

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Raimo Konsti

KOMPENSOINTIRATKAISUT GENERAATTORITUOTON  
KORVAAJAKSI

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2013



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Maaliskuu 2013**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)  
Raimo Konsti

Nimeke  
Kompensointiratkaisut generaattorituoton korvaajaksi

Toimeksiantaja  
UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää loistehon kompensointivaihtoehtoja generaattorituoton korvaajaksi UPM-Kymmene Wood Oy:n Joensuun vaneritehtaalle. Tavoitteena oli löytää kustannuksiltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan tarkoituksenmukaiset kompensointilaitteet sähköverkon eri kohteisiin. Generaattorin mahdollinen pidempiaikainen keskeytys aiheuttaisi huomattavat loistehomaksut, joilta vältytään työssä esitetyllä keinolla.

Kompensointiratkaisujen selvittämiseksi tehtiin teho- ja yliaaltoisuusmittauksia pääkeskuksista ja soveltuvin osin hyödynnettiin aiemmin vaneritehtaalle tehtyä opinnäytetyötä. Lähdeaineiston lisäksi toimeksiantajalta saadut sähkönkulutusraportit ohjasivat ratkaisuvaihtoehtoihin, jotka rajautuivat kompensointitarpeeseen, loistehokustannuksiin ja laitteistohankintoihin.

Työssä saatujen mittaustulosten ja teoreettisen tarkastelun tuloksena, kompensointia esitettiin keskijänniteverkkoon sekä eri ryhmäkeskuksien pienjännitteeseen. Näin tehden vältyttiin loistehomaksuilta laitteistohankintojen pysyessä kohtuullisena. Ratkaisuvaihtoehtoisissa on huomioitu tekniset ja taloudelliset näkökohdat.

Kieli  
suomi

Sivuja 40  
Liitteet 3  
Liitesivumäärä 11

Asiasanat  
loisteho, kompensointi, energiakustannukset, sähköverkot



**THESIS**  
**March 2013**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**

Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260-6800

Author  
Raimo Konsti

Title  
Compensation Solutions for Replacing Generator

Commissioned by  
UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas

Abstract

The purpose of this thesis was to analyze solutions for the compensation of reactive power in UPM-kymmene Wood Oy plywood factory in Joensuu. The target was to examine appropriate compensation appliances considering investigation costs and technical characteristics. Generator interruption raises the quantity of reactive power which increases the costs of reactive power transmission placed by the electricity distributor. With the solutions examined in this work those costs can be avoided.

To carry out the examination, power and harmonics from the main switchboards at the factory were measured with power analyzer. The measured data in an earlier thesis was also applied to this work. In addition to measured data, the final results were obtained with literature and reports of energy consumption supplied by the client. The solutions were limited to compensation level, costs of reactive power and appliances.

On the basis of the results of this study it can be concluded that reactive power is suggested to compensate in both medium and low voltage levels. By doing so reactive power costs can be avoided along with the manageable purchasing expenses.

