

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Mika Silvennoinen

STORA ENSO HONKALAHDEN SAHAN VERKOSTOKARTOITUS

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Marraskuu 2014**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p (013)260 600

Tekijä

Mika Silvennoinen

Nimeke

Stora Enso Honkalahden sahan verkostokartoitus

Toimeksiantaja

Stora Enso Honkalahden saha

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kattava kartoitus Stora Enson Honkalahden sahan sähköverkolle. Työn tavoitteisiin kuuluivat vanhan kompensoinnin kunnon tarkastus, muuttuneesta sähköntuotannosta johtuen kompensoinnin uudelleen mitoitus ja suunnittelu. Lisäksi työn sisältöön kuului sähköverkon sähkönlaadun mittaaminen ja tarvittavien korjaustoimenpiteiden suunnittelu. Lisäksi työhön kuului keskijänniteverkon kaapeleiden tarkastelu.

Sähkönlaadun selvittämiseksi tehtiin mittauksia kattavasti jokaisesta muuntamosta. Mittauksissa pyrittiin mahdollisimman luotettavasti selvittämään koko sahan sähköverkon sähkönlaatu. Apuna käytettiin myös aiemmin tehtyä opinnäytetyötä ja pääsyöttökaapelin muutoksen yhteydessä tehtyä verkostoselvitystä, niiltä osin kuin niitä voitiin soveltaa nykyiseen tilanteeseen.

Mittausten analysointi sekä tekniset että taloudelliset näkökohdat ohjasivat uudet kompensointiratkaisut toteutettaviksi pienjännitepuolen keskuksissa automaattisin estokela-paristoin. Samalla tämä ratkaisu parantaa myös sähköverkon sähkönlaatua ja parantaa verkon ja siihen liitettyjen laitteiden luotettavuutta. Uusien kompensointiratkaisujen myötä Honkalahden sahallä voidaan varautua yhä kiristyviin loistehorajoituksiin.

Kieli  
suomi

Sivuja 47  
Liitteet 1

Asiasanat

loisteho, kompensointi, yliaallot



**THESIS**  
**November 2014**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 600

Author

Mika Silvennoinen

Title

Electrical Network Analysis at Honkalahti Sawmill

Commissioned by

Stora Enso Honkalahti sawmill

Abstract

The purpose of this thesis was to measure and analyze the power quality of the electrical grid of Stora Enso Honkalahti sawmill. The work target was to analyze the condition of the old compensation devices, to calculate and design the new compensation, as a result of the changed power production. Measuring the electric grid power quality, planning the repairing actions, and analyzing the medium-voltage grid cable load were also included in the work.

To analyze the power quality, measurements were performed comprehensively at all substations. The aim of the measurements was to reliably investigate the electrical network power quality of the whole sawmill. An earlier thesis was also used as help, as well as an electrical network research, which was made in connection with the main power cable renewal, as far as they were applicable to the current situation.

Analyzing measurements, the technical and economic aspects guided to implement the compensation to low-voltage substations, by the automatic detuned filtered capacitor banks. This solution also improves the power quality of the electrical network, and makes the electrical network, and the devices to attach to it, more reliable. By the new compensation solutions, Honkalahti sawmill can prepare for the tightening limits of reactive power usage.

Language  
Finnish

Pages 47  
Appendices 1

Keywords

reactive power, compensation, harmonics

## Sisältö

### Käsitteet ja määritteet

1	Johdanto .....	6
2	Stora Enso Honkalahden sahan jakeluverkko .....	6
3	Vaihtosähkön tehot .....	7
4	Loistehon kompensointi ja yliaallot .....	11
4.1	Loistehon vaikutukset ja kompensointi .....	11
4.2	Yliaallot .....	16
4.2.1	Yliaaltolähteet .....	18
4.2.2	Yliaaltojen suodatus.....	19
5	Mittaukset .....	20
5.1	Mittausten valmistelu ja mittaukset .....	20
5.2	Mittausten tulokset.....	25
5.3	6,3 kV:n kaapelien kuormitukset .....	31
6	Uuden kompensoinnin suunnittelu .....	33
6.1	Kompensoinnin tarve .....	33
6.2	Uuden kompensoinnin suunnittelu ja vaihtoehdot.....	35
6.2.1	Kompensointi 6,3 kV:n tasossa.....	36
6.2.2	Kompensointi muuntamokohtaisesti automaattiparistoilla. ....	37
6.2.3	Vanhojen kompensointien hyödyntäminen. ....	37
6.3	Uudet kompensointilaitteet .....	38
7	Pohdinta.....	44
	Lähteet.....	47

### Liitteet

Liite1 Alstom tarjous uusista kompensoinneista

## **Käsitteet ja määritteet**

$\cos \varphi$  = vaihesiirtokulman kosini, tehokerroin

$I$  = virta, yksikkö ampeeri (A)

$P$  = pätöteho, yksikkö watti (W)

$Pf$  = power factor, tehokerroin

$Q$  = loisteho, yksikkö vari (var)

$R$  = resistanssi, yksikkö ohmi ( $\Omega$ )

$S$  = näennäisteho, yksikkö voltiampeeri (VA)

$THD$  = total harmonic distortion, harmoninen kokonaissärö

$U$  = jännite, yksikkö voltti (V)

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin Stora Enson Honkalahden sahan sähkönjakelun keski- ja pienjänniteverkon sähkönlaatu, sekä mitoitettiin sahan kompensointi ja yliaaltosuodatus.

Tällainen kartoitus on tehty Honkalahden sahalla vuonna 1999. Uuden kartoituksen tekemiseen syynä on mittavasti lisääntynyt loistehon kulutus, mikä johtuu vuonna 2010 tapahtuneesta generaattorin rikkoutumisesta. Toisena syynä ovat lisääntyneet taajuusmuuttajakäytöt, jotka kuormittavat verkkoa yliaalloilla.

Työn yhteydessä kartoitettiin myös sahan 6,3 kV:n jakeluverkon kaapeleiden kuormitustaso ja kompensoinnin mahdollinen vaikutus siihen.

## 2 Stora Enso Honkalahden sahan jakeluverkko

Honkalahden saha on perustettu vuonna 1906 ja useamman omistajanvaihdoksen myötä kuuluu nykyisin Stora Ensolle. Sahaa on aikojen saatossa modernisoitu useaan otteeseen ja täten myös sähköjärjestelmiä löytyy monelta aikakaudelta.

Honkalahden sahalla taajuusmuuttajakäytöt ovat lisääntyneet suurissa määrin ja täten myös niiden aiheuttamat häiriöt sähkönjakeluun. Yliaaltosuodatusta ei sahan sähköverkossa ole, eikä sitä vielä vuonna 1999 tehdyssä kartoituksessa ole nähty tarpeelliseksi [1, s.46-47]. Tämän jälkeen taajuusmuuttajakäyttöjä on kuitenkin tullut huomattava määrä lisää, joten asiaa on syytä tutkia uudestaan.

Sahalla on oma voimalaitos, tyypiltään vastapainelaitos, jonka kattilan lämpöteho on 29 MW. Voimalaitosta käytetään nykyisin vain lämmöntuottoon. Myös tulevaisuuden osalta oma sähköntuotanto on epätodennäköistä, joten muunlaisia kompensointia sahan tarpeisiin on syytä suunnitella.

Honkalahden sahan loistehon tuotosta on vastannut voimalaitoksen 6,3 MVA:n generaattori vuoteen 2010 saakka, mutta tällöin sattuneen generaattorin ja turbiinin rikkoutumisen vuoksi generaattori on ollut pois käytöstä, ja täten siitä saakka Honkalahden saha on ottanut tarvitsemansa loistehon suoraan sähköyhtiön verkosta. Kyseisellä generaattorilla tuotettiin loistehoa sahan käyttöön noin 1,2 Mvar ja tämän lisäksi loistehoa otettiin verkosta noin 0,7 Mvar, joten sahan nykyinen keskimääräinen loistehon otto on noin 2 Mvar:n luokkaa ja kun saha ei ole yövuorossa toiminnassa, on toiminnan aikainen loistehon tarve nykyisillä kompensoinneilla mittauksien mukaan noin 3,7Mvar.

Honkalahden keskijännitepuolen sähköjakeluverkko on nimellisjännitteeltään 6,3 KV ja koostuu 110/6,3 kV 10 MVA:n päämuuntajasta, joka on Elektro Bau AG:n valmistama ja kytkentäryhmältään YNd11. Keskijänniteverkkoon kuuluu 12 6,3/0,4 kV:n jakelumuuntajaa, tehoiltaan 300–2000 kVA ja kytkentäryhmältään Dyn11. Sahan pääsyöttökaapelia on tarkasteltu vuonna 2006 Karelplanin toimesta ja tällöin on päädytty kahdentamaan pääsyöttökaapeli, joten nykyisin pääsyöttökaapelina toimii 2\* AHXCMK 3\*1\*800, pituudeltaan 400 m.

Jakelumuuntajien syöttökaapeleita on puolestaan monia erityyppisiä. Tarkemmat tyypit ja pituudet selviävät sivulla 33 taulukosta 5, jossa on laskettu keskijänniteverkon kaapelien kuormitukset.

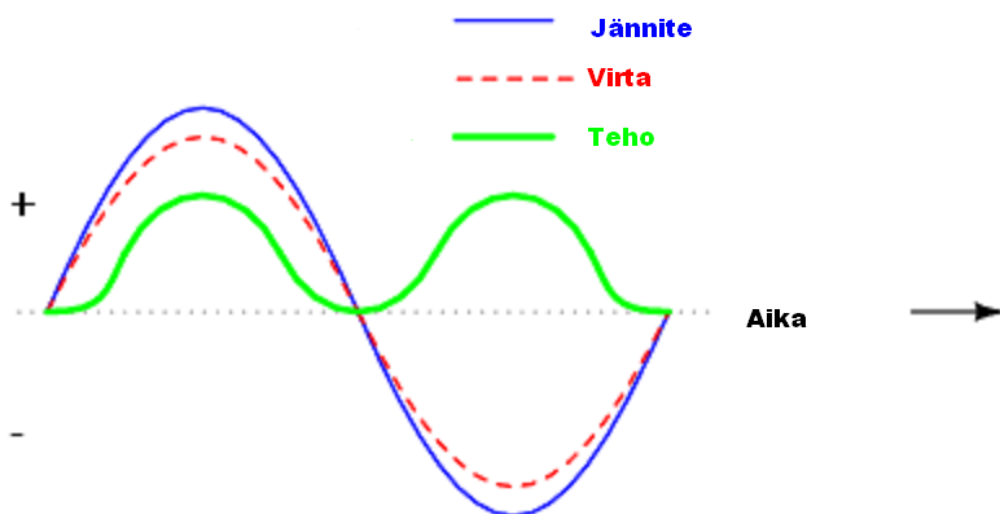
### **3 Vaihtosähkön tehot**

Vaihtosähkötekniikassa teho on yleensä jaettu kolmeen komponenttiin, jotka ovat pätöteho, loisteho ja näennäisteho. On myös muunlaisia tehoja, esimerkiksi säröteho, joka liittyy läheisesti yliaaltoihin.

Pätöteho on komponentti, jolla kaikki työ tehdään ja jota eniten kulutetaan. Pätötehossa jännitteen ja virran aaltomuoto ja vaihekulma ovat samat (kuva 1),

teho pysyy koko ajan positiivisella puolella, eikä niin sanottua vaihesiirtoa esiinny.

