat

Virtayliaaltojen aiheuttajia ovat mm. tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, jota löytyy nykypäivän teollisuudesta paljon, toimistotilojen elektroniikka, kuten tietokoneet joissa on hakkuriteholähde ja purkauslamput, jota on työkohteessani tuhansia loisteputkivalaisimia. /1/

UPS-laitteisto voi myös aiheuttaa verkkosyötön puolelle yliaaltoja, vaikka eliminovat tehokkaasti UPS:n kuormalta verkkojännitteen amplitudin ja taajuusvaihtelut sekä harmoniset yliaallot. Merkittävä häiriön aiheuttaja on huoltamattomat UPS-laitteet sekä niiden kuivahtaneet akut ja suuritehoiset laturit tai muut tasa-suuntaajat, jotka ovat melkein tyhjäkäynnillä ja taas pian täydellä teholla, ovat ongelmallisia sähkön laadun kannalta. /1/

Yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua sähköverkossa, kuten myös laitteiden kuormitettavuuden alentumista. Automaatiolaitteiden ja suojareleiden virhetoiminnot voivat johtua myös tästä, samoin mittareiden virhenäyttämiset. Laskutusmittauksessa yliaallot aiheuttavat pätö-, loisteho- ja energialukemien muutoksia. /1/

3. yliaaltovirta esiintyy haitallisena, kun se summautuu vaihejohtimista nollajohtimeen ja leviää verkkoon. Liian suuri virta nollajohtimissa voi aiheuttaa tulipalovaaran, lämpenemistä ja eristeiden sulamisen. Ongelma aiheutuu perustaajuisen virran ja 3. vertyliaallon yhteisvaikutuksena. Kuva 6 esittää virtojen summautumisesta nollajohtimeen. /1/

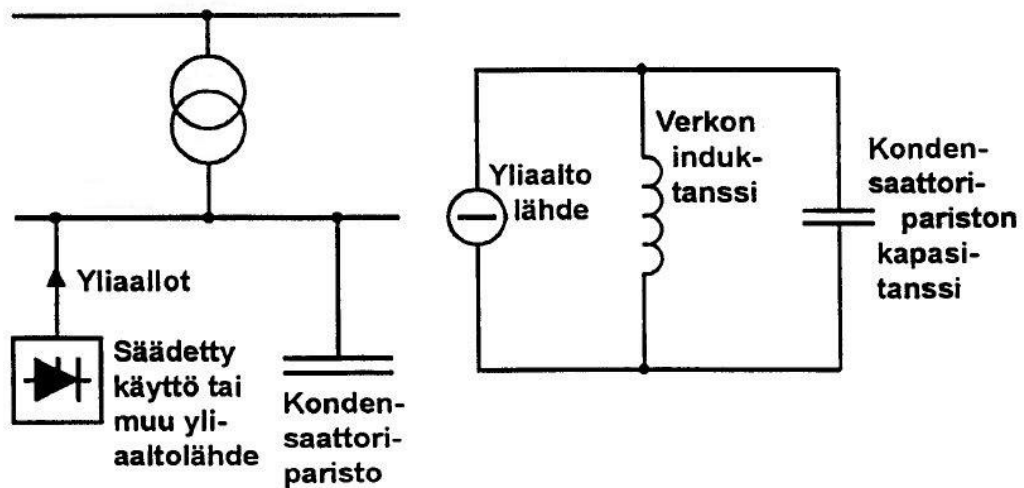


Kuva 6. Nolla-johdossa kulkevat kolmannet harmoniset yliaaltovirrat.

Perustaajuinen symmetrinen kolmivaihekuorma ei kuormita pienjänniteverkon nollajohdinta juuri lainkaan ja epäsymmetrisellä kuormalla enintään saman verran kuin eniten kuormitettu vaihejohdin. /1/

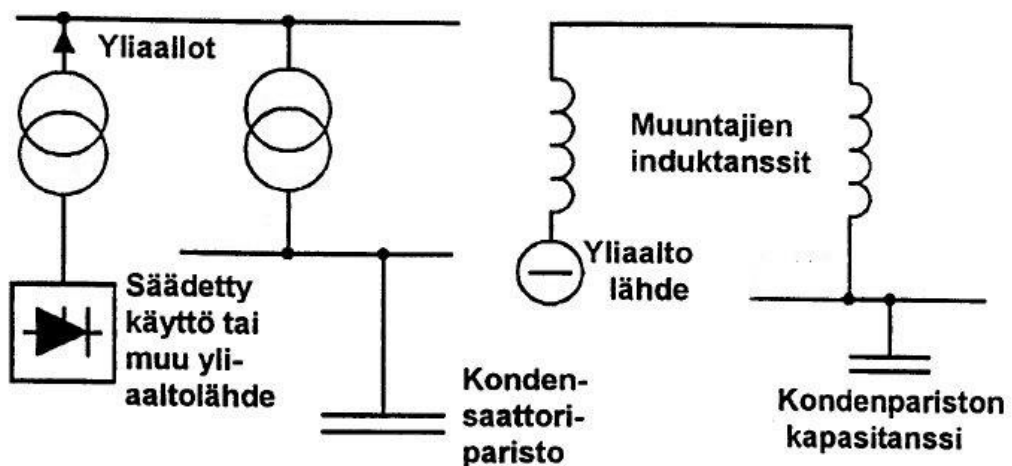
Yliaallot voivat aiheuttaa pahimmillaan verkossa resonanssitilanteen. Resonanssi voi olla rinnakkais- tai sarjaresonanssia.

Rinnakkaisresonanssiipiiri muodostuu loistehon kompensointikondensaattoreiden kapasitanssista ja verkon induktanssista. Tämä ilmiö voi vahvistaa yliaaltolähteiden aiheuttamia yliaaltovirtoja pienjänniteverkossa 10–15 kertaisiksi. Yliaaltovirran vahvistuminen aiheuttaa kondensaattoreiden ylikuormittumista ja siten termisiin vaurioihin. Kuvassa 7 on rinnakkaisresonanssiipiiri ja sen sijaiskytkentä. /7/



Kuva 7. Rinnakkaisresonanssiipiiri ja sijaiskytkentä. /7/

Kompensointikondensaattorin ja yliaaltolähteen välisten muuntajien induktanssien sarjakytkennässä voi muodostua sarjaresonanssi. Yliaaltolähteen impedanssi voi olla jollakin taajuudella pieni ja kompensointikondensaattorin virta suuri, mikä johtaa kondensaattorin termisiin vaurioihin. Kuvassa 8 on sarjaresonanssiipiiri ja sen sijaiskytkentä. /7/



Kuva 8. Sarjaresonanssiipiiri ja sijaiskytkentä. /7/

## 2.6 Virtayliaaltojen pienentäminen

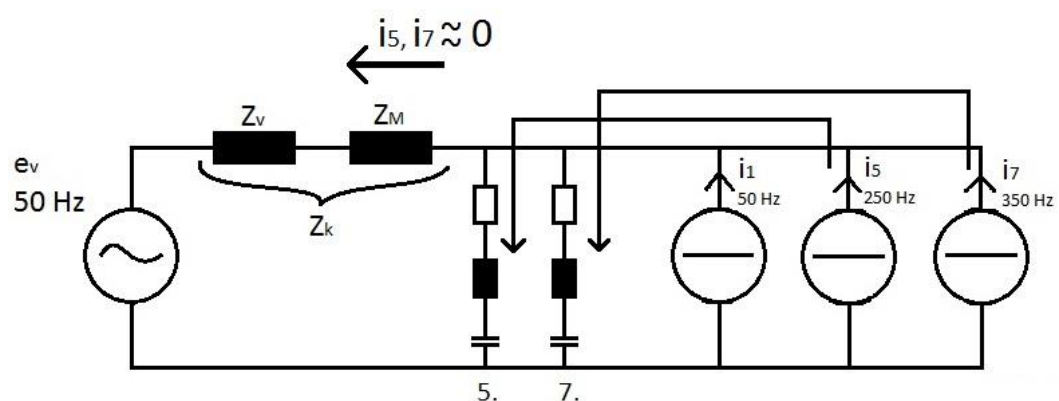
Virtayliaaltoja voidaan pienentää tai jopa eliminoida kokonaan seuraavilla tavoilla.

### 2.6.1 Suurempi pulssiluku

Kun pulssilukua kasvatetaan kuusipulssisuuntaajasta kaksitoistapulssisuuntaajaan, yliaaltojen järjestysluku kasvaa ja tehollisarvo pienenee edellä esitetyillä kaavoilla 3 ja 4. Pulssiluvun kasvattaminen on tavallista suurimmilla moottoreilla, jonka teho on megawatin luokkaa.