Language  
Finnish

Pages 40  
Appendices 3  
Pages of Appendices 11

Keywords  
reactive power, compensation, energy costs, electrical power network

## Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas.....	6
3	Loisteho .....	8
3.1	Loistehon kulutuksen muodostuminen.....	9
3.2	Loistehon kehittäminen .....	9
3.3	Loistehon haittavaikutukset.....	10
4	Kompensointi .....	11
4.1	Alle 1000 V:n pienjänniteverkot .....	11
4.1.1	Laitekohtainen kompensointi.....	12
4.1.2	Ryhmäkompensointi .....	12
4.1.3	Keskitetty kompensointi .....	12
4.1.4	Keskitetty kompensointi yliaaltopitoisessa verkossa.....	13
4.2	Yli 1000 V:n suurjänniteverkot .....	13
5	Yliaallot .....	13
5.1	Yliaaltojen ominaisuudet.....	14
5.2	Yliaaltojen lähteet.....	15
5.3	Yliaaltojen vaikutuksia.....	15
5.4	Moottoreiden laakerivirrat.....	16
5.5	Yliaaltojen hallinta .....	17
6	Vaneritehtaan sähköjakelu.....	17
6.1	Verkon rakenne .....	18
6.2	Tehotasot .....	18
6.3	Muuntajat ja kompensointi.....	19
6.4	Loistehomaksut .....	20
7	Mittaukset .....	21
7.1	Mittalaitteisto.....	21
7.2	Keskuksien mittaukset.....	21
8	Tulokset .....	23
9	Vaneritehtaan sähköverkon tarkastelu.....	29
9.1	Tehotasapaino.....	29
9.2	Muuntajien loisteho .....	30
9.3	Kompensointi 6 kV:n tasossa .....	32
10	Ratkaisut .....	33
10.1	Kompensoinnin kulmakiviä .....	33
10.2	Kompensointi pääkeskuksissa .....	35
10.3	Kompensointi keskijänniteverkossa .....	36
10.4	Loistehomaksut poistava kompensointiaste .....	37
11	Pohdinta.....	38
	Lähteet.....	40
Liitteet		
Liite 1	Sähkötyölupa	
Liite 2	Sähkökulutuksen raportit	
Liite 3	Loistehokuvaajat	

## Lyhenteet

CAT	Measurements Category, mittausten turvallisuuteen liittyvä luokitusstandardi
EN	Eurooppalaisten standardisointielimien valmisteleva standardi
RMS	Tehollisarvo, neliöllinen keskiarvo
SFS	Suomen standardoimisliitto SFS ry, suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö
THD	Total Harmonic Distortion, harmoninen kokonaissärö
THD-F	Total Harmonic Distortion, harmoninen kokonaissärö suhteessa perustaajuiseen komponenttiin
THD-R	Total Harmonic Distortion, harmoninen kokonaissärö suhteessa tehollisarvoiseen komponenttiin
VR	VR-yhtymä Oy, suomalainen matkustus, logistiikka ja infrarakentamisen palvelukonserni

## 1 Johdanto

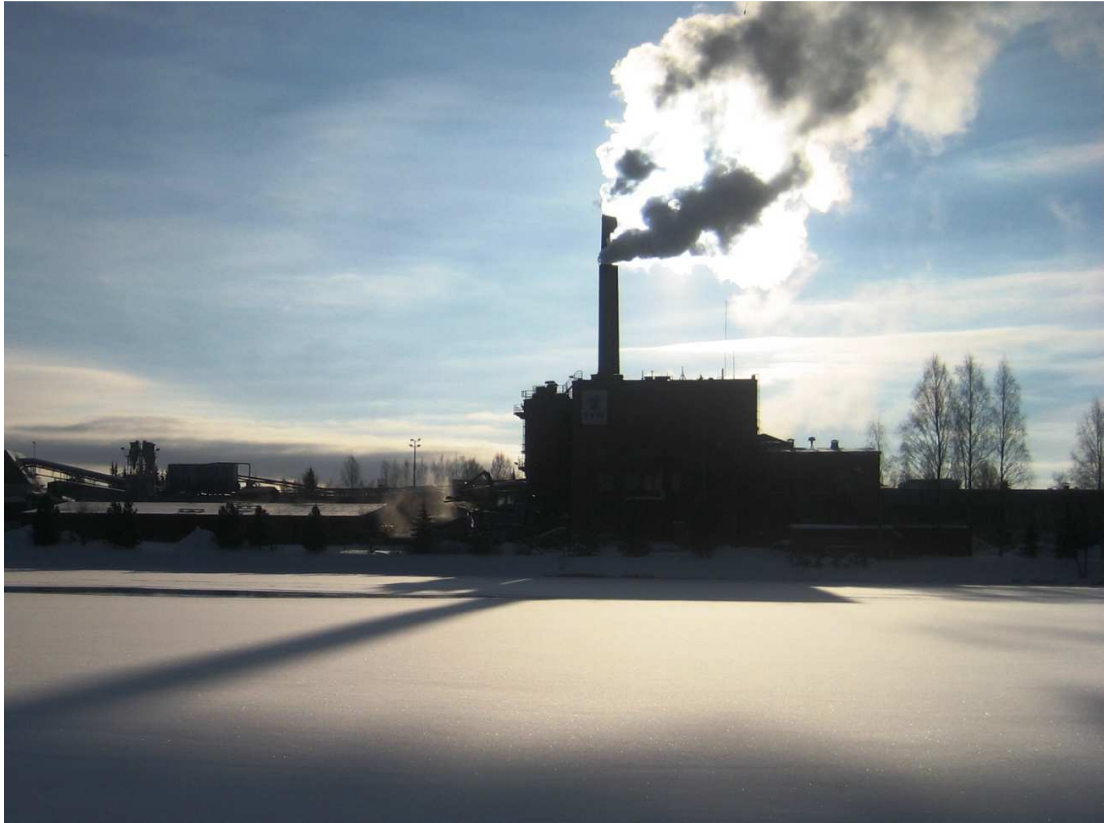
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää loistehon kompensointivaihtoehtoja tilanteeseen, jossa UPM-Kymmene Wood Oy:n Joensuun vaneritehtaalla ei ole omaa sähkökehitystä. Lähtökohtana toimeksiannossa toimi aiemmin vaneritehtaalle tehty Timo Huovisen opinnäytetyö [1]. Toimeksiannon ratkaisuvaihtoehdot rajautuivat kompensointitarpeeseen, loistehokustannuksiin ja laitteistohankintoihin.