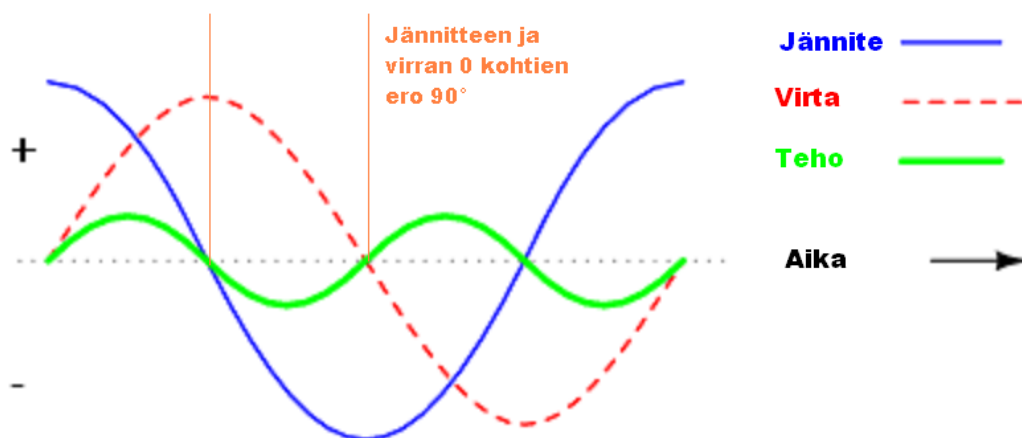
Pätötehoa verkossa kuluttavat kaikki työtä tekevät laitteet, sekä kaikki resistanssia omaavat komponentit, johtuen virtalämpöhäviöistä ja tämä pätöteho kuluu komponentin lämmittämiseen. Pätötehoa merkitään kirjaimella  $P$  ja yksikkö on watti (W).



Kuva 1 Pätötehon aaltomuodot [2, s.1]

Loisteho on laitteiden, kuten moottorien ja muuntajien, magnetoimiseen, sekä kondensaattorien varaamiseen käytettävä teho. Loistehoa ei siis varsinaisesti kuluteta, se vain varastoidaan magneettikentän tai sähkövarauksen muodossa ja palautetaan sitten takaisin verkkoon. Loistehossa jännitteen ja virran aaltomuotojen välillä on  $90^\circ$  vaihesiirto ja teho on välillä positiivinen ja välillä negatiivinen ja tehon keskiarvo on 0 (kuva 2).





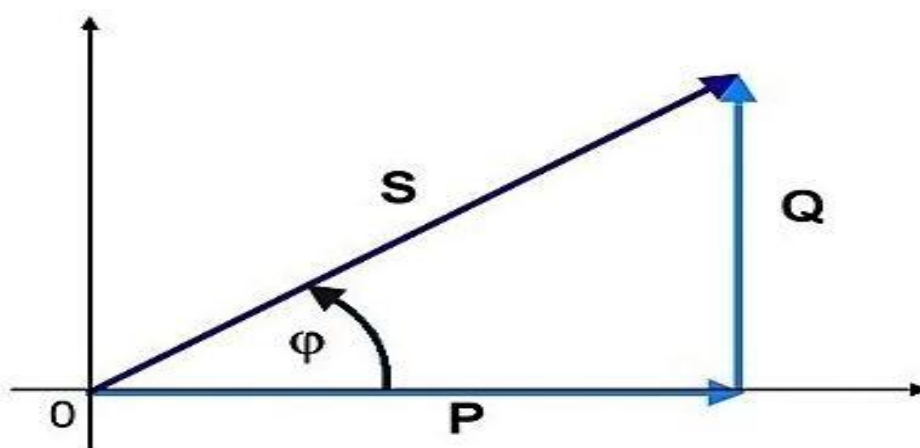
Kuva 2 Loistehon aaltomuodot [2, s.2]

Loistehoa on induktiivinen loisteho, jota kuluttavat magneettikenttiä tuottavat komponentit, sekä kapasitiivinen loisteho, jota tuottavat kapasitanssia omaavat komponentit, kuten kondensaattori, mutta myös esimerkiksi kaapelit. Induktiivisen ja kapasitiivisen loistehon ero on siinä, että induktiivisessa loistehossa virta on  $90^\circ$  jäljessä jännitettä, kun taas kapasitiivisessa loistehossa virta on  $90^\circ$  edellä jännitettä.

Vaikka loisteho ei oikeastaan nimensä mukaisesti tee mitään on se kuitenkin verkkoa kuormittavaa, joten sähköyhtiöt eivät sitä halua siirtää, tämän vuoksi loisteho pyritään tuottamaan mahdollisimman lähellä sen kuluttajaa. Loistehon tunnus on kirjain  $Q$  ja yksikkö on var.

Sekä pätö- että loisteho ovat vektorisuureita, joilla on suuruus ja suunta, ja koska pätötehon suunta on  $0^\circ$  ja loistehon  $\pm 90^\circ$  ei niitä voi laskea suoraan yhteen. Näin ollen näennäisteho on komponentin ottaman pätötehon ja loistehon geometrisen summa

Näennäistehon havainnollistamiseen käytetään usein tehokolmiota (kuva 3).



**P = Pätöteho (W)**  
**Q = Loisteho (var)**  
**S = Näennäisteho (VA)**  
 **$\varphi$  = Vaihesiirtokulma**

Kuva 3 Tehokolmio [3, s.3]

Kuten tehokolmiosta nähdään, on pätö- ja loistehon vektoreiden suuntien ero  $90^\circ$ , ja näennäistehon vektorin laskemiseen voidaan käyttää kolmioista tuttua Pythagoraan lausetta (kaava 1).

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

Näennäistehon tunnus on  $S$  ja yksikkö voltiampeeri (VA).

Komponenttien ottama teho ilmoitetaan monesti tehokertoimen ( $Pf$ ) avulla, jolloin ilmoitetaan komponentin ottama pätöteho, sekä tehokerroin  $\cos \varphi$ . Tehokerroin on pätötehon ja näennäistehon suhde (kaava 2).

$$\text{Tehokerroin } (Pf) = \frac{\text{Pätöteho } (P)}{\text{Näennäisteho } (S)} \quad (2)$$

Tehokerroin on myös komponentin ottaman virran ja jännitteen välisen vaihesiirtokulman kosini, joten jos komponentti ottaa pelkästään pätötehoa, on tehokerroin  $\cos(0^\circ) = 1$  ja jos taas pelkästään loistehoa on tehokerroin  $\cos(+/-90^\circ) = 0$ .

Komponentin näennäistehon ja loistehon voi myös laskea pätötehon ja tehokerroimen avulla seuraavilla kaavoilla 3 ja 4.

$$\text{Näennäisteho } (S) = \frac{\text{Pätöteho } (P)}{\text{Tehokerroin } (Pf)} \quad (3)$$

$$\text{Loisteho } (Q) = \sqrt{\text{Näennäisteho } (S)^2 - \text{Pätöteho } (P)^2} \quad (4)$$

## 4 Loistehon kompensointi ja yliaallot

### 4.1 Loistehon vaikutukset ja kompensointi

Vaikkakaan loisteho ei nimensä mukaisesti ”tee mitään”, on se kuitenkin välttämätöntä. Ilman loistehoa ei mikään sähkömagnetismiin perustuva laite toimi, ja loistehoa kuluu ja syntyy väistämättä esimerkiksi kaapeleissa, kaapelin induktanssien ja kapasitanssien vuoksi.

Loisteho on kuitenkin verkolle haitallinen komponentti, johtuen loistehon virrasta, joka aiheuttaa verkon resistiivisissä komponenteissa lämpenemistä ja pätötehohäviöitä. Tästä syystä sähköyhtiöt eivät halua siirtää loistehoa verkossaan yhtään enempää kuin on välttämätöntä ja laskuttavat suuremmilta asiakkailta myös loistehosta ja täten pyrkivät ohjaamaan asiakkaat kompensoimaan itse loistehon kulutuksensa.

Loistehon vaikutusta voi tutkiskella yksinkertaisimmillaan vaikkapa seuraavanlaisella laskutoimituksella, tutkitaan 200 kW:n moottorilähdön kaapelia. Moottorin teho on siis 200 kW, nimellisjännite on 400 V ja tehokerroin vaikkapa 0,8.

Lasketaan moottorin ottama näennäisteho:

$$\frac{200 \text{ kW}}{0.8} = 250 \text{ kVA}$$

Näennäistehosta lasketaan moottorin virta  $I$  kaavalla 5:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (5)$$

jossa  $s$  = moottorin näennäisteho

$U$  = pääjännite

Täten moottorin virraksi muodostuu:

$$\frac{250000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 360,8 \text{ A}$$

Nyt jos moottorin loisteho kompensoidaan moottorin luona tehokertoimen arvoon 0,97, niin moottorin virta pienenee arvoon:

$$S = \frac{200 \text{ kW}}{0,97} = 206,19 \text{ kVA}$$

ja moottorin virta  $I$  on :

$$\frac{206190 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 297,60 \text{ A.}$$

Kuten tarkastelusta huomataan, pienenee moottorin virta lähes 65 A. Kun tarkastellaan kyseisen moottorilähdön kaapelointia, ja valitaan kaapeliksi esimerkiksi AXCMK asennettuna maahan, niin kompensoitu moottori voidaan kytkeä 4x185Al/57Cu kaapelilla, jonka suurin sallittu kuormitettavuus asennettuna

maahan on 330A, kun taas kompensoimaton asennus vaatii 4x240Al/72Cu kaapelin [4, s. 2].

Kuten tarkastelusta huomataan, kasvattaa loisteho moottorin ottamaa virtaa huomattavasti ja kompensointi moottorin luona mahdollistaa jopa ohuemman kaapelin käytön.

Loisteho aiheuttaa myös verkon ja muuntajien kuormittumista ja vähentää siirrettävän pätötehon määrää. Esimerkiksi muuntajien kuormitettavuudet ovat näennäistehoja, joten mitä enemmän muuntajan läpi joudutaan siirtämään loistehoa, sitä vähemmän voidaan siirtää pätötehoa, ylikuormittamatta muuntajaa.

Tarkastellaan esimerkiksi 500 kVA:n jakelumuuntajaa tehokertoimilla 0,8 ja 0,97. Koska pätöteho on (kaava 6):

$$P = S * P \quad (6)$$

saadaan muuntajan suurimmaksi pätötehoksi 400 kW tehokertoimella 0,8, ja 485 kW tehokertoimella 0,97.

Kondensaattorien kapasitiivinen loisteho voi myös aiheuttaa jännitteen nousua ja muuntajien ylikuormittumista. Kapasitiivista loistehoa muodostuu myös kaapeleissa, varsinkin eristettyjen kaapelien kapasitanssit voivat suurilla pituuksilla aiheuttaa suuria määriä kapasitiivista loistehoa. Kuten edellä olevasta laskuesimerkistä huomataan, on loisteho mahdollista kompensoida ja täten vähentää sen verkkoa ja sen komponentteja kuormittavaa vaikutusta.

Kun induktiivisessa loistehossa virta on 90° jäljessä jännitettä ja kapasitiivisessa loistehossa virta on 90° edellä jännitettä, nämä kaksi kumoavat toisensa. Induktiivista loistehoa voidaan siis kompensoida tuottamalla verkkoon lähes vastaava määrä kapasitiivista loistehoa.

Yleensä kompensoitava loisteho on induktiivista, jota syntyy moottoreissa, purkausvalaisimissa ja hakkurivirtalähteissä, ja tätä kompensoidaan tuottamalla

verkkoon kapasitiivista loistehoa, joko generaattoreilla tai kompensointikondensaattoreilla.

Verkkoa kuormittavan luonteensa vuoksi loisteho pyritään kompensoimaan mahdollisimman lähellä, mielellään jo ryhmä- tai pääkeskuksissa, mahdollisimman lähellä kulutuspistettä. Kun puhutaan teollisuuslaitosten loistehon kompensoinnista, on kyseessä lähes poikkeuksetta induktiivisen loistehon kulutuksen kompensointi.