### 2.6.2 Imupiiri

Rakenteeltaan imupiiri on yksinkertaisesti sarjaresonanssiipiiri, joka viritetään halutulle yliaaltotaajuudelle. Imupiiri luo yliaaltovirrälle sulkeutumishaaran sähköverkon rinnalle. Resonanssitaajuudella sarjaresonanssiipiirin impedanssi on vain käänin resistanssin suuruinen, sulkeutuu haluttu virtayliaalto imupiirin kautta eikä verkon kautta jossa on suurempi impedanssi. Imupiirit voivat suodattaa n. 80 - 90 % yliaalloista. Imupiiri toimii myös kompensointikondensaattorina, kun se on perustaajuudeltaan kapasitiivinen ja tuottaa induktiivista loistehoa. Kuvassa 9 on esitetty 5. ja 7. imupiirin sijaiskytkentä. /7/

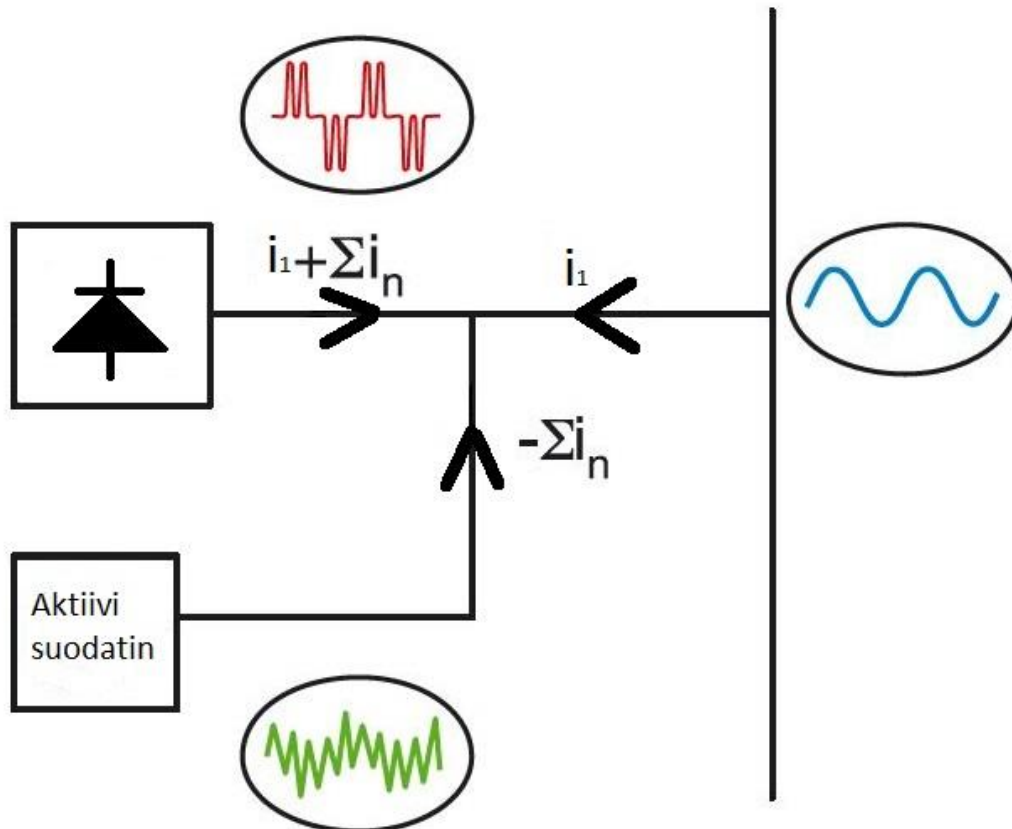


Kuva 9. 5. ja 7. imupiirin sijaiskytkentä.



### 2.6.3 Aktiivisuodatin

Aktiivisuodatinta voidaan ajatella yliaaltovirtalähteeksi, koska se syöttää verkkoon vastakkaisessa vaiheessa olevia yliaaltoja, jotka kumoavat verkon yliaallot. Aktiivisuodatin on tehokas suodattamaan taajuudeltaan ja suuruudeltaan muuttuvat yliaallot. Kuvassa 10 on esitetty aktiivisuodattimen toimintaperiaate. /3/



Kuva 10. Aktiivisuodattimen toimintaperiaate.

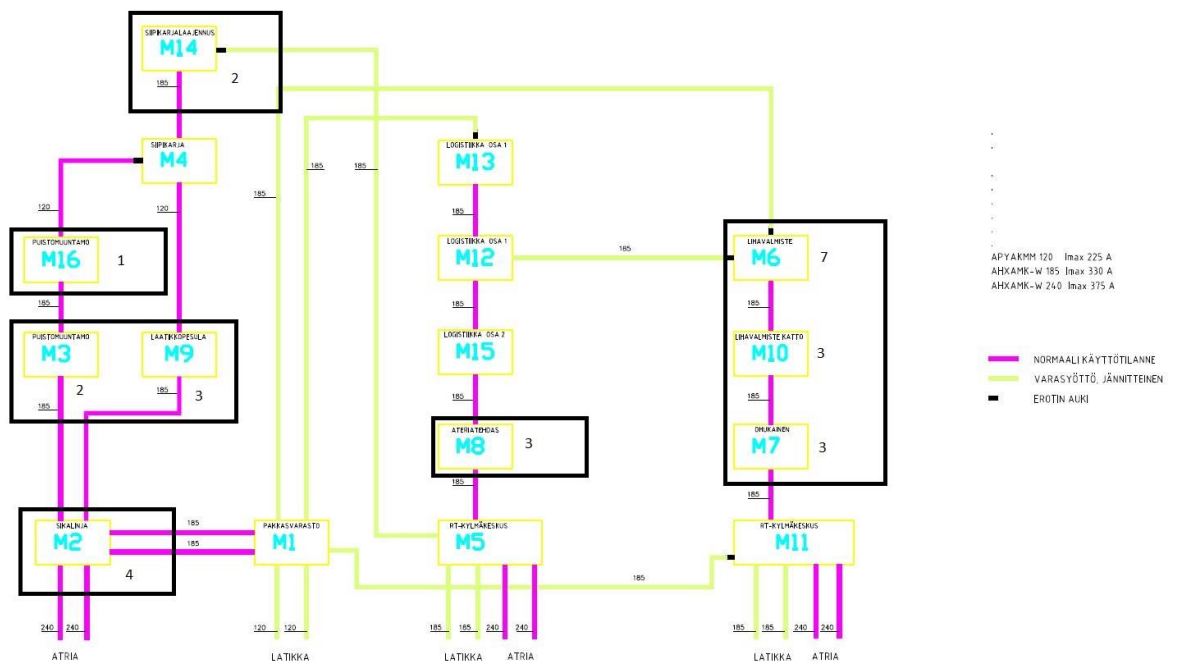
### 2.6.4 Estokelaparisto

Rakenteeltaan estokelaparisto on imupiirin kaltainen, jonka viritystaajuus on valittu pienemmäksi kuin verkossa esiintyvät yliaallot, joka yleensä on 189 Hz: ä. Estokelapariston tarkoituksena on estää kompensointikondensaattoria joutumasta rinnakkaisresonanssiin verkon kanssa ja samalla se pienentää hieman yliaaltoosuutta verkossa, jonka vaikutus on n. 10–30 %. Päätehtävä estokelaparistolla on toimia loistehon kompensoinnissa ja estää resonanssitilanteet. /7/