Työtä varten tehtiin mittauksia päivitetystä C- ja E-keskuksista loistehotason selvittämiseksi. Keskuksien B, D ja K tapauksissa loistehotaso oli tiedossa Huovisen opinnäytetyöstä, jolloin olemassa olevaa tietoa voitiin hyödyntää nopeuttaen työtä [1]. Mittauksissa käytetyllä sähkönlaadun analysaattorilla tallennettiin tietoa viiden tunnin ajan keskus kerrallaan. Mittaukset ajoittuivat kevääseen 2013 viikoille 5 ja 6.

Opinnäytetyön alkuosa pohjustaa aihealuetta painottuen teollisuuden sähköverkkoihin. Myöhemmin esitellään ratkaisuvaihtoehtoja kompensoinnin järjestämiseksi. Mahdollisia jatkotutkimusaiheita ovat yliaaltojen ja laitteiston vikatiheyden selvittäminen sekä tarvittaessa suodatuksen järjestäminen.

## 2 UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas

UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas sijaitsee Sirkkalan kaupunginosassa Pielisjoen varrella. Hieman yli satavuotiaan tehtaan toiminta käynnistyi vuonna 1912 lankarullatehtaana. Viiden vuoden kuluttua tehdas muutettiin vaneritehtaaksi ja vanerin valmistus alkoi vuonna 1918. Yrityksen omistajat ovat vaihtuneet vuosien varrella, ja nykyisellä nimellä yritys on tunnettu vuodesta 2004. Tehtaan noin 160 henkilön avulla valmistetaan WISA-koivuvanerilevyä kapasiteetillä 55000 m<sup>3</sup> vuodessa. Koivuvanerilevyjen kuluttajia ovat esimerkiksi kuljetusväline-, rakennus-, pakkaus- ja huonekaluteollisuus. Kuvassa 1 nähdään tehdas Pielisjoelta kuvattuna. [1.]



Kuva 1. Joensuun vaneritehdas kevätpakkasella.

Vaneritehdas kuuluu kansainväliseen ja tunnettuun UPM-konserniin. UPM on bio- ja metsäteollisuusyhtiö, jonka tuotteet perustuvat uusiutuviin raaka-aineisiin ja kierrätettävyyteen. Yhtiössä on palveluksessa noin 23000 henkilöä eri tuotantolaitoksilla 17 maassa. Vuonna 2011 liikevaihto oli yli 10 miljardia euroa. UPM:n liiketoiminta jakautuu kolmeen ryhmään: Energia ja sellu, Paperi sekä Tekniset materiaalit. Näistä Joensuun vaneritehdas kuuluu Tekniset materiaalit -ryhmään ja tarkemmin Vaneri -liiketoimintaan. Valmiita vanerituotteita on kuvassa 2. [2.]