Koska suuret teollisuuslaitokset kuluttavat paljon myös loistehoa, pyrkivät sähköyhtiöt loistehon laskutuksella ohjaamaan teollisuuden omatoimiseen loistehon kompensointiin. Sähköyhtiöiden kannalta tämä on parempi ratkaisu, koska näin verkon kuormitukset pienenevät ja kun voimalaitosten generaattoreilla ei tarvitse tuottaa kapasitiivista loistehoa, voidaan generaattorilla tuottaa enemmän pätehoa.

Erilaisia kompensointitapoja ovat.

- laitekohtainen kompensointi.
- ryhmäkohtainen kompensointi
- keskitetty kompensointi

Laitekohtaisessa kompensoinnissa jokainen laite kompensoidaan omalla kondensaattorilla laitteen lähellä. Tapa on periaatteellisella tasolla paras mahdollinen, etuina mm. ei kuormita muuntajia, keskuksia, tai syöttökaapeleita. Kompensointi kytkeytyy pois kun laite kytketään irti verkosta, eli ei vaadita ohjaus-elektroniikka estämään ylikompensoinnin aiheuttamaa jännitteen nousua. Laitekohtainen kompensointi ei myöskään ole niin herkkä resonoimaan, kuin muut kompensointitavat.

Vaikka laitekohtainen kompensointi on sähköisessä mielessä hyvä vaihtoehto, sen haittoja ovat kompensointilaitteiden suuri määrä, kun jokaiselle laitteelle on oltava oma kompensointilaitte, tapa on kallis toteuttaa jos kompensoitavia laitteita on paljon.

Kompensointilaitteet joutuvat usein hankaliin olosuhteisiin ympäri teollisuuslaitosta. Kunnossapito on hankalaa, laitteiden suuren määrän ja sijoittelun vuoksi. Laittekohtaista kompensointia käytetään silloin kun esimerkiksi moottoreita on vähän, ja varsinkin jos ne ovat suuria, sekä purkausvalaisimissa, valaisinkohtaisena kompensointina.

Ryhmäkohtaisessa kompensoinnissa kompensoidaan kokonainen moottori- tai valaisinryhmä. Kompensointiparistot sijaitsevat usein ryhmäkeskuksessa ja ovat näin paremmissa olosuhteissa kuin laitekohtaisessa kompensoinnissa. Etuina ovat kompensointilaitteiden pienempi määrä ja vähäisemmät kytkennät. Ryhmäkohtainen kompensointi on myös taloudellisesti järkevä ratkaisu, jos kompensoitavia laitteita on paljon. Haittana on loistehon siirtäminen syöttökaapeleissa, joten näiden kuormitusta ei tällä tavalla voi pienentää.

Ryhmäkohtaisessa kompensoinnissa on myös huomioitava se että ryhmästä voidaan sammuttaa kompensointia vaativia laitteita ja kompensointilaitteiston on tällöin osattava myös pienentää kompensoinnin määrää, ettei verkkoa ylikompensoitaisi niin että jännite nousee. Ongelmia saattaa myös aiheuttaa ryhmäkeskuksen ahtaat tilat, jolloin kompensointilaitteistojen sijoittaminen ja kytkeminen ryhmäkeskukseen on hankalaa.

Keskitettyä kompensointia pääkeskuksessa käytetään usein kun verkko on yliaaltopitoinen ja vaatii myös yliaaltosuodatusta. Tällöin sekä kompensointi että yliaaltosuodatus sijoitetaan pääkeskukseen. Keskitetty kompensointi vaatii lähes poikkeuksetta automatiikkaa kompensoinnin ohjaukseen, sillä jollei kompensointia pienennetä verkon kuormituksen pienentyessä, on ylikompensoinnin vaara ilmeinen.

Keskitetyllä kompensoinnilla on kuitenkin paljon etuja. Kaikki kompensointi ja yliaaltosuodatuslaitteet ovat samassa tilassa, yleensä melko hyvissä olosuhteissa, koko verkko voidaan kompensoida samoilla laitteilla, ja huoltoa ja kunnossapitoa helpottaa että kaikki kompensointilaitteet ovat samassa tilassa, eikä hajallaan pitkin kenttää.

Keskitetyn kompensoinnin ongelmina ovat tilantarve pääkeskuksessa, sekä se että koko kompensointi usein yhden laitteen varassa. Keskitetty kompensointi on herkempi resonoimaan, joten se vaatii usein suodatusta verkon resonoinnin estämiseksi. Keskitetty kompensointi myös lähes poikkeuksetta vaatii elektronikkaa ohjaukseen ja jos pääkeskuksen jälkeen on muuntajia ja ryhmäkeskuksia, niin loisteho kuormittaa näitä muuntajia, keskuksia ja niiden syöttökaapeleita.

## 4.2 Yliaallot

Yliaalloja syntyy kun verkon jonkin komponentin ottama virta ei ole sinimuotoista, ja näin ollen virta säröytyy. Kun virta ei ole sinimuotoista, pyrkii myös verkon jännite säröytymään ja mitä suurempi on syöttävän verkon impedanssi, sitä enemmän myös jännite säröytyy. Vastaavasti kun jännite ei ole sinimuotoista, ei myöskään lineaaristen kuormien ottama virta ole enää sinimuotoista, vaan seuraa jännitteen aaltomuotoa, ja voi näin aiheuttaa lisää sekä virta että jännite säröä.

Vaikka jännitteen tai virran käyrämuoto on säröytynyttä, voidaan näitä yleensä edelleen käsitellä jaksollisesti vaihtelevina suureina. Tällöin ne voidaan matemaattisesti esittää syntyneenä useasta eritaajuisesta sinimuotoisesta komponentista.[5, s. 26.]

Jaksollinen funktio  $f(t)$ , tässä tapauksessa jännite  $u(t)$ , voidaan tunnetusti esittää ns. Fourier'n sarjana (kaava 7):

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \quad (7)$$

jossa

$n$  = kokonaisluku

$T$  = jakson pituus

$U_0$  = jännitteen tasakomponentti

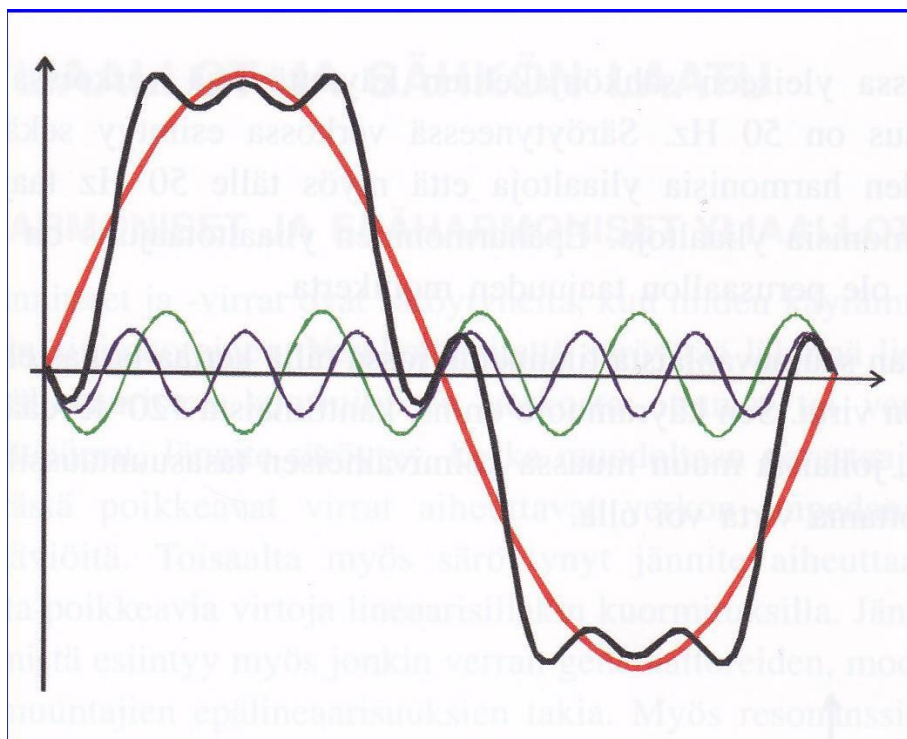


$A_n$  ja  $B_n$  ovat Fourier'n sarjan kertoimia.

Edellä mainittu Fourier'n sarjakehitelmä voidaan saattaa myös muotoon jossa kukin taajuuskomponentti on määritelty amplitudinsa  $\hat{u}_n$  ja nollavaihekulmansa  $\alpha_n$  avulla (kaava 8).[5, s. 26.]

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \hat{u}_n \sin(n\omega t + \alpha_n) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2U_n} \sin(n2f_1t + \alpha_n) \quad (8)$$

Kuvassa 4 on havainnollisesti esitetty 5. (violetti) ja 7.(vihreä) yliaallon summautuminen perusaaltoon (punainen). Kuten kuvasta nähdään, ei summa-aalto (musta) enää ole siniaaltoa, vaan muistuttaa lähinnä kanttiaaltoa.



Kuva 4 5. ja 7. yliaalto ja niiden summa [5, s. 28].

Harmonisiksi yliaalloiksi luetaan yliaallot jotka ovat perustaajuuden kokonaislukumonikertoja. Harmonisista yliaalloista merkittävimmät ovat 3., 5. ja 7. yliaal-

to.3. yliaalto syntyy lähinnä 1-vaiheisissa kuormituksissa, kuten elektroniikan hakkuriteholähteissä ja purkausvalaisimissa.5. ja 7. yliaalto taas syntyy 3-vaihe järjestelmien 6- tai 12- pulssisissa tasasuuntaajissa, kuten taajuusmuuttajissa ja tasavirtakäytöissä, sekä puolijohdekytkimissä.

Yliaallot aiheuttavat erityyppisiä ongelmia, niin syöttävässä verkossa, kuin verkon laitteissakin. Tyypillisiä yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat mm. häviöiden kasvu verkossa ja verkon laitteissa, kuormitettavuuden alentuminen, mittareiden virhenäyttämät, suoja- ja releiden virhetoiminnot, sekä 3. yliaallon aiheuttama nollajohtimen ylikuormittuminen.

#### **4.2.1 Yliaaltolähteet**

Yliaaltolähteitä ovat tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, hakkuriteholähteet, purkausvalaisimet, puolijohdekytkimet, hitsauslaitteet sekä valokaariuunit. Myös vikaantuneiden muuntajien ja moottoreiden magneetti- ja piirit voivat aiheuttaa yliaaltoja.

Jännitteen säröytymistä esiintyy myös jonkin verran generaattoreiden, moottorien ja muuntajien epälineaarisuuksien takia, mutta niiden merkitys käytännössä on yleensä vähäinen. [5, s. 30]

## 4.2.2 Yliaaltojen suodatus

Yliaaltoja voidaan vähentää ottamalla ne huomioon jo verkon suunnitteluvaiheessa, tai jälkeinpäin rakenteellisilla muutoksilla sekä erilaisilla suodattimilla.

Suunnitteluvaiheessa voidaan verkkoon valita vähemmän yliaaltoja tuottavia komponentteja, kuten 12- tai 24- pulssisten tasasuuntaajien käyttäminen, verkon rakenteen mitoittaminen tarpeeksi jäykäksi. Näitä rakenteellisia muutoksia voidaan käyttää myös jälkeinpäin, mutta ne ovat usein melko suuria kustannuksiltaan ja työmäärältään. Tästä syystä yleensä olemassa olevassa verkossa päädytään yliaaltoja rajoittamaan jollain suodatinratkaisulla [6, s.17].

Yliaaltoja voidaan suodattaa sekä passiivisilla että aktiivisilla suodattimilla. Yksinkertaisin ratkaisu on yhdelle taajuudelle viritetty passiivinen suodin, joka vaimentaa yliaaltoja viritystaajuuden yläpuolella, mutta saattaa vahvistaa niitä yliaaltoja jotka jäävät viritystaajuuden alapuolelle. Esimerkiksi jos teollisuudessa tyypillisesti esiintyvä 5. yliaalto suodatetaan yhden taajuuden passiivisella suotimella, saattaa verkossa oleva 3. yliaalto voimistua suodattimen johdosta. Tällainen yhdelle taajuudelle viritetty passiivinen suodin koostuu kuristimesta jonka rinnalle on kytketty kondensaattori.