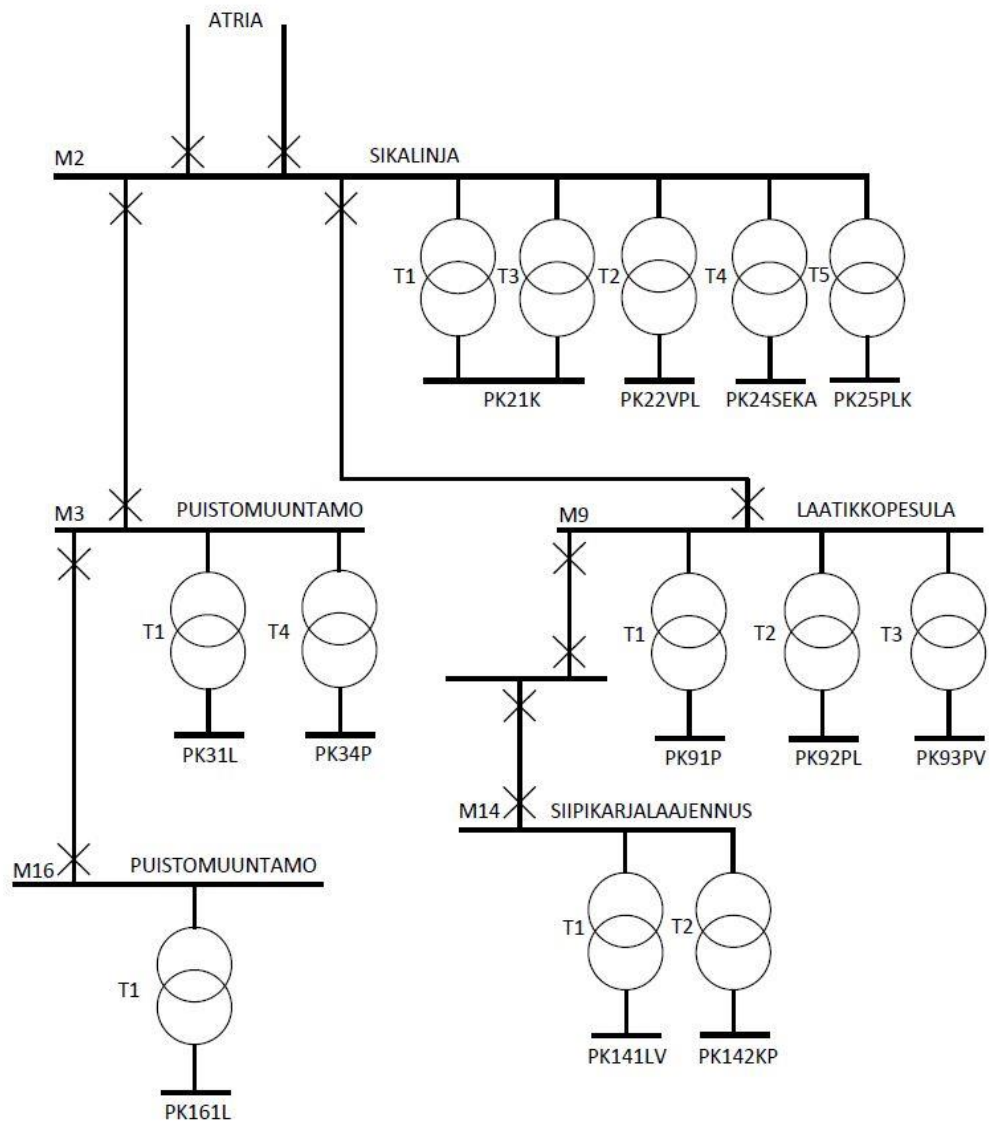
### 3 TARKASTELTAVA VERKKO JA MITATTAVAT KOHTEET

#### 3.1 Pelkistetyin verkon rakenne

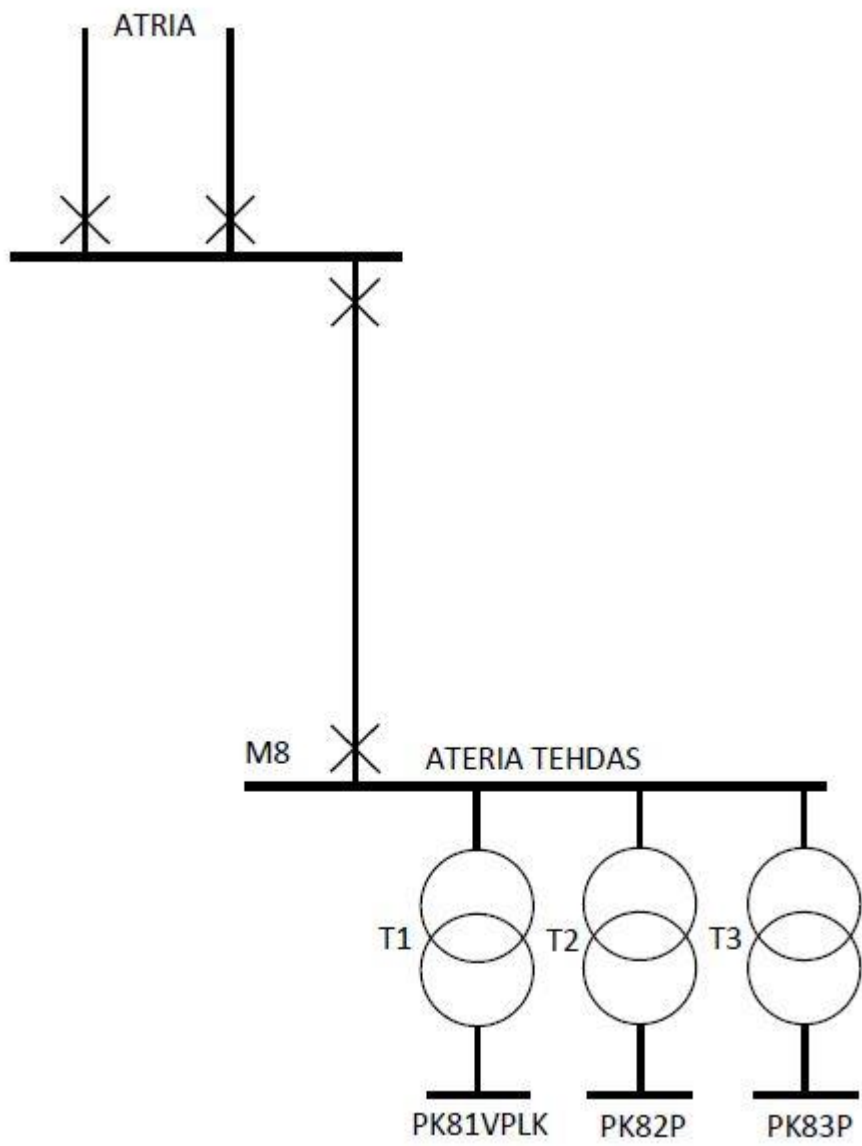
Atrian teollisuusverkkoa syöttää kolme sähköasemaa, kukin 20 kV:n lähtöä, kuten kuvista 12, 13 ja 14 näkyy. Atrialla on yhteensä 16 muuntamoita, joista 9 muuntamosta mitattiin pääkeskukset. Näistä 20 kV:n muuntamoista jännite muunnettiin pienjännitteeksi eli 400 V:si. Kuvassa 11 on esitetty muuntamoittain mitattujen pääkeskusten määrä. Kuviin 12, 13 ja 14 on piirretty ne keskukset, jotka mitattiin työssään.



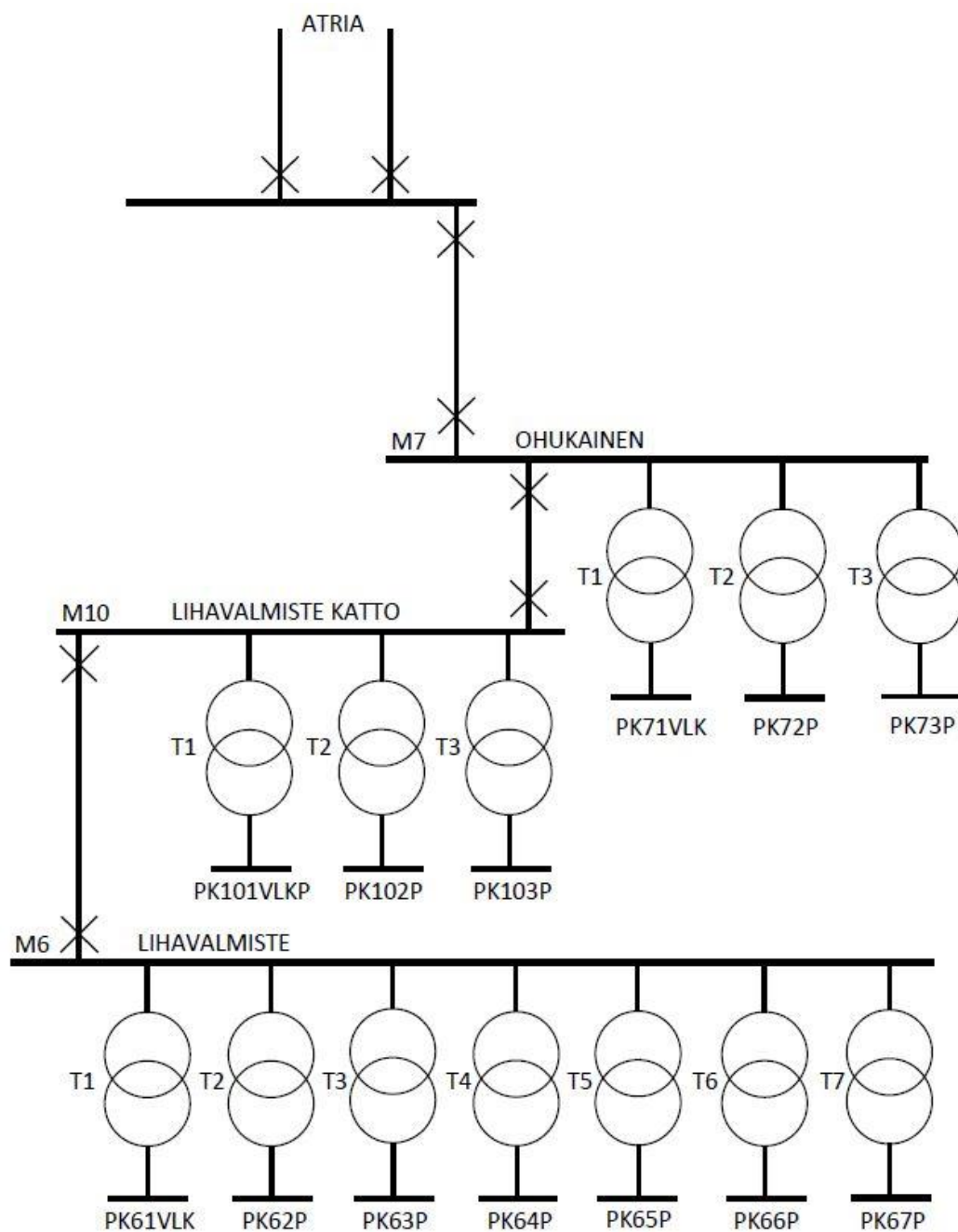
Kuva 11. Koko Atrian pelkistetty 20 kV:n teollisuusverkko.