Kuva 2. Joensuun vaneritehtaan valmistamia eri vanerilaatuja.

### 3 Loisteho

Kuvitellaan yksinkertainen vaihtojännitepiiri, jossa kuormana on lämmitysvastus. Piiriä tarkasteltaessa oskilloskoopilla todetaan jännite- ja virtakäyrän olevan samanaikaisia eli kuorma on resistiivinen. Tällöin kulutetaan vain pätötehoa. Lämmitysvastuksen tilalle vaihdetaan moottori, jolloin tilanne muuttuu. Oskilloskoopitarkastelussa havaitaan jännite- ja virtakäyrän eroavan ajallisesti toisistaan, mikä käsitetään vaihe-eroksi. Vaihe-erosta voidaan päätellä kuorman vievän loistehoa, joka moottorin tapauksessa ylläpitää sen magneettikenttää. Moottori kuluttaa edelleen myös pätötehoa, joka tekee varsinaisen työn pyörittäessään akselia. Loisteho on induktiivista, jos kuorman virta on jännitettä jäljessä. Mikäli virta on jännitettä edellä, kuorma on kapasitiivista. [3, s. 253–256.]

Näennäis- tai nimellisteho on mitoitusteho eli syöttävän teholähteen ja kuorman välisen verkon kokonaisteho. Kolmivaiheinen näennäisteho muodostuu kaavan 1 mukaisesti. Näennäisteho voidaan muodostaa perustaajuisesta pätö- ja loistehosta kaavan 1 jälkimmäisen osan mukaisesti. Vaihtojänniteverkoissa käsitellään pätötehon suhdetta näennäistehoon tehokertoimenä, mikä muodostuu kaavasta 2. [3, s. 243, 203; 10, s. 16.]

$$S = \sqrt{3}UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

jossa

- $S = \text{Näennäisteho [VA]}$
- $U = \text{Jännite [V]}$
- $I = \text{Virta [I]}$
- $P = \text{Pätöteho [W]}$
- $Q = \text{Loisteho [VAr]}$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = DPF \quad (2)$$

jossa

- $\cos\varphi = \text{Tehokerroin}$
- $DPF = \text{Displacement Power Factor}$



### 3.1 Loistehon kulutuksen muodostuminen

Loisteho luo toimintaedellytykset sähkömagneettiselle induktiolle. Moottoreissa ja muuntajissa loisteho ylläpitää magneettikenttää [5, s. 49; 3, s. 269]. Tehoelektronikan suuntaajakäytöissä loistehon tarve muodostuu puolijohdepiirien ominaisuuksista ja niiden käyttötavasta [3, s. 410–411]. Taulukossa 1 on esitelty teollisuudessa loistehoa kuluttavien laitteiden tyypillisiä tehokertoimia. Sähkökoneiden toimintaa on yksityiskohtaisesti selvitetty kirjassa Aura L. & Tonteri J. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet.

Taulukko 1. Teollisuuden loistehonkuluttajia ja niiden tyypillisiä tehokertoimia [4, s. 3].

<b>Kuorma</b>	<b>Tehokerroin <math>\cos\varphi</math></b>
Tyhjäkäyvä muuntaja	0,1–0,15
Moottori	0,7–0,85
Kaarihitsauslaite	0,35–0,6
Kompensoitu kaarihitsauslaite	0,7–0,8
Loisteputkivalaisin	0,4–0,6
Kompensoitu loisteputkivalaisin	0,9
Tasasuuntaaja	0,6–0,95
Tasasähkökäytöt	0,4–0,75
(Resistiivinen kuorma	1)

### 3.2 Loistehon kehittäminen

Loistehoa kehitetään generaattoreilla ja kondensaattoreilla. Tahtikoneita käytetään moottorina mutta yleisesti myös generaattoreina. Tahtigeneraattori valitaan voimakoneeksi, kun tehontarve on suuri ja halutaan hyvä säädettävyys. Muina etuina pidetään hyvää hyötysuhdetta, mahdollisuutta pieneen pyörimisnopeuteen sekä käyttöä vaihekompensoattorina eli dynaamisena kondensaattorina. Ylimagnetoimalla tahtigeneraattoreilla tuotetaan induktiivista loistehoa ja alimagnetoimalla kapasitiivista

loistehoa. Tahtigeneraattorin loistehotuotossa on huomattava, että kaikki tuotettu loisteho on kulutettava. [3, s. 354–356.]