Monimutkaisempi passiivinen suodatinratkaisu on monelle taajuudelle viritetty passiivisuodin. Tämä ratkaisu koostuu monesta passiivisuotimesta, joista jokainen on viritetty omalle taajuudelleen, joiden tulisi olla järjestelmän pienimpiä yliaaltotaajuuksia. Myös tällainen suodin voi vahvistaa alimman viritystaajuuden alapuolella olevia yliaaltoja.

Koska viritetyt passiivisuotimet tuovat uusia resonansseja, jotka voivat aiheuttaa lisää yliaalto-ongelmia on yliaaltoja vaimentamaan kehitetty aktiivisia suotimia, jotka kykenevät vaimentamaan yliaaltovirtoja aktiiviohjauksella, ja siten suodattavat vain asetetut yliaaltokomponentit, vaikuttamatta muihin.

Aktiivisuodattimen periaate on generoida verkossa esiintyvien yliaaltokomponentit vastavaiheisina, jolloin nämä kumoavat toisensa, ja virran aaltomuoto on alkuperäisen muotoinen suodatuksen jälkeen.

## 5 Mittaukset

### 5.1 Mittausten valmistelu ja mittaukset

Mittalaitteena mittauksissa käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion Fluke 435 3-vaiheinen sähkönlaatu- ja energia-analysointilaitte (kuva 5).

Kyseinen analysointilaitte pystyy tallentamaan omaan muistiinsa mm. 3-vaiheen jännitteet, virrat, tehot, harmoniset yliaallot, sekä tehokertoimen.

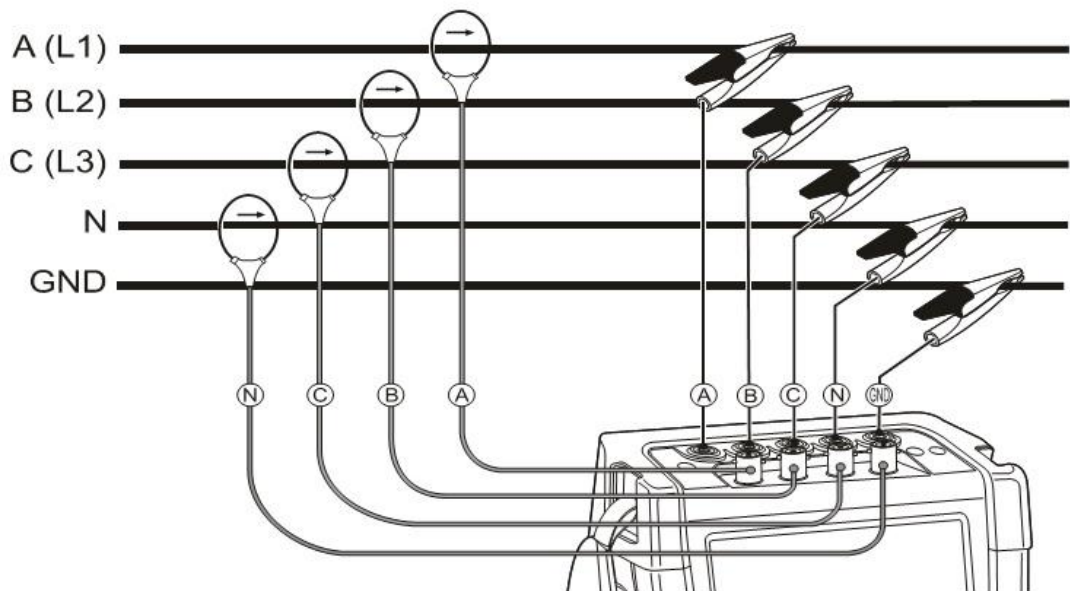


Kuva 5 Fluke 435

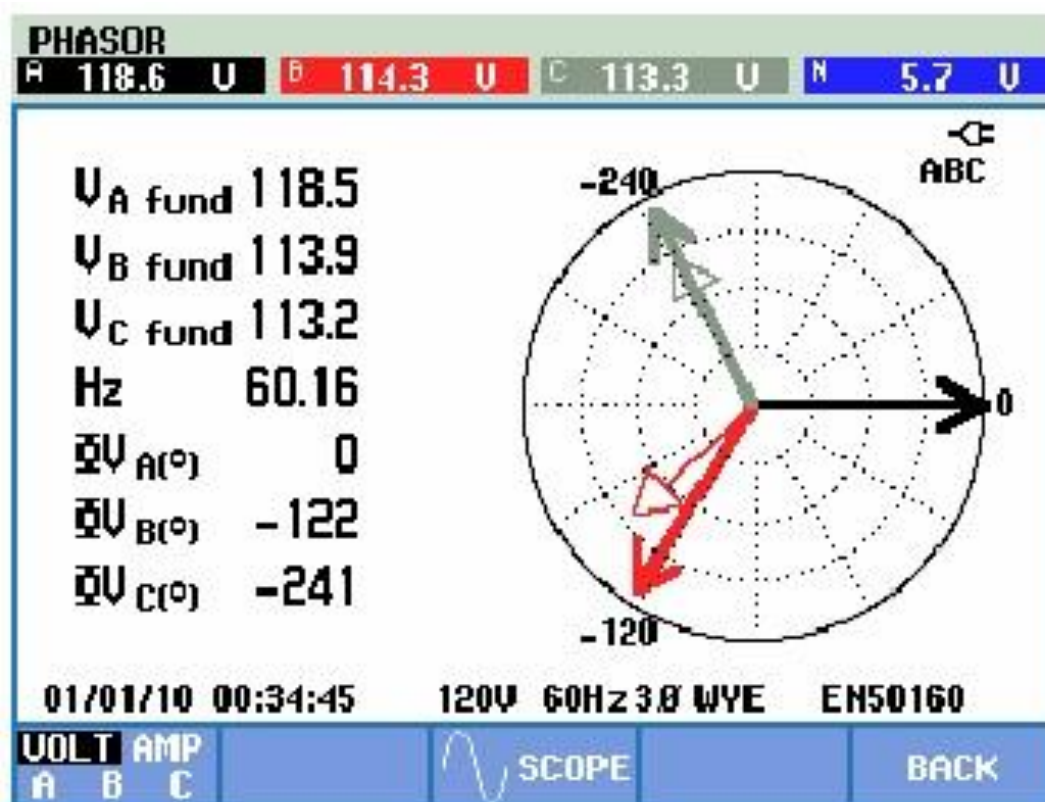
Analysointia varten Fluke 435 mittaa kaikkien 3-vaiheen ja nollajohtimen virtoja sekä 3- vaiheen, nollajohtimen ja suojamaan jännitteitä. Kuvasta 6 selviää analysaattorin kytkentä ja kuvasta 7 kytkettäessä avustava vektorinäyttö.

Kyseinen vektorinäyttö on suureksi hyödyksi jos johtimia ei ole merkitty selvästi, kuten mittauksissa muutamissa muuntamoissa huomattiin.

Varustukseen kuului 5 kappaletta hauenleukaisia suojattuja mittajohtimia jännitteen mittaamista varten sekä 4 kappaletta i430Flex joustavia virtasilmuksia, jotka eivät soveltuneet mittauksiin, johtuen silmukoiden suuresta muuntosuhteesta



Kuva 6 Fluke 435 Mittauskytkentä [7, s.36].



Kuva 7 Fluke 435 vektorinäyttö [7, s.37].

Koska Fluke 435 ei voi tallentaa reaaliajassa suoraan tietokoneelle muuta kuin sillä hetkellä näytössä olevan mittauksen arvot, päädyttiin mittauksissa käyttämään mittalaitteen omaa muistia, josta tiedot siirrettiin kannettavaan tietokoneeseen analysointia varten.

Analysointiin voidaan käyttää joko FlukeView tai PowerLog ohjelmaa, joista päädyttiin käyttämään jälkimmäistä, sen huomattavasti monipuolisempien ominaisuuksien vuoksi.

Alun perin mittaukset oli tarkoitus suorittaa neljässä päivässä 4 – 9.4.2013, johtuen mittalaitteen tarpeesta koulun omassa käytössä. Keskusten suuresta määrästä (12 kpl), sekä virtakiskojen hankalasta sijoituksesta (kuva 8) johtuen virtamittaukset päätettiin tehdä virtamuuntajien jälkeen, eikä suoraan kiskoista, poikkeuksena keskus C10 jossa virtamuuntajiin kytkentä oli mahdotonta verkon ollessa jännitteellisenä, sekä keskus C7 jossa syöttö muuntajalta tuli kaapelilla.



Kuva 8 C13 pääkeskus. Kiskot muuntajalta kulkevat ylhäällä piilossa.

Kun mittauksia aloitettiin 4.4.2013 tuli heti ensimmäisessä muuntamossa selväksi ettei kyseisen Fluke 435 analysaattorin lenkkimallinen i430-Flex virtapihti

soveltunut niin pienten virtojen mittaamiseen koska pihdin muuntosuhde oli 85mV/1000A, mikä tekee 0,085mV/A.

Kolmen virtapihdin löytäminen olikin sitten hankalampaa, mutta lopulta löytyi 3 virtapihtiä, tosin kaikki erilaisia, 1 kpl Fluke 43 AC-pihti, 1kpl Fluke i3000s AC-pihti ja 1kpl Fluke i410 AC/DC-pihti. Kaikkien pihtien skaalaus oli kuitenkin säädettävissä arvoon 1mV/A, joten mittauksia aloitettiin näillä pihdeillä.

Tämän jälkeen ongelmaksi muodostui, ettei virran vaihekulmia tahtonut saada millään järkeväksi, koska virtamittareita tai niiden johtoja ei ollut mitenkään merkitty, oli lähes mahdoton tietää että virta ja jännite mitattiin samalta vaiheelta.

Oli taas tarkastusmittausten aika, joten sekä i430-Flex että Fluken muita pihtejä verrattiin toisiinsa paikassa jossa jännite ja virta oli mahdollista mitata samalta vaiheelta ja tässä huomattiin että i430-Flex ja tavallisen pihdin välillä tapahtuu 90°:n vaihesiirto. Tämä asia selvisi lopulta kun Fluke 435:n asetuksiin valittiin virtapihdin tyyppiä custom 1 mV/A.

Jatkomittauksia varten hankittiin vielä 2 kpl identtisiä 1mV/A virtapihtejä. Tarkoituksena oli näillä korvata sekä Fluke i3000s että i410 pihdit, koska i3000s oli todella suurikokoinen, ja i400 hieman epäluotettava offset säädön trimmerin lievän pätkimisen vuoksi.

Koemittauksissa huomattiin että nuo 2 kpl uusia pihtejä näyttävät tehokertoimen eri tavalla. Virhe oli jopa yli 10 %, verrattuna Fluke:n omiin pihteihin ja asia myös tarkastettiin vertaamalla kaikkia pihtejä alkuperäisiin i430-Flex virtasilmu-koihin. Tästä syystä mittaukset päätettiin suorittaa kuitenkin Fluke:n i3000s ja i410 pihdeillä.

Kaikkien ongelmien jälkeen mittaukset aloitettiin 8.4.2013 ja mittaukset suoritettiin 12.4.2013 mennessä.

Mittaustiedoiksi valittiin jännitteet, virrat, tehot, tehokertoimet, sekä 3., 5., ja 7. harmoninen yliaalto jokaiselta vaiheelta. Mittausjakson pituudeksi valittiin se mikä analysaattorin muistiin mahtui. Mitattavilla arvoilla mittausajaksi tuli 2 tun-



tia 10 minuuttia. Tämän todettiin riittävän, koska kuormitus on hyvin tasaista, silloin kun tuotanto on käynnissä kyseisessä yksikössä.