Kuva 12. Mitatut keskuskeskukset muuntamoista M2, M3, M9, M14, M16.



Kuva 13. Mitatut keskukset muuntamosta M8.



Kuva 14. Mitatut keskuksat muuntamoista M7, M10, M6.

### 3.2 Mittauksen kohteet ja kuormat

Mittaukset tehtiin pääkeskuksille, joita ehdittiin mittaamaan 28 kpl:tta. Nurmon Atrialla on 56 kpl pääkeskuksia ja Kauhajoen Atrialla on 2 kpl:tta pääkeskuksia. Tästä Nurmossa sijaitsevasta 56 pääkeskuksesta karsittiin puolet pois lähinnä ajan tai hankalien keskusten takia, joiden rakenteita olisi pitänyt purkaa, että saataisiin

mittajohtimet kiinni ja Kauhajoen keskuksiin ei aika riittänyt. Pääkeskuksia syötti 1000 kVA tai 1600 kVA muuntaja, jokaiselle pääkeskukselle on oma muuntajansa, paitsi PK 21:llä, jota syötti muuntajat T1 ja T3.

Kuvassa 15 on PK71VLK, joka on muuntamosta 7 ja jota syöttää muuntaja 1. Kirjainyhdistelmä VLK kertoo, mitä keskus syöttää ja minkälaista kuormaa keskuksessa on, kuten V = valaistusta, L = LVI-laitteita ja K = kylmälaitteita. Muita tunnuksia on A = Atk-laitteet (UPS), P = prosessilaitteet ja NK = keskus, jossa eri järjestelmä.

Pääkesuksien kuorma oli pääsääntöisesti prosessikuormaa, kuten taajuusmuuttaja ohjattuja moottoreita, kompressoreita ja kuljettimia sekä kylmä-, LVI- ja valaisinlaitteita. Näistä voi päätellä, että verkosta löytyy ainakin 3:ta yliaaltoa, joka johtuu purkauslamputa sekä 5:tä ja 7:tä yliaaltoa, jotka johtuvat 6-pulssisuuntaajista.



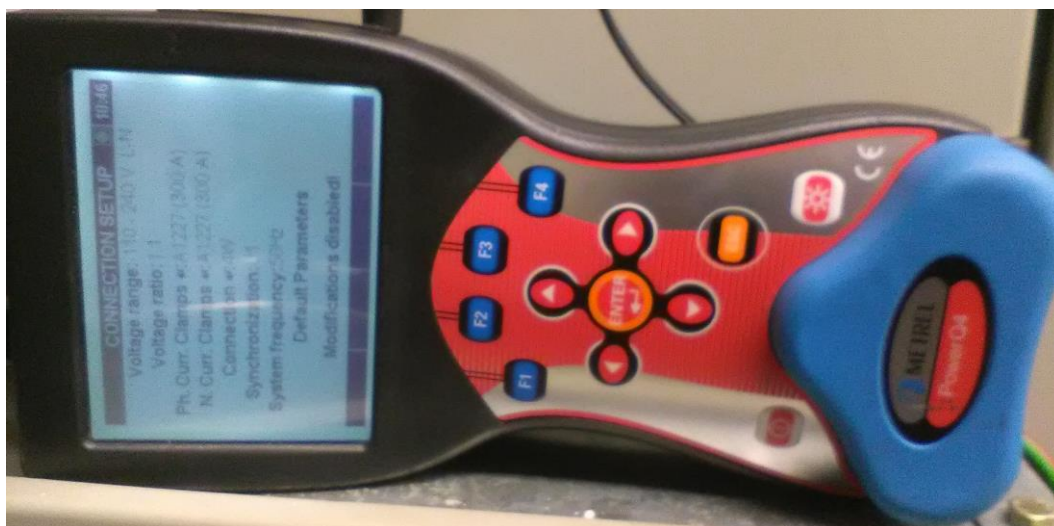
Kuva 15. Mitattavana oleva PK71VLK.

Mittalaitteen virtasilmukat asennettiin pääkytkimen syöttävälle puolelle ja jännite-liittimet etukoje sulakkeiden kahvaan kiinni hauenleuoilla, PE- ja N- johtimet lai-

tettiin yleensä pääkeskuksen runkoon kiinni. Työssä käytettiin jännitetyöhanskoja ja kypärää jännitejohtimien asennuksessa.

## 4 MITTALAITE

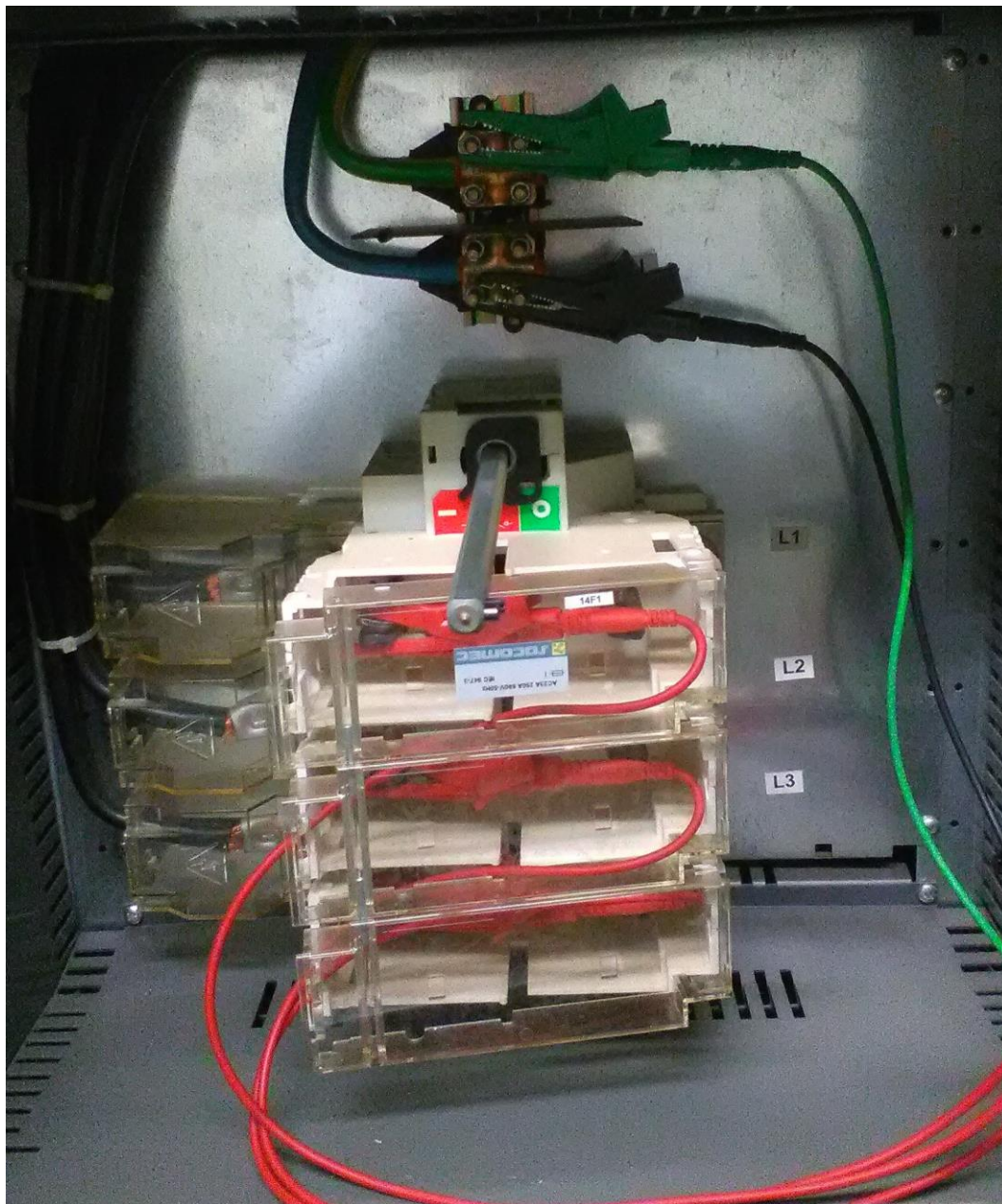
Mittaukset suoritettiin Metrel MI 2592 Power Q4 – verkko-analysaattorilla. Analysaattorissa on neljä virtakanavaa, johon kytkettiin virran mittaussilmukat, jotka pystyvät mittaamaan virtaa aina 3000 A asti, sekä neljä jännitekanavaa, jotka pystyvät mittaamaan jännitettä 1000 V<sub>RMS</sub> asti. Jännitteen mittausjohtimien toiseen päähän oli laitettu hauenleukapäätteet. Analysaattoriin on ennalta tallennettu mm. EN 50160: 2007 ja IEC 61000-4-30-standardit. Analysaattori pystyy tallentamaan 509 erilaista sähkönladullista parametria mittauskohteesta. Kuvassa 16 on esitetty verkkoanalysaattori, jolla mittasin keskuksia. /4/