Kuva 3. Asea-tahtigeneraattori Joensuun vaneritehtaalla.

Kapasitiivista loistehoa tuotetaan tahtigeneraattoreiden lisäksi myös kondensaattoreilla. Niiden käyttö on suoraviivasta, joskin teholuokka on tahtigeneraattoreita paljon alhaisempi. Kondensaattoreita voidaan koota yhdeksi kondensaattoriparistoksi riittävän kapasitanssin saavuttamiseksi.

### 3.3 Loistehon haittavaikutukset

Sähkönsiirtoverkkojen päätehtävä on päätötehon siirto. Loisteho kasvattaa siirrettävän kokonaisvirran määrää ja aiheuttaa johtimissa lisähäviöitä sekä mahdollisesti siirtoverkon kapasiteetin nostoa. Periaatteena on sijoittaa loistehon tuotto- ja kulutuslaitteisto mahdollisimman lähelle toisiaan.

Sähköverkkoyhtiöt laskuttavat loistehon siirrosta aiheutuneista kustannuksista edellä mainituista syistä. Loistehoa siirretään sen verran kuin on taloudellisesti kannattavaa. Sähkönmyyntitariffien hinnoittelu muodostetaan niin, että teollisuuden on järkevintä tuottaa eli kompensoida loistehonsa itse. [6.]

## 4 Kompensointi

Kompensoinnilla tarkoitetaan loistehon (paikallis)tuottoa sekä induktiivisen ja kapasitiivisen loistehon tasapainottelua. Kompensointi parantaa verkon siirtokykyä ja mahdollisesti jopa pienentää pääsulakkeen kokoa, jolla saavutetaan säästöjä sähköliittymän perusmaksuissa [5, s. 50–54]. Teollisuuslaitoksen kompensointi on periaatteessa vapaaehtoista, mutta sähköyhtiö voi velvoittaa asiakkaan kompensoimaan loistehonsa [5, s. 63–64].

Kompensoinnin tasoa tarkastellaan yleensä tehokerroimen avulla. Tehokerroin pyritään saamaan lähelle arvoa  $\cos\varphi = 1$ , joka tarkoittaa laitteiston kuluttavan vain pätötehoa. Teollisuuslaitoksissa kompensointilaitteet valitaan niin, ettei tehokerroin ylitä arvoa  $\cos\varphi = 0,98$  moottoreiden itseherätyksen ja ylijännitteiden estämiseksi [5, s. 97].

### 4.1 Alle 1000 V:n pienjänniteverkot

Alle 1000 V:n pienjänniteverkoissa kompensointi voidaan toteuttaa eri tavoilla. Toteutustapaan vaikuttavat kompensoinnin tarve ja käyttökohde. Kompensoinnille tulee lisävaatimuksia, mikäli verkko on yliaaltopitoinen. Yliaallot aiheuttavat verkon komponenteille lisärasitusta, häiriöitä ja erityisesti resonanssivaaran kompensointikondensaattoreiden kanssa [7, s. 5].

Kompensointilaitteita ovat kiinteät kondensaattorit, automatiikkaparistot ja yliaaltopitoisiin verkkoihin soveltuvat estokelaparistot. Lisäksi on olemassa nopeita tehoelektroniikkaan perustuvia paristoja, joissa on aktiivisäätjä ja mahdollisesti

suodatus yliaalloille. Kompensointilaitteita voidaan sijoittaa keskitetysti pääkeskukselle tai lähemmäksi loistehon kuluttajaa ryhmä- tai laitekohtaisesti. [7, s. 2.]