Tulosten analysoimiseen ja mittarilta tietokoneelle siirtämiseen käytettiin Fluke PowerLog ohjelmistoa. PowerLog ohjelmiston etuina FlukeView ohjelmaan verrattuna on että kaikki tieto saadaan siirrettyä kerralla analysaattorista yhteen tiedostoon johon voidaan lisätä erilaisia kommentteja ja muistiinpanoja mittauksesta. Kyseisellä ohjelmistolla voidaan myös laskea suoraan keskiarvoja tietyltä ajalta ja esittämään ne esimerkiksi pylväsdiagrammeina.

## **5.2 Mittausten tulokset**

Taulukkoon 1 on koottu loistehon osalta mittausten tulokset, sekä olemassa olevat kompensoinnit, kuten myös tarvittava lisäkompensoinnin määrä. Tarvittava lisäkompensointi on laskettu siten että loistehon kulutus olisi alle 10 % päätötehon kulutuksesta, eli tehokertoimen pitäisi olla vähintään 0,995. Kuten taulukosta 1 huomataan, lähes jokainen keskus vaatisi lisäkompensointia, tarpeen vaihdellessa 80-445 kvar.

Taulukko 1. Tehot.

Keskus	Pätöteho, kW	Loisteho, kvar	Tehokerroin	Olemassa oleva kompensointi, kvar	Tarvittava lisäkompensointi tehokertoimeen 0,995, kvar
C2	1100	360	0,95	515	250
C5	1050	500	0,90	180	395
C6	425	240	0,87	~120	198
C7	55	+10	0,90	-	-
C8	400	240	0,86	-	200
C9	480	490	0,70	-	445
C10	320	110	0,95	~150	80
C12	700	480	0,82	240	410
C13	750	480	0,84	210	405
C14	300	240	0,78	-	210
C15	710	495	0,82	150 (rikki)	425
A2	190	110	0,90	-	91
Yhteensä	6480	3735	0,87	1415	3109

Yliaaltojen osalta tilanne Honkalahden sahalla on odotetun kaltainen. Yliaaltoja on lähes jokaisessa muuntamossa, johtuen taajuusmuuttajista, joiden määrä on lisääntynyt ja tulee edelleen tulevaisuudessa lisääntymään.

Standardi SFS-EN 50160 määrittää yleisen jakeluverkon suurimmat sallitut ylijännitetasot. Kyseisessä standardissa annettuja raja-arvoja voidaan käyttää viitearvoina yliaaltojännitteiden ja virtojen suuruuksien tarkastelussa myös teollisuuslaitoksen omassa jakeluverkossa..

Kyseisen standardin suurimmat sallitut yliaaltojännitteet löytyvät taulukosta 2

Taulukko 2. Harmonisten yliaaltojännitteiden arvot liittymiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka standardin SFS-EN 50160 mukaan [4, s. 22].

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

Standardi SFS-EN 50160 ei aseta muuta kuin viitteelliset raja-arvot yliaaltovirroille, mutta niitä voidaan käyttää viitearvoina sähkönlaadun ja sen vaatimusten suhteen.

Taulukosta 3 selviävät SFS-EN 50160:n asettamat viitteelliset raja-arvot yliaaltovirroille.

Taulukko 3. SFS-EN 50160 viitteelliset raja-arvot yliaaltovirroille [4, s. 44].

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

Koska varsinaisen referenssivirran määrittely ei oikein tässä tapauksessa ollut mahdollista, on seuraavassa taulukossa 4 käytetty referenssivirtana 1,25 kertaa mittauksen aikana kulutettu pätöteho, pohjautuen seuraavaan määrittelymään.” Jos tilaustehoa ei ole määritetty, käytetään pätötehona tässä kaavassa esimerkiksi 1,25-kertaista laskutustehoa ( kW)”[4, s. 43].

Koska myöskään laskutustehoa ei ole määritetty tai käytettävissä, on mitattua pätötehon kulutusta käytetty referenssivirran laskemiseen.

Tulokset yliaaltomittauksista on esitetty taulukossa 4.

Taulukossa 4 on erikseen mainittu 5. yliaallon virrat koska ne ovat suurimmat. Kompensointia ja yliaaltosuodatusta mitoittaessa on suurimmat yliaaltovirrat otettava huomioon.

Taulukko 4. Yliaallot

Keskus	Jännitesärö %	Yliaaltojännite V	Virtasärö kuormitusvirrasta %	Virtasärö referenssi virrasta %	Yliaaltovirta A	Virta 5:s yliaalto A
C2	5	11,5	10	8	170	136
C5	8,4	19,3	16	12,8	240	210
C6	4,0	9,2	8,2	6,6	53,3	26
C7	5,2	11,9	55	44	46,8	37,4
C8	5,3	12,1	20	16	120	108
C9	3,5	8,1	6,5	5,2	52	25,6
C10	4,1	9,4	20	16	96	57,6
C12	2,9	6,7	6,5	5,2	67,6	20,3
C13	4,0	9,2	6,2	5	73,2	49,2
C14	3,0	6,9	8,0	6,4	48,0	24,0
C15	3,4	7,8	4,0	3,2	50	26,3
A2	3,7	8,5	27	21,6	77,2	56,3

Jännitteen osalta kaikki keskuksset täyttävät standardin määrittelemän raja-arvon, pois lukien saha 2:n keskus C5. Keskuksessa C5 yliaaltotilanne on melko huolestuttava, jännitteessäkin on säröä 8,4 % ja keskuksessa on yliaaltovirtoja 240A.

Kuitenkin jos tutkitaan yliaaltovirtoja, ei tilanne näytä enää niin hyvälle, vain keskuksset C6, C12, C9, C13, C14 ja C15 alittavat standardin yliaaltovirroille määrittelemät viitteelliset raja-arvot.

Varsinkin keskuksissa C7 ja A2 on prosentuaalisesti suuret määrät yliaaltovirtoja, mutta toisaalta kummankin keskuksen kuormitus on varsin pientä, joten tämä pitää jännitesärön ja yliaaltovirrat kohtuullisen matalina.

Keskuksessa C5 on taas puolestaan suuri kuormitus ja vaikka yliaaltovirtojen prosentuaalinen osuus ei ole yhtä suuri kuin keskuksissa C7 ja A2, ovat yliaaltovirrat todella suuret johtuen suuresta kuormituksesta, ja tämä aiheuttaa myös todella suuren särön jännitteeseen, joten keskuksen C5 kompensoinnissa on yliaaltoihin kiinnitettävä erityistä huomiota.

Myös toisen sahan keskuksen C12 mittauksiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota, johtuen todella pienestä määrästä 5. yliaaltoa, vain noin 2 %, sekä varsinkin vaiheen L3 suuresta 3. yliaallon määrästä, mittauksissa vaiheella L3 oli 3. yliaallon yliaaltovirtoja 22 %.

Keskuksen C12 3. yliaallon suuri virta johtunee siitä että keskuksessa on paljon valaisinlähtöjä, ovatko nämä sitten jostain syystä pääosin vaiheella L3, vai mistä tuo yhden vaiheen suuri määrä 3. yliaaltoa johtuu, asiaan olisi syytä hieman paneutua, jos mahdollista.

Yliaallot ovat symmetriselle 3-vaihe järjestelmälle tyypillisesti 6- ja 12-pulssisten tasasuuntaajien aiheuttamaa 5. ja 7. yliaaltoa, jolloin nollajohtimeen ei kehitä siinä määrin yliaaltovirtoja, kuin jos kyseisessä verkossa olisi paljon 3. yliaaltoa, ja sen virta summautuisi nollajohtimeen.

Oikeastaan yhdenkään muuntamon tilanne ei kuitenkaan ole vielä niin paha että erillistä yliaaltosuodatusta vaadittaisiin, osittain sen vuoksi että muuntamot ja 6,3 kV:n verkko ei ole kuormitettu maksimiin, eikä myöskään 0,4 kV:n verkko ole kuormitettavuuden ylärajalla, jolloin yliaaltovirtojen aiheuttamat jännitesäröt eivät nouse vielä hälyttävän suuriksi.

Yliaaltoja on kuitenkin sen verran, että lähes jokainen keskus vaatii kompensointiin estokelapariston, varmistamaan etteivät yliaallot pääse vahvistumaan, uuden kompensoinnin vuoksi.

Varsinkin sahan keskus C5 on yliaaltojen osalta huonolla tasolla, johtuen suurista taajuusmuuttajista.

### **5.3 6,3 kV:n kaapelien kuormitukset**

Työn suunnitelman mukaisesti tutkittiin myös Honkalahden sahan keskijänniteverkon kaapelien kuormituksia, ja kompensoinnin vaikutusta kaapelien kuormitukseen.

Honkalahden sahalla on tehty vuonna 2006 pääsyöttökaapelin uusinta ja samassa yhteydessä verkostolaskenta keskijänniteverkon kaapeloinnista. Työn ovat suorittaneet yhteistyössä Karelplan Oy ja KJM Engineering.

Kyseisen työn yhteydessä on selvitetty keskijänniteverkon kaapelityypit, pituudet ja maksimikuormitus olemassa olevalla asennustavalla. Koska keskijännite-

verkkoa ei päästy mittaamaan, on kuormitukset laskettu oheiseen taulukkoon redusoimalla ne pienjännitepuolen mittauksista.

Taulukko 5. Kaapelien kuormitukset 6,3 kV:n jännitetasolla

Keskus	Kaapelityyppi	Pituus metriä	Suurin sallittu kuormitus A	Kuormitus nyt A	Kuormitus jos kompensointi 0,4 kV:n tasolla A
A2	HMCMK 3*70	200	260	19,2	17,5
C2	AHXCMKM 3*185	215	290	104,4	101,3
C5	APYAKMM 3*185	110	290	103,0	96,7
C6	PLKVJ 3*50	70	175	43,0	39,1
C7	PLKVJ 3*25	535	120	5,2	5,1
C8 Tarkasta!!	PLKVJ 3*50	330	175	41,0	36,8
C9	APYAKMM 3*185	400	290	56,1	44,2
C10	PLKVJ 3*50	180	175	30,7	29,4
C12	PLKVJ 3*95	125	260	76,3	64,5
C13	AHMCMK 3*150	175	255	79,2	69,0
C14	APYAKMM 3*120	215	225	34,6	27,6
C15	APYAKMM 3*70	345	170	78,5	65,4



Kuten taulukosta 5 havaitaan, ei 6,3 kV:n jakelukaapeleiden kuormitus ole läheläkään suurinta sallittua millään muuntamalla, pahimmillaankin kuormitus on alle 50 % suurimmasta sallitusta, joten kaapelien kuormitettavuus ei muodostune ongelmaksi tulevaisuudessa. Kaapelien kuormitettavuus ei myöskään estä kompensoinnin toteuttamista keskijännitetasolla, vaikkakin tällöin häviöt eivät pienene 6,3 kV:n jakeluverkossa tai muuntajissa.

Kokonaisuudessaan virrat ovat kuitenkin melko pienet, eikä niihin tietävästi pitäisi olla tulossa suuria muutoksia tulevaisuudessa, joten kompensointien toteuttaminen 0,4 kV:n tasossa ei pelkästään keskijänniteverkon kuormitusten pienentämisen takia ole mielestäni järkevää.

## **6 Uuden kompensoinnin suunnittelu**

### **6.1 Kompensoinnin tarve**

Kuten jo mittauksia aloittaessa oli tiedossa, on Honkalahden sahalla lisäkompensoinnin tarve ilmeinen. Loistehoa saha kuluttaa nykyisellään noin 3,7 Mvar, joka on noin 50 % sahan pätötehon kulutuksesta, tehokertoimen ollessa noin 0,9.