Kuva 16. Metrel MI 2592 Power Q4 -verkkoanalysaattori.



Analysaattori mahdollistaa n. 15 tuntia yhtäjaksoisen mittauksen täydellä akulla, pidemmissä mittauksissa analysaattori oli ladattavana. Metrel MI 2592 Power Q4 – verkko-analysaattori pystyy näyttämään reaaliaikaiset mittaukset, kuten virran, jännitteen, tehot,  $\cos\phi$  sekä yliaallot ja THD:t ja tallentamaan paljon tietoa mittauksen kohteesta. Kuvassa 17 on esitetty jännitteen mittaus hauenleukoja käyttäen.



Kuva 17. Hauenleukojen käyttö jännitteen mittauksessa.

Mittauksissa käytettiin joustavia virranmittausprobeja, joiden tarkkuus on n. 1,5 %. Probet asennettiin vaiheen ympärille, muutamissa pääkeskuksissa oli vaikeuksia asentaa virranmittausprobeja, kun vaiheet olivat liian lähekkäin toisiaan, ongelmasta selvittiin puukiilan avulla, jolla saatiin vaiheiden välille tarvittava tila probejen asennukseen. Kuvassa 18 on esitetty virranmittausprobejen asennus vaiheiden ympärille.



Kuva 18. Virranmittausprobet.

Metrelin kotisivuilta voi ladata Metrel PowerView – ohjelman, jolla pystyy tarkastelemaan tuloksia, tällä ohjelmalla pystyy myös ajamaan EN 50160-standardin tarkastelun, joka vertaa tuloksia kyseiseen standardiin ja päättää ovatko arvot hylättyjä vai läpipäässeet. Kuvassa 19 on esitetty Metrel PowerView – ohjelman jänniteylijääto näkymä ja testin läpipääsy.



Kuva 19. PK 21-jänniteylijäätojen testin läpipääsy.

## 5 VERKON MITTAUKSET JA ANALYYSI

### 5.1 Standardi EN50160

Työssä tarkasteltiin pääsääntöisesti yliaaltojännitteitä. ”Jännitevaihtelut standardin mukaan viikon pituisen mittausjakson aikana, jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin jaksoilta mitatuista keskiarvoista 95 % tulee olla välillä  $U_n \pm 10\%$  (207 V - 253 V) sekä kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä  $U_n + 10\% / - 15\%$  (195,5 V – 253 V.” /6/

Harmonisilla yliaaltojännitteillä jakeluverkon kokonaissärökerroin eli THD tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %, kuten myös harmonisten yliaaltojännitteiden suurimmat sallitut arvot prosentteina perustaajuisesta jännitteestä, taulukon 1 mukaan. /6/

Taulukko 1. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot. /6/

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

### 5.2 Mittausten analysointi

Mittaustuloksia verrataan standardin EN 50160 jännitevaihtelu 4.2.2 ja – yliaalto 4.2.5 kohtiin. Mittaustulokset ovat n. 2 tunnin pituisia, 10 minuutin näytteenotolla. Kahden tunnin mittauspituuteen päädyttiin, koska pääkeskuksia on niin paljon ja aika ei riittänyt kaikkien pääkeskusten mittaamiseen, muutama pääkeskus oli pitempään mittauksessa. Mittaamistani pääkeskuksista, 2 pääkeskusta eivät täyttä-

neet standardin EN 50160 jänniteylijäältostandardia ja 1 pääkeskuksen mittaustulokset jouduttiin hylkäämään huonosti kiinnitetyn N-johtimen vuoksi.

Jännitevaihtelu kaikista mittaamistani pääkeskuksesta ei ylittänyt tai alittanut standardin asettamia rajoja, joten jännitevaihtelut ovat kunnossa.

### 5.3 Muuntamo 2, pääkeskukset 21, 22, 24 ja 25

Mitatut pääkeskukset muuntamossa 2, ovat hyvässä kunnossa mittaustulosten perusteella. PK22VPL:n 5. ja 7. ylijäältojäälto on vähän koholla, mikä johtuu 6-pulssisuuntaajista jotka ohjaavat prosessi- ja LVI-laitteista.

Taulukko 2. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 2.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK21K	234,00 V - 235,40 V	233,80 V - 235,00 V	234,60 V - 235,60 V
PK22VPL	231,20 V - 233,00 V	232,00 V - 233,80 V	232,20 V - 234,20 V
PK24SEKA	230,20 V - 232,60 V	232,20 V - 234,40 V	232,40 V - 234,80 V
PK25PLK	230,40 V - 232,70 V	232,00 V - 234,30 V	232,20 V - 234,60 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK21K	1,70 % - 2,00 %	1,70 % - 2,00 %	1,70 % - 2,00 %
PK22VPL	3,10 % - 3,30 %	3,10 % - 3,30 %	3,20 % - 3,40 %
PK24SEKA	2,20 % - 2,40 %	2,40 % - 2,60 %	2,30 % - 2,40 %
PK25PLK	1,70 % - 2,10 %	1,80 % - 2,10 %	1,70 % - 2,00 %

Taulukko 3. Muuntamon 2 jänniteylijäälto vaiheille L1, L2 ja L3.

PK21P	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,10 % - 0,10 %	1,30 % - 1,50 %	1,10 % - 1,30 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,20 % - 0,30 %
L2	0,00 % - 0,00 %	1,30 % - 1,50 %	1,00 % - 1,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,40 %	0,30 % - 0,30 %
L3	0,10 % - 0,10 %	1,30 % - 1,50 %	1,10 % - 1,30 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,30 %	0,20 % - 0,30 %
PK22VPL						
L1	0,30 % - 0,30 %	2,10 % - 2,40 %	2,10 % - 2,20 %	0,20 % - 0,30 %	0,40 % - 0,50 %	0,20 % - 0,30 %
L2	0,20 % - 0,50 %	2,00 % - 2,40 %	2,00 % - 2,40 %	0,30 % - 0,30 %	0,30 % - 0,40 %	0,10 % - 0,20 %
L3	0,10 % - 0,40 %	2,20 % - 2,50 %	2,10 % - 2,40 %	0,10 % - 0,10 %	0,30 % - 0,30 %	0,20 % - 0,20 %
PK24SEKA						
L1	0,70 % - 0,80 %	1,60 % - 1,80 %	1,10 % - 1,30 %	0,20 % - 0,30 %	0,30 % - 0,50 %	0,30 % - 0,40 %
L2	0,60 % - 0,90 %	1,70 % - 1,80 %	1,40 % - 1,60 %	0,10 % - 0,10 %	0,40 % - 0,40 %	0,30 % - 0,30 %
L3	0,50 % - 0,60 %	1,50 % - 1,70 %	1,40 % - 1,50 %	0,10 % - 0,10 %	0,40 % - 0,60 %	0,50 % - 0,60 %

PK25PLK						
L1	0,10 % - 0,30 %	1,40 % - 1,60 %	0,90 % - 1,10 %	0,10 % - 0,20 %	0,20 % - 0,30 %	0,30 % - 0,30 %
L2	0,10 % - 0,20 %	1,40 % - 1,70 %	0,80 % - 1,00 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,30 %	0,30 % - 0,40 %
L3	0,10 % - 0,20 %	1,40 % - 1,60 %	0,80 % - 1,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,20 % - 0,30 %	0,20 % - 0,30 %

#### 5.4 Muuntamo 3, pääkeskukset 31 ja 34

Puistomuuntamo on hyvässä kunnossa, ei suurempia jännitevaihteluita ja jänniteylliaallotkin ovat rajan sisäpuolella. Pientä nousua  $U_5$  ja  $U_7$ , johtunee prosessilaitteita ohjaavista 6-pulssisuuntaajista.