#### **4.1.1 Laitekohtainen kompensointi**

Laitekohtainen kompensointi toteutetaan tyypillisesti valaisimen, moottorin tai muun yksittäisen kuormituksen yhteydessä. Loistehon siirto sähköverkossa jää olemattomaksi, joten tapa on varsin ideaalinen. Kompensointikondensaattori(t) kytketään rinnan kuormituksen kanssa mutta loistelamppuvalaisimissa on mahdollista käyttää myös sarjakompensointia. [5, s. 66.]

#### **4.1.2 Ryhmäkompensointi**

Ryhmäkompensointi tehdään tyypillisesti kolmivaiheisen valaisin- tai moottorikuormitusten yhteydessä tai näitä syöttävässä keskuksessa. Tällöin loisteho tuotetaan kaikille ryhmän kuormituksille yhdestä pisteestä. Valaisinryhmän tapauksessa saavutetaan laitekohtaisen kompensoinnin edut käyttämällä ketjutukseen soveltuvaa kompensointiyksikköä. Vaihtoehtoisesti useiden valaisinryhmien kompensointi voidaan toteuttaa rinnakkaisena esimerkiksi ison teollisuushallin tapauksessa. Moottoreiden yhteydessä kompensointiyksikön on oltava itsestään säätävä tai ohjattavissa moottoreiden käynnistyksen yhteyteen. [5, s. 72–75.]

#### **4.1.3 Keskitetty kompensointi**

Kompensointi voidaan toteuttaa myös keskitetysti pääkeskuksissa. Hyvä kompensointiaste varmistetaan viimeistään pääkeskuksessa loistehomaksujen välttämiseksi. Usein pääkeskuskompensointia tarvitaan, vaikka kuormia olisikin jo kompensoitu ryhmä- tai laitekohtaisella kompensoinnilla. Käytetyt laitteet ovat kolmivaiheisia ja yleisimmin estokelaparistoja verkon mahdollisen yliaaltopitoisuuden vuoksi. Jos yliaaltoja ei esiinny, voidaan käyttää automaattiparistoa. [5, s. 76.]

#### 4.1.4 Keskitetty kompensointi yliaaltopitoisessa verkossa

Yliaallot voivat vahvistua pienjänniteverkoissa 1–5- ja keskijänniteverkossa jopa 20-kertaisiksi kompensointilaitteen ja verkko impedanssin resonanssitilanteessa yliaaltojen vaikutuksesta [11, s. 65]. Yliaallot lisäksi aiheuttavat lisähäviöitä, lämpenemistä, häiriöitä, virhetoimintoja ja jännitesäröä. Tämän vuoksi on tarpeen käyttää estokelaparistoja, joiden kanssa tilanne ei ole mahdollinen. Sähkön laatua saadaan paremmaksi käyttämällä yliaaltosuodattimia. [7, s. 4–5.]

#### 4.2 Yli 1000 V:n suurjänniteverkot

Edellä esitettyjä sijoitustapoja voidaan soveltaa myös suurjänniteverkkoihin. Teollisuuslaitoksen suurjännitemoottori voidaan kompensoida laitekohtaisesti käyttäen tarkoitukseen soveltuvaa kondensaattoriparistoa. Pienjänniteverkon tarvitsema loisteho voidaan kompensoida jakelumuuntajan suurjännitepuolella mutta tällöin muuntaja joudutaan mitoittamaan suuremmaksi, mikä nostaa hankintahintaa. Muuntajan suuren reaktanssin vuoksi loistehon siirtäminen muuntajan läpi aiheuttaa jännite- ja loistehohäviöitä. [5, s. 78.]

Suurjännitekäyttöön on olemassa kondensaattoreista koottuja paristoja, joissa voi olla omat suojalaitteet. Tyypillisesti paristot liitetään kiskostoon käyttäen soveltuvia liittälaitteita. Suurjänniteverkkojen komponentit esimerkiksi kytkimet ja suojalaitteet ovat huomattavasti pienjänniteverkkoja kalliimpia, mikä nostaa kustannuksia. [5, s. 78–79; 8, s. 4–5.]