Kun sähköyhtiöt pyrkivät nykyisellä hinnoittelulla ohjaamaan kompensoinnin asiakkaalle, on Honkalahden sahallakin kiinnitettävä asiaan huomiota. Olennaiseksi asian tekee vuonna 2010 sattunut generaattorin ja turbiinin rikkoutuminen ja sen myötä suureksi noussut loistehon kulutus.

Tällä hetkellä loistehon kompensointi Honkalahden sahalla hoidetaan yhteistyössä Imatran Kaukopään tehtaan kanssa, joten maksua kulutetusta loistehosta ei tule. Tulevaisuudessa tilanne saattaa kuitenkin muuttua, ja Honkalahden kuluttama loisteho vaikuttaa osaltaan myös Kaukopään tehtaan sähköntuottoon.

Jos Honkalahden sahan loistehosopimus yhteisestä kompensoinnista Kaukopään tehtaan kanssa purkautuu, siirtyy saha verkkoyhtiön yleiseen malliin loistehon laskutuksen suhteen ja tällöin loistehomaksut määräytyvät alla olevan kaavan (kaava 9) mukaan, jos laskuissa käytetään taulukon 1 tehoja.

$$Q_s = W_{\text{Otto}} * 0,16 / t_k + 0,025 * W_{\text{Tuot}} / 5000. \quad (9)$$

missä

$W_{\text{Otto}}$  = liittymispisteen ottoenergia (MWh)

$W_{\text{Tuot}}$  = voimalaitoksen nettotuotanto (MWh) liittymispisteessä

- jos enintään 10 MVA generaattori =>  $W_{\text{Tuot}} = 0$

Huipun käyttöaika  $t_k = 6000$  h (muu teollisuus)

Loissähkön otto ( $Q > 0$ )

Jos  $P \leq Q_s / 0,16$  ja  $Q > Q_s$  niin loistehomaksu on  $(Q - Q_s) * 3\,000 \text{ €} / \text{Mvar}$

Jos  $P > Q_s / 0,16$  ja  $Q/P > 0,16$  niin loistehomaksu on  $(Q - 0,16 * P) * 3\,000 \text{ €} / \text{Mvar}$

Loistehomaksu määräytyy kuukauden suurimman ylityksen mukaan.

Loisenergiamaksu on loissähköikkunan ylittävällä alueella laskutuskauden aikana toimitettu loisenergia

$\text{Mvarh} * 10 \text{ €} / \text{Mvarh}$ .

jolloin loistehon maksettavaksi määräksi tulisi arvioidulla 37000 MWh vuosikuluksella:

Suurin sallittu loistehon otto.

$$Q_s = W_{\text{Otto}} \cdot 0,16 / t_k + 0,025 \cdot W_{\text{Tuo}}$$

$$37000 \text{ MWh} \cdot 0,16 / 6000 = 989 \text{ kvar}$$

Maksimi loistehon otto olisi siis 989 kvar ja jos sahan maksimi loistehon kulutus on noin 3,7 Mvar, määräytyisi loistehomaksu seuraavasti.

Jos  $P \leq Q_s / 0,16$  ja  $Q > Q_s$  niin loistehomaksu on  $(Q - Q_s) \cdot 3\,000 \text{ €} / \text{Mvar}$

$(3,7 \text{ Mvar} - 0,989 \text{ Mvar}) \cdot 3000 \text{ €} / \text{Mvar} = 6933 \text{ €} / \text{kk}$  ja vuoteen tuosta kertyisi noin 83000€, joten kompensoinnin uusiminen ja lisääminen maksaisi itsensä takaisin hyvinkin nopeasti tuossa tilanteessa.

## 6.2 Uuden kompensoinnin suunnittelu ja vaihtoehdot

Apuna uusien kompensointien suunnittelussa oli Alstom OY, yhteistyössä heidän kanssaan tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja uuden kompensoinnin toteuttamiseen.

Sahan käyntiaste asettaa jo omat vaatimuksensa kompensoinnille, kun suurin osa toiminnoista on seisokissa öisin ja viikonloppuisin, niin kompensointi on välttämätöntä toteuttaa automaattisilla yksiköillä jotta välttyttäisiin ylikompensoinnilta silloin, kun laitteet eivät käy. Myös täyden tuotannon aikana loistehon kulutus vaihtelee, riippuen mm. tuotannossa olevan puun paksuudesta, laadusta ja lopputuotteen laadusta.

Sahan sähköverkon yliaallot aiheuttavat myös omat haasteensa kompensoinnin suunnitteluun. Sahan sähköverkossa on kuitenkin yliaaltoja niin paljon, että kompensointi on suoritettava automaattisilla estokelaparistoilla. Täten varmistetaan, etteivät kompensointiparistot joudu resonanssiin. Resonanssitilanteessa yliaaltovirrat voisivat kasvaa jopa 20 kertaisiksi ja rikkoa kompensointiparistot.

Erilaisina ratkaisuinä tutkittiin seuraavat vaihtoehdot:

- Kompensointi yhdellä suurella automaattisella estokelaparis-tolla 6,3 kV:n jännitetasossa.
- Kompensointi muuntamokohtaisesti uusilla automaattisilla estokelaparis-toilla 0,4 kV:n jännitetasossa.
- Kompensointi muuntamokohtaisesti hyödyntäen mahdollisimman paljon jo olemassa olevia kompensointeja 0,4 kV:n jännitetasossa.

### **6.2.1 Kompensointi 6,3 kV:n tasossa**

Jos kompensointi suoritettaisiin yhdellä suurella automaattisella estokelaparis-tolla, on etuina kompensoinnin sijainti yhdessä paikassa, ja tällöin on helpompi huolehtia että olosuhteet kompensointiparistolle ovat myös mahdollisimman hyvät.

Toisaalta suuri yksikkö vaatii suuren tilan, ja suuri jännite suojaetäisyydet. Aina-kaan 6,3 kV:n kytkinlaitoksessa ei tuolle kompensointiparistolle ole tilaa, joten sijoitusvaihtoehdoiksi jäänee entisen turbiini- ja generaattoriyksikön paikka, jon-ne olisi kaapelointikin valmiina, tai voimalaitoksen alakerran keskus, jossa sijait-see tehomittaus.

Haittoina ovat ensinnäkin se että toteutus 6,3 kV:n tasossa on selkeästi kalliim-pi, johtuen 6,3 kV:n kytkimien suuresta hinnasta, koko sahan kompensointi olisi yhden yksikön varassa, jolloin vikatilanteessa koko kompensointi olisi pois käy-töstä.

Jos kompensointi suoritetaan keskijännitepuolella, joudutaan loisteho kuljetta-maan keskijännitekaapelin ja 6,3/0,4 kV muuntajien läpi, joka aiheuttaa pätöte-ho häviötä muuntajissa ja kaapeleissa, sekä kuormitettavuuden huononemista. Mutta kuten jo aiemmin on todettu, kuormitettavuus ei ole lähelläkään maksimia muuntajien tai keskijännitekaapelien osalta.

Jos kompensointi suoritettaisiin keskijännitetasossa, vaatisi se lähes pakosti tuon 6,3 kV:n verkon mittaamisen loistehojen ja yliaaltojen suhteen. Jos mittaus olisi ollut mahdollinen sahaa pysäyttämättä, olisi se toteutettu, mutta järkevää keinoa tuohon ei löytynyt.

Myös huolto ja luotettavuus ovat vaativampia, varsinkin kun huoltoa ja korjausta varten on kaikki kompensointi kytkettävä irti verkosta, jolloin loistehon kulutus kasvaa todella suureksi.

### **6.2.2 Kompensointi muuntamokohtaisesti automaattiparistoilla.**

Muuntamokohtaisen kompensoinnin selkeinä etuina on, ettei koko kompensointi olisi yhden yksikön varassa, jolloin vika ja huoltotilanteissa loistehon kulutus ei kasvaisi läheskään niin suureksi. Myös kustannuksia ajatellen kompensointi pienjännitetasossa olisi edullisempi ratkaisu.

Muuntamokohtaisen kompensoinnin etuna on myös se, ettei loistehoa tarvitsisi siirtää keskijännitekaapelien ja 6,3/0,4 kV muuntajien lävitse, jolloin kuormitettavuus säilyy parempana ja pätötehohäviöitä syntyisi vähemmän.

Haittoina keskuskohtaisessa kompensoinnissa on yksiköiden leviäminen pitkin kenttää, joten kunnossapito ja kunnan tarkkailu vaikeutuvat, lisäksi haasteena on joidenkin muuntamojen ahtaus kompensointiyksikön sijoituksen suhteen. Myös asennuskustannukset ovat yleensä suuremmat, johtuen yksiköiden suuremmasta määrästä. Toisaalta asennuksessa etuna on se, ettei koko sahalta tarvitse kytkeä jännitteitä pois asennuksen ajaksi.

### **6.2.3 Vanhojen kompensointien hyödyntäminen.**

Olemassa olevien kompensointien hyödyntäminen on hankalaa ja todennäköisesti myös taloudellisesti kannattamatonta. Vanhojen paristojen hyödyntämises-

tä on oikeastaan aika hankala löytää positiivisia puolia, vaikkakin kustannukset saattaisivat olla pienemmät. Toteutuksen hankaluus ja vanhojen kompensointiparistojen vaikutus luotettavuuteen ja huollontarpeeseen mielestäni ovat suurempi negatiivinen asia kuin pieni kustannussäästö. Ottamalla lisäksi huomioon resonanssivaaran uusien estokelaparistojen kanssa, on vanhojen paristojen hyödyntäminen myös melkoinen riski.

### 6.3 Uudet kompensointilaitteet

Uusien kompensointilaitteiden osalta yhteydenotto ja tarjouspyynnöt jätettiin sekä ABB Oy:lle että Alstom Grid Oy:lle. Näistä vain Alstom vastasi tarpeita tyydyttävällä tavalla, joten uusien kompensointilaitteiden suunnittelua jatkettiin Alstomin laitteiden pohjalta.

Lopullisen valinnan uusista kompensointilaitteista ja niiden toimittajasta tekee kuitenkin Stora Enso, joten tässä on esitelty vain yksi mahdollinen vaihtoehto uusista kompensointilaitteista ja niiden kustannuksista.

Alstomin valikoimasta löytyy kompensointilaitteita moniin tarpeisiin, ja tässä tapauksessa valinta kohdistui D-sarjan vakiotyyppisiin estokelaparistoihin, jonka ominaisuuksista Alstomin opas kertoo näin:

”D-sarjan paristot on tarkoitettu suuritehoisten keskusten loistehon kompensointiin. Vakio porraskoot: 3.13, 6.25, 12.5, 25, 37.5, 50 ja 75 kvar. Paristo on varustettu oven alapuolella olevalla ilmansuodatinkasetilla, joka vaihdettavissa ovea avaamatta. Muita ominaisuuksia; loistehonsäädin pariston ovesa, kaapeliliityntä joko ylhäältä tai alhaalta, paristossa tila kytkinvarokkeelle.”[8, s10].

D-sarjan estokelaparistot soveltuvat tehoiltaan suoraan 6:n keskukseen, keskukset C2, C5, C9, C12, C13 ja C15 vaativat joko tehokkaampaa ratkaisua, tai kahden yksikön asentamista. Tehokkaamman ratkaisun kohdalla ongelmaksi

tulee sulakelähtöjen riittävyys, jo 375 kvar:n kompensointikaappi vaatii 800 A:n sulakelähdön.

Taulukkoon 6 on koottu keskuskusten suunnitellut uudet kompensoinnit, käyttäen Alstomin D-sarjan vakiotyyppisiä estokelaparistoja.

Taulukko 6. Keskusten kompensointi yksiköt.