Taulukko 4. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 3.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK31L	230,60 V - 234,40 V	230,20 V - 234,00 V	231,60 V - 235,20 V
PK34P	231,80 V - 233,60 V	231,40 V - 233,60 V	232,80 V - 235,00 V
	THD- $U_{L1}$	THD- $U_{L2}$	THD- $U_{L3}$
PK31L	2,40 % - 2,60 %	2,30 % - 2,60 %	1,80 % - 2,20 %
PK34P	2,60 % - 2,80 %	2,50 % - 2,70 %	2,80 % - 3,00 %

Taulukko 5. Muuntamon 3 jänniteylliaallot vaiheille L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> ja L<sub>3</sub>.

PK31L	$U_3$	$U_5$	$U_7$	$U_9$	$U_{11}$	$U_{13}$
L1	0,10 % - 0,30 %	1,80 % - 2,20 %	1,40 % - 1,50 %	0,10 % - 0,10 %	0,20 % - 0,30 %	0,00 % - 0,00 %
L2	0,10 % - 0,10 %	1,80 % - 2,20 %	1,20 % - 1,30 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,30 %	0,00 % - 0,00 %
L3	0,20 % - 0,30 %	1,90 % - 2,20 %	1,50 % - 1,70 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %
PK34P						
L1	0,30 % - 0,30 %	2,10 % - 2,40 %	2,10 % - 2,20 %	0,20 % - 0,30 %	0,40 % - 0,50 %	0,20 % - 0,30 %
L2	0,20 % - 0,50 %	2,00 % - 2,40 %	2,00 % - 2,40 %	0,30 % - 0,30 %	0,30 % - 0,40 %	0,10 % - 0,20 %
L3	0,10 % - 0,40 %	2,20 % - 2,50 %	2,10 % - 2,40 %	0,10 % - 0,10 %	0,30 % - 0,30 %	0,20 % - 0,20 %

#### 5.5 Muuntamo 6, pääkeskukset 61, 62, 63, 64, 65, 66 ja 67

Kaikki muut pääkeskukset paitsi 61 ovat loistavassa kunnossa. Havaittavissa on 5. jänniteylliaallon rajan ylitystä vaiheilla L<sub>1</sub> ja L<sub>2</sub>, jonka raja on 6 %. Jänniteylliaallon ylitys johtuu LVI- ja kylmälaitteita ohjaavista 6-pulssisuuntaajista eli taa-

juusmuuttajista. Pääkeskus 61:ssä on yhteensä 12 taajuusmuuttajalähtöä ja 300 kvarin loistehon kompensointikondensaattori sekä 75 kvarin erillisparisto.

Jatkotoimenpiteenä on keskuksen pitempiaikainen mittaus viikon ajalta ja 5. yliaallon imupiirin mitoitus ja asennus kondensaattoriparistojen tilalle, mikä samalla hoitaa osan loistehon kompensointi tarpeesta.

Taulukko 6. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 6.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK61VLK	232,40 V - 233,20 V	232,20 V - 233,20 V	232,60 V - 234,00 V
PK62P	232,40 V - 235,00 V	232,60 V - 235,00 V	232,60 V - 235,20 V
PK63P	231,60 V - 233,80 V	229,80 V - 233,60 V	231,60 V - 233,60 V
PK64P	228,80 V - 236,20 V	221,60 V - 229,00 V	228,60 V - 236,00 V
PK65P	231,20 V - 235,80 V	231,00 V - 236,00 V	231,20 V - 235,20 V
PK66P	230,40 V - 235,40 V	230,40 V - 235,60 V	230,40 V - 235,40 V
PK67P	230,20 V - 232,20 V	231,20 V - 233,20 V	230,80 V - 232,80 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK61VLK	6,30 % - 7,20 %	5,40 % - 6,20 %	5,20 % - 5,80 %
PK62P	1,80 % - 2,00 %	1,80 % - 2,00 %	1,90 % - 2,00 %
PK63P	1,50 % - 2,70 %	1,40 % - 2,70 %	1,40 % - 2,70 %
PK64P	1,40 % - 2,10 %	1,30 % - 2,20 %	1,40 % - 2,00 %
PK65P	1,70 % - 2,30 %	1,80 % - 2,20 %	1,80 % - 2,30 %
PK66P	1,40 % - 2,10 %	1,40 % - 2,10 %	1,40 % - 2,00 %
PK67P	2,20 % - 2,30 %	2,10 % - 2,40 %	2,10 % - 2,40 %

Taulukko 7. Muuntamon 6 jänniteylliaallot vaiheille L1, L2 ja L3.

	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
PK61VLK						
L1	0,80 % - 0,90 %	6,20 % - 7,20 %	0,30 % - 0,40 %	0,20 % - 0,20 %	0,00 % - 0,00 %	0,00 % - 0,00 %
L2	1,00 % - 1,10 %	5,30 % - 6,10 %	0,60 % - 0,80 %	0,20 % - 0,20 %	0,00 % - 0,00 %	0,00 % - 0,00 %
L3	0,80 % - 0,90 %	5,10 % - 5,80 %	0,60 % - 0,70 %	0,20 % - 0,20 %	0,00 % - 0,00 %	0,00 % - 0,00 %
PK62P						
L1	0,10 % - 0,20 %	1,40 % - 1,60 %	1,00 % - 1,10 %	0,20 % - 0,30 %	0,30 % - 0,40 %	0,10 % - 0,20 %
L2	0,10 % - 0,10 %	1,40 % - 1,50 %	1,00 % - 1,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,30 % - 0,40 %	0,20 % - 0,30 %
L3	0,10 % - 0,10 %	1,40 % - 1,60 %	1,10 % - 1,30 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,20 %
PK63P						
L1	0,10 % - 0,20 %	1,30 % - 2,10 %	0,60 % - 1,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,50 %	0,10 % - 0,40 %
L2	0,10 % - 0,40 %	1,10 % - 2,10 %	0,60 % - 1,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,50 %	0,10 % - 0,40 %
L3	0,10 % - 0,20 %	1,20 % - 2,10 %	0,70 % - 1,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,50 %	0,10 % - 0,40 %
PK64P						

L1	0,10 % - 0,60 %	0,80 % - 1,80 %	0,60 % - 0,90 %	0,20 % - 0,40 %	0,10 % - 0,60 %	0,10 % - 0,50 %
L2	0,40 % - 1,40 %	0,50 % - 1,30 %	0,60 % - 1,10 %	0,30 % - 0,50 %	0,10 % - 0,50 %	0,10 % - 0,40 %
L3	0,10 % - 0,30 %	1,00 % - 1,70 %	0,60 % - 1,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,60 %	0,10 % - 0,40 %
PK65P						
L1	0,20 % - 0,50 %	1,50 % - 1,90 %	0,70 % - 0,90 %	0,20 % - 0,20 %	0,10 % - 0,30 %	0,20 % - 0,60 %
L2	0,20 % - 0,60 %	1,40 % - 1,80 %	0,90 % - 1,00 %	0,20 % - 0,30 %	0,10 % - 0,30 %	0,30 % - 0,60 %
L3	0,10 % - 0,20 %	1,50 % - 1,80 %	0,80 % - 1,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,30 %	0,30 % - 0,70 %
PK66P						
L1	0,10 % - 0,30 %	1,00 % - 1,80 %	0,70 % - 1,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,40 %	0,10 % - 0,40 %
L2	0,10 % - 0,30 %	1,10 % - 1,70 %	0,80 % - 1,10 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,40 %	0,10 % - 0,70 %
L3	0,10 % - 0,30 %	1,00 % - 1,60 %	0,80 % - 1,10 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,70 %
PK67P						
L1	0,30 % - 0,30 %	1,60 % - 1,80 %	1,20 % - 1,30 %	0,40 % - 0,50 %	0,10 % - 0,10 %	0,30 % - 0,30 %
L2	0,30 % - 0,40 %	1,50 % - 1,70 %	1,30 % - 1,50 %	0,30 % - 0,30 %	0,10 % - 0,20 %	0,30 % - 0,30 %
L3	0,30 % - 0,40 %	1,60 % - 1,90 %	1,20 % - 1,30 %	0,30 % - 0,30 %	0,30 % - 0,30 %	0,30 % - 0,40 %

## 5.6 Muuntamo 7, pääkeskukset 71, 72 ja 73

Muuntamo 7 on hyvässä kunnossa, vaikka pientä kohoumaa PK71VLK:n 5. ja 7. jänniteyliallaossa. Johtuu 6-pulssisuuntaajista, jotka ohjaavat LVI- ja kylmälaitteita.