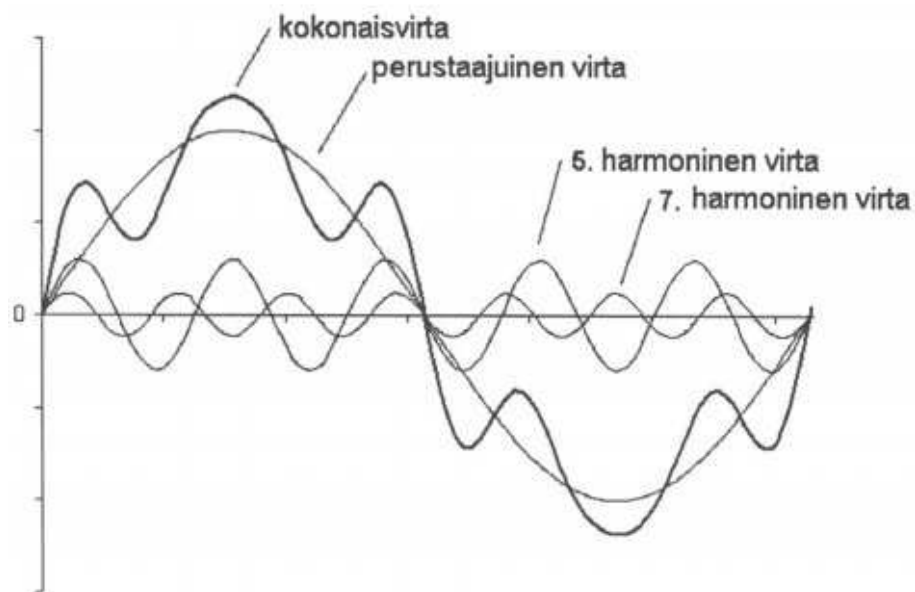
### 5 Yliaallot

Sähköverkoissa yliaallot ovat ei-toivottua tehonsiirtoa. Yliaallot muodostuvat epälineaaristen kuormien vaikutuksesta, joiden verkosta ottama virran muoto ei ole sinimuotoinen. Kokonaisvirta muodostuu perustaajuisesta virrasta sekä sen siniaallosta poikkeavista harmonisista yliaaltovirroista, jotka ovat perustaajuuden kerrannaisia.

Esimerkiksi 50 Hz perustaajuudessa verkossa 3. yliaalto tarkoittaa 150 Hz. Muut kuin käyttötaajuudesta 50 Hz muodostuvat jännitteet ja virrat asettavat siirtoverkon poikkeaviin olosuhteisiin. Poikkeavat jännitteet ja virrat johtuvat käyrämuotojen vääristymisestä, joita voi aiheuttaa yksi tai useampi siirtoverkkoon kytketty komponentti. [7, s. 4; 5, s. 21.]

## 5.1 Yliaaltojen ominaisuudet

Yksivaiheisissa verkoissa näyttelevät tyypillisesti 3. yliaalto ja sen kerrannaiset. Symmetrisissä kolmivaiheverkoissa esiintyy 3:lla jaottomia parittomia yliaaltoja. Näitä ovat tyypillisesti 5. ja 7. yliaalto (250 Hz, 350 Hz). Kuvasta 4 nähdään vääristynyt kokonaisvirran muoto 5. ja 7. yliaallon aiheuttamina.



Kuva 4. Kokonaisvirran vääristyminen yhden jakson ajalta 5. ja 7. yliaaltoja sisältävässä verkossa [7, s. 5].