Keskus	Päte- ho, kW	Loisteho + olemassa oleva kom- pensointi, kvar	Teho- kerroin	Tarvittava kom- pensointi teho- kertoimeen 0,995, kvar	Suunniteltu uusi kompensointi- laitteisto	Kaapin leveys, mm
C2	1100	360 + 515	0,95	765	2*D400/2x25+50+4x75 tai 2*D412/37+5x75	2*1200 2*1200
C5	1050	500 + 180	0,90	680	2*D350/25+2*50+3x75	2*1200
C6	425	240 + 120	0,87	317	D325/2x25+50+3x75 tai D350/25+2x50+3x75	1000 1200
C7	55	+10	0,90	-	-	-
C8	400	240 + 0	0,86	200	D225/25+50+2x75 tai D250/2x25+50+2x75	800 800
C9	480	490 + 0	0,70	445	2* D225/25+50+2x75 tai 2*D250/2x25+50+2x75	2 * 800 2 * 800

C10	320	110 + 150	0,95	230	D250/2x25+50+ 2x75	800
C12	700	480 + 240	0,82	650	2*D325/2x25+5 0+3x75 tai 2*D350/25+2x5 0+3x75	2*1000 2*1200
C13	750	480 + 210	0,84	615	2*D325/2x25+5 0+3x75 tai 2*D337/37+4x7 5-400	2*1000 2*1000
C14	300	240	0,78	210	D225/25+50+2x 75 tai D237/12+25+4x 50	800 1000
C15	710	495 + 0	0,82	425	2* D225/25+50+2x 75 tai 2*D250/2x25+5 0+2x75	2*800 2*800
A2	190	110 + 0	0,90	91	D93/6+12+25+ 50	800



Myös uusien kompensointien vaatimat liitännät keskuksissa on otettava huomioon. Taulukkoon 7 on koottu nousukaavioiden mukaan vapaana olevat lähdöt keskuksittain, ja ahdasta tulee lähtöjenkin suhteen.

Taulukko 7. Vapaat lähdöt.

Keskus	Vapaita lähtöjä 250 A	Vapaita lähtöjä 400 A	Vapaita lähtöjä 630 A
C2	-	3	1
C5	3	6	1
C6	1 (200 A)	-	-
C8	3 (200 A)	1	-
C9	3 + 2 (125 A)	-	-
C10	-	1 (500/400 A vanha kompensointi)	-
C12	1	1 + 1 (vanha kompensointi)	1 (600/400 A vanha kompensointi)
C13	4 (200 A)	1	2
C14	1	1 + 1 (vanha kompensointi)	-
C15	0	1 (315/400 A vanha kompensointi)	1 (400/630 A)
A2	1	1 (315/400 A vanha kompensointi)	-

Vakiotyyppisten kompensointien kanssa olisivat sulakelähdöt tuottaneet erittäin suuria ongelmia. Tarjouksessaan Alstom päätyi siihen että joitakin kompensointikaappeja muokattiin sopimaan paremmin nykyisille vapaille sulakelähdöille. Taulukkoon 8 on koottu Alstomin tarjoamat uudet kompensointikaapit sekä niiden vaatimat sulakelähdöt, tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1.

Tarjouksessa on kuitenkin muutama kohta joihin on syytä kiinnittää huomioita, ensinnäkin keskuksen C6 on jostain syystä tullut ylikompensointia 50 %. Keskuksen C6 riittää pelkästään D325/2x25+50+3x75 kaappi, myös keskuksessa C15 on 100 kvar liikaa kompensointia.. Keskuksessa A2 kompensointia on 15 kvar liian vähän, sekä keskuksessa C5 60 kvar liian vähän. Koska tarjouksessa on epätarkkuuksia, ei summakaan ole täysin oikea.

Taulukko 8. Uudet kompensoinnit

Keskus	Tyyppi	Teho kvar	Nimellisvirta A	Sulake A	Leveys mm
C2	Master	375	380 + 253	400 + 315	1200
C2	Slave	450	380+380	400+400	1200
C5	Master	325	549	630	1000
C5	Slave	300	507	630	800
C6	Master	350	591	630	1200
C6	Slave	300	507	630	1000
C8	Master	250	422	500	800

C9	Master	225	380	400	800
C9	Slave	225	380	400	600
C10	Master	250	422	500	800
C12	Master	300	507	630	1000
C12	Slave	375	380 + 253	400+335	1000
C13	Master	350	591	630	1200
C13	Slave	300	507	630	800
C14	Master	225	380	400	800
C15	Master	300	507	630	1000
C15	Slave	225	380	400	600
A2	Master	75	127	160	600

Kuten taulukkoja 7 ja 8 vertaamalla huomaa, ei tarjous kuitenkaan suoraan sovi nykyisille sulakelähdöille, vaan kaappien kiskostoja pitää vielä jakaa useammille sulakelähdöille. Tämä on kuitenkin järkevintä tehdä asennuksen yhteydessä, koska samalla voidaan miettiä myös uusien lähtöjen asentamisen tarpeellisuutta. Keskus C6 on erityisen ongelmallinen.

Keskuksessa C6 ei ole vapaana kuin yksi 200 A:n sulakelähtö, ja kompensointilaitteisto tarvitsisi 630 A:n lähdön. Keskukseen on kyllä kytketty noin 120 kvar:n kompensointiparistot, mutta nousukaaviosta ei käy ilmi missä lähdössä paristot ovat.

Alstomin tarjouksessa uusien kompensointilaitteiden kustannuksiksi tulee noin 65000 €. Tarjouksen kokonaissummasta ja lasketusta loistehomaksusta voidaan päätellä että uudet kompensoinnit maksavat laitekustannuksensa takaisin alle vuodessa.

## 7 Pohdinta

Jo projektia aloittaessa tiedossa oli että kompensoinnin uusimisen tarve on ilmeinen ja tarkoitus oli kartoittaa vaihtoehtoja kompensoinnin kuntoon saattamiseksi.

Alkujaan suunnitelmiin kuului tarkastaa olemassa olevien kompensointiparistojen kunto ja mahdollisuus hyödyntää niitä. Projektin edetessä vanhat kompensoinnit osoittautuivat huonokuntoisiksi ja osittain todella vanhoiksi, joten niiden hyödyntäminen ei mielestäni ole edes taloudellisesti kovinkaan järkevää.

Koska voimalaitoksen turbiinin ja generaattorin rikkoutumisesta johtuen loistehon otto on kasvanut todella mittaviin lukemiin, ei entisten kompensointien hyödyntämisellä pystyttäisi kattamaan kuin noin 25 % loistehontarpeesta. Tähänkin pääseminen vaatisi korjauksia, tarkastusmittauksia ja muutoksia kytkentöihin, koska entiset kompensoinnit ovat pääasiassa kiinteitä, eivätkä täten pysty muuttamaan sahan melkoisen muuttuvaan loistehon kulutukseen.

Lopullinen päätös kompensointien korjauksesta, tai uusimisesta kuuluu tietenkin Stora Ensolle, ja nykyisen vaikean taloustilanteen huomioon ottaen suurien investointien tekeminen on vaikeaa.

Jos Honkalahden sahan sähkö sopimus muuttuu siten että saha joutuu kompensoimaan itse oman loistehonsa ja maksamaan loistehomaksua, muuttuu tilanne nopeasti siihen että uudet kompensoinnit maksavat itsensä takaisin nopeasti.

Lisäksi uusien kompensointien toteutustapa olisi automaattinen kompensointi estokelapariistoilla, jolloin myös sähköverkkoa rasittavia ja häiriöitä aiheuttavia yliaaltoja saataisiin vähennettyä ja täten sähkön laatu paranisi ja erilaiset sähkönlaadusta aiheutuvat häiriö ja niiden riski pienenesi.

Projektissa oli tarkoituksena myös tarkastella Honkalahden sahan keskijänniteverkon kuormitustilanne ja kaapelien riittävyys nykyisellä kuormituksella. Tässä oli suurena apuna Karelplanin vuonna 2006 tekemä suunnitelma pääsyöttökaapelin uusimiseksi, jossa yhteydessä myös sahan keskijänniteverkon kaapelit oli luetteloitu.

Tästä luettelosta kävi ilmi sekä kaapelien tyypit, pituudet ja suurimmat kuormitettavuudet, joten tehtäväksi jäi vain nykyisen kuormituksen redusointi keskijännitepuolelle ja suhteellisen kuormituksen laskeminen laitoksen nykyisillä tehoilla.

Henkilökohtaisesti projekti oli äärimmäisen opettavainen ja haastava, johtuen projektin laajuudesta ja siitä että lähes kaikki oli käytännössä uutta asiaa, teoria- tasolla osittain kyllä läpikäytyä, mutta nyt tuo teoria piti soveltaa käytäntöön ja oppia ymmärtämään asioita myös käytännön tasolla.

Koska projekti oli laaja, mittausten suunnittelusta uuden kompensoinnin suunnitteluun tarjouspyyntöineen, oli kokonaisuuden hallinta haastavaa ja paikoin jopa vaikeaa, varsinkin kun myös taloudellinen näkökohta piti yrittää huomioida.

Taloudellista näkökohtaa ja vanhojen kompensointipariistojen käyttöä miettiessä oman haastavuutensa toi myös se, ettei vanhojen pariistojen jäljellä olevaa käyttöikää voinut kuin arvailla. Toisaalta suuri osa pariistoista oli niin vanhoja, että se osaltaan helpotti arviointia niiden käytön järkevyydestä tulevaisuuteen tähtäävässä suunnittelussa.

Myös valinta siitä toteutetaanko kompensointi 6,3 kV:n vai 0,4 kV:n verkossa aiheutti paljon miettimistä, kunnes 0,4 kV:n tasossa toteutettu ratkaisu osoittautui taloudellisesti huomattavasti paremmaksi vaihtoehdoksi.

Kuten yleensä, täydellistä lopputulosta ei savuteta, myös tässä projektissa tehtävää jäi myös tulevaisuuteen. Keskijänniteverkon sähkönlaadun mittaus olisi yksi niistä, sitä ei pystytty tekemään, johtuen laitteiden rajoituksista ja siitä ettei verkkoa olisi ollut missään vaiheessa mahdollisuutta saattaa jännitteettömäksi mittalaitteiden kytkemistä varten.

Toinen tulevaisuudessa toteutettava projekti voisi olla pienjänniteverkon uusi analysointi, kunhan uudet kompensoinnit ovat asennettu ja säädetty. Myös tuo mittausten yhteydessä mainittu keskuksen C12 tilanne 3. yliaallon osalta voisi olla syytä tutkia tarkemmin, ja miettiä voisiko sitä jotenkin parantaa.