Taulukko 8. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 7.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK71VLK	231,80 V - 233,20 V	231,80 V - 233,40 V	232,20 V - 233,80 V
PK72P	232,00 V - 233,40 V	232,00 V - 233,20 V	231,80 V - 233,20 V
PK73P	227,80 V - 235,80 V	228,00 V - 235,40 V	229,00 V - 236,00 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK71VLK	3,30 % - 3,60 %	3,20 % - 3,60 %	3,00 % - 3,20 %
PK72P	1,50 % - 1,60 %	1,60 % - 1,70 %	1,50 % - 1,60 %
PK73P	1,30 % - 2,70 %	1,40 % - 2,20 %	1,30 % - 2,10 %

Taulukko 9. Muuntamon 7 jänniteyliallot vaiheille L1, L2 ja L3.

PK71VLK	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,10 % - 0,30 %	2,20 % - 2,50 %	1,60 % - 1,70 %	0,00 % - 0,00 %	1,70 % - 2,00 %	0,10 % - 0,10 %
L2	0,10 % - 0,10 %	2,30 % - 2,50 %	1,40 % - 1,50 %	0,10 % - 0,20 %	1,70 % - 2,00 %	0,10 % - 0,20 %
L3	0,10 % - 0,20 %	2,30 % - 2,50 %	1,50 % - 1,60 %	0,10 % - 0,20 %	1,10 % - 1,30 %	0,10 % - 0,20 %
PK72P						



L1	0,10 % - 0,10 %	1,30 % - 1,40 %	0,80 % - 0,90 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,20 %
L2	0,10 % - 0,10 %	1,30 % - 1,50 %	0,70 % - 0,90 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %
L3	0,10 % - 0,20 %	1,30 % - 1,40 %	0,70 % - 0,90 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %
PK73P						
L1	0,10 % - 0,30 %	1,00 % - 1,90 %	0,70 % - 1,20 %	0,10 % - 0,50 %	0,10 % - 0,60 %	0,10 % - 0,80 %
L2	0,10 % - 0,20 %	1,10 % - 1,70 %	0,50 % - 0,90 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,40 %	0,10 % - 0,60 %
L3	0,10 % - 0,30 %	1,10 % - 1,70 %	0,60 % - 0,90 %	0,10 % - 0,60 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,50 %

### 5.7 Muuntamo 8, pääkeskukset 81, 82 ja 83

Muuntamo on muuten hyvässä kunnossa, paitsi PK 81, jonka vaiheen 2 5. yliaalto käy 6 %:ssa, joka siivittää hylkäyksen tälle keskukselle. Pääkeskus 81:ssä on 15 taajuusmuuttaja lähtöä ja 300 kvarin loistehon kompensointiparisto.

Jatkotoimenpiteenä on keskuksen pitempiaikainen mittaus viikon ajalta. Jos jänniteyliaaltoja ilmenee uuden mittauksen jälkeen, on toimenpiteenä 5. yliaallon imu-piirin mitoitus ja asennus kompensointikondensaattoreiden tilalle.

Taulukko 10. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 8.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK81VPLK	229,60 V - 234,40 V	229,20 V - 234,00 V	230,20 V - 235,20 V
PK82P	230,80 V - 232,20 V	230,60 V - 232,00 V	230,80 V - 232,20 V
PK83P	231,20 V - 235,80 V	231,00 V - 235,40 V	231,20 V - 235,80 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK81VPLK	4,50 % - 6,20 %	4,60 % - 6,50 %	4,60 % - 6,30 %
PK82P	1,70 % - 1,90 %	1,70 % - 1,90 %	1,70 % - 1,90 %
PK83P	0,90 % - 1,80 %	1,00 % - 1,90 %	0,90 % - 1,80 %

Taulukko 11. Muuntamon 8 jänniteyliaallot vaiheille L1, L2 ja L3.

PK81VPLK	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,30 % - 0,60 %	4,00 % - 5,90 %	1,10 % - 2,30 %	0,20 % - 0,30 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,10 %
L2	0,40 % - 0,70 %	4,10 % - 6,00 %	1,30 % - 2,90 %	0,20 % - 0,30 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %
L3	0,30 % - 0,70 %	3,90 % - 5,70 %	1,40 % - 2,90 %	0,20 % - 0,30 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,10 %
PK82P						
L1	0,10 % - 0,10 %	1,30 % - 1,50 %	0,90 % - 1,00 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,20 % - 0,30 %
L2	0,10 % - 0,10 %	1,40 % - 1,60 %	0,80 % - 0,90 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %	0,30 % - 0,30 %
L3	0,10 % - 0,10 %	1,40 % - 1,60 %	0,90 % - 1,00 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,20 % - 0,30 %

PK83P						
L1	0,10 % - 0,30 %	0,60 % - 1,40 %	0,60 % - 1,00 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,30 %
L2	0,10 % - 0,30 %	0,60 % - 1,50 %	0,40 % - 0,90 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,30 %
L3	0,10 % - 0,30 %	0,60 % - 1,50 %	0,50 % - 1,00 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,20 %

## 5.8 Muuntamo 9, pääkeskukset 91, 92 ja 93

Pääkeskuksissa on havaittavissa pientä kohoumaa 5. ja 7. jänniteylioalioissa, mutta ovat 6 % ja 5 % sisällä, joten muuntamon pääkeskukset ovat hyvässä kunnossa.

Taulukko 12. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 9.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK91P	228,60 V - 236,00 V	228,40 V - 236,00 V	229,20 V - 236,60 V
PK92PL	230,40 V - 233,80 V	230,20 V - 233,60 V	230,40 V - 234,40 V
PK93PV	232,80 V - 234,80 V	233,00 V - 234,60 V	233,60 V - 235,20 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK91P	1,20 % - 3,50 %	1,30 % - 3,50 %	1,30 % - 4,00 %
PK92PL	2,00 % - 2,20 %	2,00 % - 2,20 %	2,10 % - 2,30 %
PK93PV	2,00 % - 2,60 %	2,00 % - 2,60 %	2,00 % - 2,70 %

Taulukko 13. Muuntamon 9 jänniteylioalioit vaiheille L1, L2 ja L3.

PK91P	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,10 % - 0,30 %	0,60 % - 1,70 %	0,80 % - 3,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 1,00 %	0,10 % - 0,30 %
L2	0,10 % - 0,30 %	0,60 % - 1,80 %	0,70 % - 3,10 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,90 %	0,10 % - 0,30 %
L3	0,10 % - 0,30 %	0,60 % - 1,80 %	0,80 % - 3,50 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,90 %	0,10 % - 0,30 %
PK92PL						
L1	0,10 % - 0,10 %	1,60 % - 1,80 %	1,10 % - 1,30 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,10 %
L2	0,10 % - 0,20 %	1,70 % - 1,90 %	1,00 % - 1,10 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,10 %
L3	0,10 % - 0,20 %	1,70 % - 1,90 %	1,10 % - 1,30 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,30 %	0,00 % - 0,00 %
PK93PV						
L1	0,20 % - 0,30 %	1,50 % - 1,80 %	1,20 % - 1,80 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %
L2	0,10 % - 0,10 %	1,60 % - 1,90 %	1,00 % - 1,60 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %
L3	0,20 % - 0,30 %	1,50 % - 1,90 %	1,20 % - 2,00 %	0,10 % - 0,20 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,20 %

## 5.9 Muuntamo 10, pääkeskukset 101, 102 ja 103

Pääkeskuksissa 102 ja 103 on pientä nousua 5. jänniteyliasalossa, muuntamo muuten hyvässä kunnossa jänniteyliasaltojen osalta. Nousu johtuu prosessilaitteita ohjaavista 6-pulssisuuntaajista. PK101:stä ei ole käyttökelpoisia tuloksia löysälle jääneen N-johtimen vuoksi.