## Lähteet

1. Anttonen J. Teollisuuslaitoksen loistehon ja yliaaltojen kartoitus. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö 1999.
2. Reactive power. [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com) Power in resistive and reactive AC circuits 2014.  
[Viitattu 20.11.2014] Saatavissa:  
[http://www.allaboutcircuits.com/vol\\_2/chpt\\_11/1.html](http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_11/1.html)
3. Bright hub engineering. Real and Reactive Power Phasors 2011.  
[Viitattu 21.11.2014] Saatavissa:  
<http://www.brighthubengineering.com/commercial-electrical-applications/75330-real-and-reactive-power-phasors/>
4. Prysmian Group Voimakaapelit 1kV Prysmian 2013  
[Viitattu 12.5.2014] Saatavissa  
[http://fi.prysmiangroup.com/en/business\\_markets/markets/pd/downloads/datasheets/AXCCMK-HF.pdf](http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/downloads/datasheets/AXCCMK-HF.pdf)
5. Männistö, Matti & Hietalahti, Lauri Yliaallot ja kompensointi Espoo. 2006. ISBN 952-5600-19-X
6. ABB Tekninen opas nro 6: Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. ABB 2001  
[Viitattu 12.4.2014] Saatavissa:  
[www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/.../tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/.../tekninen_opas_nro_6.pdf)
7. Fluke Corporation. Fluke 435 käyttöohje 2012.  
[Viitattu 21.11.2014] Saatavissa:  
[http://assets.fluke.com/manuals/F430-II\\_umfin0100.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/F430-II_umfin0100.pdf)
8. Alstom Pienjännitetuotteiden tuoteopas.  
[Viitattu 14.11.2014] Saatavissa:  
<http://www.alstom.com/Global/Finland/Resources/Documents/Pienjännitetuotteiden%20tuoteopas.pdf>

<b>Vastaanottaja:</b>	<b>Mika Silvennoinen</b>	<b>Pvm</b>	<b>19.11.2014</b>
Yritys :			
Puh. :	<b>050 3276669</b>		
E-Mail :	<a href="mailto:mika.silvennoinen@edu.karelia.fi">mika.silvennoinen@edu.karelia.fi</a>		
<b>Lähetäjä :</b>	<b>Markku Hynnä</b>		
Puh. :	03 3883 11	Tarjousnumero:	<b>MHy14640</b>
Gsm :	0400 626354	Lähetetty:	email 19.11.2014
Fax :	03 3883 302		
E-Mail :	markku.hynna@alstom.com	Kohde:	Stora Enso Saha Joutseno

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoamme Teille kompensointilaitteitamme seuraavasti:

<b>Pos1.</b>	<b>KESKUS C2</b>	
	<b>Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaaajuus 189Hz</b>	<b>1kpl</b>
	<b>Kompensointiteho: 825kvar 400V 50Hz</b>	
	<b>Säätöportaat: 25+50+10x75kvar</b>	
	<b>Osaparistot:</b>	
	Tyyppi: D375/25+50+4x75-400-50/189-1218E	Master
	Teho: 375kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 25+50+4x75kvar	
	Kiskosto jaetaan: 225+150kvar	
	Viritystaaajuus: 189 Hz	
	Nimellisvirta: 380+253A	
	Sulake: 400+315A	
	Kaapelisuositus: 1kpl3x185+95mm ja 1kpl 3x120+70mm, Cu	
	Kaapin koko: 1200x600x2000 mm (lev*syv*kork)	
	Kotelointiluokka: IP20C	
	Massa: 525kg	
	Säädin: NC-12	
	Tyyppi: D450/6x75-400-50/189-1218E	Slave
	Teho: 450kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 6x75kvar	
	Kiskosto jaettu: 225+225kvar	
	Viritystaaajuus: 189 Hz	
	Nimellisvirta: 380+380A	
	Sulake: 400+400A	
	Kaapelisuositus: 2kpl 3x185+95mm, Cu	
	Kaapin koko: 1200x600x1800 mm (lev*syv*kork)	
	Kotelointiluokka: IP20C	
	Massa: 560kg	

**Hinta:**

<b>Pos2.</b>	<b>KESKUS C5</b>	
	<b>Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaaajuus 189Hz</b>	<b>1kpl</b>
	<b>Kompensointiteho: 625kvar 400V 50Hz</b>	
	<b>Säätöportaat: 25+50+7x75kvar</b>	
	<b>Osaparistot:</b>	
	Tyyppi: D325/2x25+50+3x75-400-50/189-1018E	Master
	Teho: 325kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 2x25+50+3x75kvar	
	Viritystaaajuus: 189 Hz	
	Nimellisvirta: 549A	
	Sulake: 630A	
	Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu	
	Kaapin koko: 1000x600x2000 mm (lev*syv*kork)	

**Alstom Grid Oy**

PL 4  
33331 TAMPERE

Kaapelikatu 3  
33330 TAMPERE

Puh  
03-3883 11

Fax  
03-3883 360

Y-tunnus  
1558237-3

Rek. No.  
769.696



Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 440kg  
 Säädin: NC-12  
 Tyyppi: D300/4x75-400-50/189-0818E Slave  
 Teho: 300kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 4x75kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 507A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 800x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 385kg

**Hinta:**

**Pos3. KESKUS C6**  
**Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz** 1kpl  
**Kompensointiteho: 650kvar 400V 50Hz**  
**Säätöportaat: 25+2x50+7x75kvar**  
**Osaparistot:**  
 Tyyppi: D350/25+2x50+3x75-400-50/189-1218E Master  
 Teho: 350kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 25+2x50+3x75kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 591A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 1200x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 480kg  
 Säädin: NC-12  
 Tyyppi: D300/4x75-400-50/189-0818E Slave  
 Teho: 300kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 4x75kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 507A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 1000x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 385kg

**Hinta:**

**Pos4. KESKUS C8**  
**Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz** 1kpl  
 Tyyppi: D250/2x25+50+2x75-400-50/189-0818E  
 Teho: 250kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 2x25+50+2x75kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 422A  
 Sulake: 500A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x120+70mm), Cu  
 Kaapin koko: 800x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 350kg

**Alstom Grid Oy**

PL 4  
33331 TAMPERE

Kaapelikatu 3  
33330 TAMPERE

Puh  
03-3883 11

Fax  
03-3883 360

Y-tunnus  
1558237-3

Rek. No.  
769.696

Säädin: NC-12

Hinta:

<b>Pos5.</b>	<b>KESKUS C9</b>	
	<b>Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz</b>	<b>1kpl</b>
	<b>Kompensointiteho: 450kvar 400V 50Hz</b>	
	<b>Säätöportaat: 25+50+5x75kvar</b>	
	<b>Osaparistot:</b>	
	Tyyppi: D225/25+50+2x75-400-50/189-0818E	Master
	Teho: 225kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 25+50+2x75kvar	
	Viritystaajuus: 189 Hz	
	Nimellisvirta: 380A	
	Sulake: 400A	
	Kaapelisuositus: 2x(3x95+50mm), Cu	
	Kaapin koko: 800x600x1800 mm (lev*syv*kork)	
	Kotelointiluokka: IP20C	
	Massa: 330kg	
	Säädin: NC-12	
	Tyyppi: D225/3x75-400-50/189-0618E	Slave
	Teho: 225kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 3x75kvar	
	Viritystaajuus: 189 Hz	
	Nimellisvirta: 380A	
	Sulake: 400A	
	Kaapelisuositus: 2x(3x95+50mm), Cu	
	Kaapin koko: 600x600x1800 mm (lev*syv*kork)	
	Kotelointiluokka: IP20C	
	Massa: 300kg	

Hinta:

<b>Pos6.</b>	<b>KESKUS C10</b>	
	<b>Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz</b>	<b>1kpl</b>
	Tyyppi: D250/2x25+50+2x75-400-50/189-0818E	
	Teho: 250kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 2x25+50+2x75kvar	
	Viritystaajuus: 189 Hz	
	Nimellisvirta: 422A	
	Sulake: 500A	
	Kaapelisuositus: 2x(3x120+70mm), Cu	
	Kaapin koko: 800x600x1800 mm (lev*syv*kork)	
	Kotelointiluokka: IP20C	
	Massa: 390kg	
	Säädin: NC-12	

Hinta:

<b>Pos7.</b>	<b>KESKUS C12</b>	
	<b>Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz</b>	<b>1kpl</b>
	<b>Kompensointiteho: 675kvar 400V 50Hz</b>	
	<b>Säätöportaat: 25+50+8x75kvar</b>	
	<b>Osaparistot:</b>	
	Tyyppi: D300/25+50+3x75-400-50/189-1018E	Master
	Teho: 300kvar 400V 50Hz	
	Portaat: 25+50+3x75kvar	
	Viritystaajuus: 189 Hz	

Nimellisvirta: 507A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 1000x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 415kg  
 Säädin: NC-12  
 Tyyppi: D375/5x75-400-50/189-1018E Slave  
 Teho: 375kvar 400V 50Hz  
 Portaati: 5x75kvar  
 Kisko jaettu: 225+150kvar  
 Viritystaaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 633A  
 Sulake: 400+315A  
 Kaapelisuositus: 3x185+95mm ja 3x120+70mm, Cu  
 Kaapin koko: 1000x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 470kg

**Hinta:**

**Pos8. KESKUS C13**  
**Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaaajuus 189Hz** 1kpl  
**Kompensointiteho: 650kvar 400V 50Hz**  
**Säätöportaati: 25+2x50+7x75kvar**  
**Osaparistot:**  
 Tyyppi: D350/25+2x50+3x75-400-50/189-1218E Master  
 Teho: 350kvar 400V 50Hz  
 Portaati: 25+2x50+3x75kvar  
 Viritystaaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 591A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 1200x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 480kg  
 Säädin: NC-12  
 Tyyppi: D300/4x75-400-50/189-0818E Slave  
 Teho: 300kvar 400V 50Hz  
 Portaati: 4x75kvar  
 Viritystaaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 507A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 800x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 385kg

**Hinta:**

**Pos9. KESKUS C14**  
**Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaaajuus 189Hz** 1kpl  
 Tyyppi: D225/25+50+2x75-400-50/189-0818E  
 Teho: 225kvar 400V 50Hz  
 Portaati: 25+50+2x75kvar  
 Viritystaaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 380A

**Alstom Grid Oy**

PL 4  
33331 TAMPERE

Kaapelikatu 3  
33330 TAMPERE

Puh  
03-3883 11

Fax  
03-3883 360

Y-tunnus  
1558237-3

Rek. No.  
769.696

Sulake: 400A  
 Kaapelisuositus: 3x185+95mm, Cu  
 Kaapin koko: 800x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 335kg  
 Säädin: NC-12

**Hinta:**

**Pos10. KESKUS C15**  
**Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz** **1kpl**  
**Kompensointiteho: 525kvar 400V 50Hz**  
**Säätöportaat: 25+50+6x75kvar**  
**Osaparistot:**  
 Tyyppi: D300/25+50+3x75-400-50/189-1018E Master  
 Teho: 300kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 25+50+3x75kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 507A  
 Sulake: 630A  
 Kaapelisuositus: 2x(3x185+95mm), Cu  
 Kaapin koko: 1000x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 415kg  
 Säädin: NC-12  
 Tyyppi: D225/3x75-400-50/189-0618E Slave  
 Teho: 225kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 3x75kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 380A  
 Sulake: 400A  
 Kaapelisuositus: 3x185+95mm, Cu  
 Kaapin koko: 600x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 300kg

**Hinta:**

**Pos11. KESKUS A2**  
**Estokelaparisto Lattiamalli, viritystaajuus 189Hz** **1kpl**  
 Tyyppi: D75/12+25+37-400-50/189-0618E1  
 Teho: 75kvar 400V 50Hz  
 Portaat: 12,5+25+37,5kvar  
 Viritystaajuus: 189 Hz  
 Nimellisvirta: 127A  
 Sulake: 160A  
 Kaapelisuositus: 3x70+35mm, Cu  
 Kaapin koko: 600x600x1800 mm (lev\*syv\*kork)  
 Kotelointiluokka: IP20C  
 Massa: 195kg  
 Säädin: NC-12

**Hinta:**

Kaapelit ja pääsulakkeet ja virtamuuntajat eivät sisälly hintaan. Kaapelimitoitus asennustapa C mukaisesti. Asennustavan soveltuvuus tarkistettava kohteessa.

Paristot on valmistettu ja mitoitettu kondensaattorinormin IEC/EN 60831-1&2 ja paristonormin IEC/EN 61439 1&2 mukaan ja ne ovat FI hyväksytyjä sekä CE merkittyjä.

Toimitusehdot :

Hinnat:	netto alv 0%
Maksuehto:	30 pv netto
Toimitusehto:	CPT FIN 01
Toimitusaika:	4 Työviikkoa
Muut ehdot:	NL01
Takuu:	2 vuotta
Voimassaoloaika:	30.1.2015

**ALSTOM Grid OY**  
**Nokian Capacitors**  
Markkinointi  
Markku Hynnä