Taulukko 14. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 10.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK102P	232,60 V - 235,40 V	231,60 V - 234,40 V	232,40 V - 234,60 V
PK103P	229,20 V - 236,60 V	230,20 V - 236,20 V	229,40 V - 236,20 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK102P	1,70 % - 3,40 %	1,50 % - 3,40 %	1,70 % - 3,50 %
PK103P	0,80 % - 1,80 %	0,70 % - 1,70 %	0,80 % - 1,80 %

Taulukko 15. Muuntamon 10 jänniteyliasalot vaiheille L1, L2 ja L3.

PK102P	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,20 % - 0,40 %	1,20 % - 2,10 %	0,80 % - 1,30 %	0,40 % - 0,50 %	0,30 % - 0,60 %	0,30 % - 0,90 %
L2	0,10 % - 0,30 %	1,20 % - 2,10 %	0,70 % - 1,20 %	0,30 % - 0,40 %	0,20 % - 0,70 %	0,10 % - 0,70 %
L3	0,20 % - 0,30 %	1,40 % - 2,40 %	0,60 % - 1,10 %	0,30 % - 0,40 %	0,20 % - 0,80 %	0,10 % - 0,60 %
PK103P						
L1	0,10 % - 0,40 %	0,60 % - 1,40 %	0,30 % - 0,90 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,30 %
L2	0,10 % - 0,30 %	0,40 % - 1,30 %	0,30 % - 0,90 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,40 %	0,10 % - 0,30 %
L3	0,10 % - 0,40 %	0,40 % - 1,50 %	0,30 % - 0,90 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,30 %

## 5.10 Muuntamo 14, pääkeskukset 141 ja 142

Pientä nousua PK141 5. ja 7. jänniteyliasalossa, nousu johtuu LVI-laitteita ohjaavista taajuusmuuttajista eli 6-pulssisuuntaajista, muuten muuntamo on hyvässä kunnossa.

Taulukko 16. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 14.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK141LV	231,40 V - 234,20 V	232,00 V - 234,60 V	232,80 V - 235,60 V
PK142KP	230,20 V - 232,20 V	230,80 V - 232,60 V	231,40 V - 233,40 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>

PK141LV	2,80 % - 3,10 %	2,80 % - 3,10 %	2,80 % - 3,10 %
PK142KP	1,00 % - 1,10 %	1,00 % - 1,10 %	1,00 % - 1,10 %

Taulukko 17. Muuntamon 14 jänniteyliallot vaiheille L1, L2 ja L3.

PK141LV	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,30 % - 0,30 %	2,00 % - 2,40 %	1,60 % - 1,60 %	0,10 % - 0,10 %	0,50 % - 0,70 %	0,60 % - 0,60 %
L2	0,20 % - 0,30 %	2,10 % - 2,50 %	1,50 % - 1,60 %	0,10 % - 0,10 %	0,50 % - 0,60 %	0,60 % - 0,60 %
L3	0,30 % - 0,40 %	2,00 % - 2,40 %	1,50 % - 1,60 %	0,10 % - 0,10 %	0,50 % - 0,70 %	0,60 % - 0,70 %
PK142KP						
L1	0,10 % - 0,20 %	0,80 % - 0,90 %	0,40 % - 0,50 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,20 %
L2	0,10 % - 0,30 %	0,80 % - 0,90 %	0,30 % - 0,40 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,20 %
L3	0,10 % - 0,30 %	0,80 % - 0,90 %	0,40 % - 0,50 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,10 %	0,10 % - 0,20 %

### 5.11 Muuntamo 16, pääkeskus 161

Kuten tässäkin muuntamossa, pientä nousua U<sub>5</sub> ja U<sub>7</sub> yliaalloissa, jotka johtuvat lämpöaseman LVI-laitteita ohjaavista 6-pulssisuuntaajista. Muuntamo on hyvässä kunnossa.

Taulukko 18. Jännitevaihtelut ja jännite THD:t muuntamosta 16.

	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
PK161L	230,60 V - 237,00 V	230,60 V - 237,60 V	230,20 V - 238,40 V
	THD-U <sub>L1</sub>	THD-U <sub>L2</sub>	THD-U <sub>L3</sub>
PK161L	1,30 % - 2,50 %	1,40 % - 2,60 %	1,40 % - 2,60 %

Taulukko 19. Muuntamon 16 jänniteyliallot vaiheille L1, L2 ja L3.

PK161L	U <sub>3</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>11</sub>	U <sub>13</sub>
L1	0,10 % - 0,30 %	1,00 % - 2,10 %	0,70 % - 1,20 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,20 % - 0,40 %
L2	0,10 % - 0,50 %	0,80 % - 2,20 %	0,60 % - 1,10 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,10 % - 0,40 %
L3	0,10 % - 0,50 %	1,00 % - 2,10 %	0,70 % - 1,20 %	0,00 % - 0,00 %	0,10 % - 0,30 %	0,20 % - 0,40 %

## 6 POHDINTA

Tavoitteet opinnäytetyössäni olivat saada yleiskuva Nurmon Atrian teollisuustehaiden sähkönlaadusta jänniteylijäältojen ja jännitevaihteluiden osalta. Tulokset olivat suurimmalta osin positiivia, muutamaa keskusta lukuun ottamatta, jossa standardi EN50160 jänniteylijäältoarajat ylittyivät. Jännitevaihtelut olivat kunnossa, ei standardin asettamien rajojen alituksia tai ylityksiä.

Mittaukset onnistuivat hyvin, aluksi tietenkin oli alkukankeutta, kun tehdasrakennukset ovat laajoja ja monikerroksisia, mutta jo muutaman mitatun pääkeskuksen ja kerrospiirustuksien lukemisen jälkeen mittaukset, mittausjohtojen asennus pääkeskuksiin ja suunnistus teollisuusalueella onnistui itsenäisesti.

Vähäiset ongelmat virranmittausprobejen asennuksessa olivat pääkeskuksia syöttävissä johdoissa, jotka olivat useasti liian lähellä toisiaan. Tästä johtui, ettei virran mittausprobet sopineet ilman puukiiloja syöttävien johtojen väliin.

Tuloksista käy ilmi pääkeskusten jännitevaihtelu- ja ylijäälto-tilanne, josta voidaan päätellä verkon kunto. Näistä muutamista pääkeskuksista, joissa oli jänniteylijäälto rajan ylityksiä, jatkotoimenpiteenä on imupiirin asennus pääkeskukseen 61 ja estokelapariston asennus pääkeskukseen 81 ja toivotaan, että se riittää pienentämään tarpeeksi jänniteylijäältoja tarvittavaan arvoon. Jos estokelaparisto ei riitä alentamaan tarvittavaa määrää ylijäällostaa, niin luvassa on imupiirin mitoitus ja asennus kyseiselle jänniteylijäällostalle. Aktiivisuodatin voidaan jättää laskuista pois, kun ylijäällostot ovat vähäisiä.

Olisi myös hyvä, että ylijäällostomittaukset tehtäisiin esim. kerran vuodessa pidempiaikaisilla mittauksilla niin kuin standardissa sanotaan.

## LÄHTEET

- /1/ Männistö, M & Hietalahti, L. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo. Sähköinfo Oy.
- /2/ ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, 4. Sähkön laatu. Viitattu 7.4.2016,  
[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04\\_0\\_S%84hk%94n%20laatu.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf)
- /3/ Korpinen, L. Yliaalto-opus. Viitattu 10.4.2016,  
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>
- /4/ Metrel PowerQ4 MI 2592 Instruction manual. Viitattu 20.4.2016  
[http://www.metrel.si/fileadmin/BAZA\\_od\\_Damijan\\_Dolinar/Metrel/Navod-la\\_instrumentov/Instruments/MI\\_2592\\_PowerQ4/Ang/MI\\_2592\\_PowerQ4\\_ANG\\_Ver\\_1.2\\_20\\_751\\_551.pdf](http://www.metrel.si/fileadmin/BAZA_od_Damijan_Dolinar/Metrel/Navod-la_instrumentov/Instruments/MI_2592_PowerQ4/Ang/MI_2592_PowerQ4_ANG_Ver_1.2_20_751_551.pdf)
- /5/ Jokinen, K. Suuntaajatekniikka. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.5.2016
- /6/ SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön ominaisuudet. Viitattu 22.5.2016
- /7/ Jokinen, K. Teollisuuden ja voimalaitoksen sähköjärjestelmät. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.6.2016