Yliaalloilla voidaan tarkoittaa jännite- tai virtayliaaltoja. Säröytymisestä puhutaan, kun jännite sisältää harmonisia tai epäharmonisia yliaaltoja [10, s. 26]. Harmoninen kokonaissärö voidaan ilmaista suhteessa perustaajuiseen komponenttiin (THD-F) tai suhteessa tehollisarvoon (THD-R). Säröteho kasvattaa kokonaisnäennäistehoa, mikä nähdään kaavasta 3. Säröteho sisältää yliaaltotehoa ja eritaajuisien jännitteiden ja

virtojen tuloja (loisteho). Kaavasta 4 saadaan kokonaistehokerroin kokonaispätötehon ja -näennäistehon suhteesta. [10, s. 29, 17.]

$$S^* = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (3)$$

jossa  $S^* = \text{Näennäisteho [VA]}$   
 $P = \text{Pätöteho [W]}$   
 $Q = \text{Loisteho [VAr]}$   
 $D = \text{Säröteho [VAr]}$

$$PF = \frac{P}{S^*} \quad (4)$$

jossa  $PF = \text{Kokonaistehokerroin (Power factor)}$

## 5.2 Yliaaltojen lähteet

Epälineaarisuus muuntajaraudan kyllästymisestä johtuen aiheuttaa yliaaltoja, joskin ilmiö on nykyään pienimuotoinen. Ilmiötä pahentaa epäsymmetrinen kuormitus tai muuntajan toisiossa esiintyvä tasajännitekomponentti, joka aiheuttaa rautasydämen kyllästymistä. Tällöin magnetoimisvirtaan syntyy parillisia sekä parittomia yliaaltoja. [5, s. 22.]

Nykyään yliaallot syntyvät kolmivaiheverkossa tyypillisesti tehoelektroniiikan sovelluksissa, esimerkiksi moottoria käyttävässä taajuusmuuttajassa. Taajuusmuuttajien tarvitsema tasasähkö muodostetaan esimerkiksi 6-pulssitasasuuntaimella. Tällöin erityisesti 5. ja 7. yliaallon virtasäröt ovat merkittävät. Myös pienjänniteverkon monet yksittäiset elektroniset kuormat toimivat yhdessä häiriölähteinä aiheuttaen verkolle ns. pohjakohinaa. [7, s. 4.]

## 5.3 Yliaaltojen vaikutuksia

Yleisesti yliaaltojen amplitudi laskee taajuuden kasvaessa. Yliaaltojen aiheuttamia haittavaikutuksia ovat esimerkiksi resonanssivaara kompensointikondensaattorin

kanssa, jännitesärön kasvu, lisähäviöt ja niiden myötä virran kasvu, komponenttien lämpeneminen ja erityisesti virhetoiminnot suoja- ja mittalaitteissa. Yliaaltojen vaikutuksesta syntyvät myös ajoittain vaikeasti selvitettävät laitehäiriöt. [7, s. 4–5.]

Yliaaltojen vaikutuksesta siirtojohtimien impedanssi voi muuttua taajuuden kasvaessa ja aiheuttaa näin virran ahtautumista. Vastaavasti pyöriville koneille muodostuu perusaaltoon 50 Hz epätahdissa pyöriviä sähkökenttiä aiheuttaen häviöitä ja termistä kuormittumista. Myös suurtaajuiset laakerivirrat voivat olla moottoreiden ennenaikainen kuluttaja. [5, s. 25; 9, s. 5.]

#### 5.4 Moottoreiden laakerivirrat

Nykyaikaisen tehoelektroniikan päateasteiden kytkentätaajuus voi olla korkea. Korkea kytkentätaajuus on hyötysuhteeltaan parempi mutta voi aikaansaada suurtaajuisia virtoja. Jos moottori on maadoitettu heikosti mutta akselin päässä oleva laite hyvin, moottorin kautta voi kulkeutua akselivirtoja. Virta on tyypiltään pulssimaista, mikä purkautuessaan irrottaa metallia kuulalaakereista vierintäpinnan voiteluaineeseen. Selviä vaurioita voidaan havaita jo kuukausien päästä käyttöönotosta. [9, s. 5–6.]



Kuva 5. Laakerivirran aiheuttama vierintäpinnan vaurio [9, s. 6].



## 5.5 Yliaaltojen hallinta

Yliaallot voivat vaikuttaa verkoston mitoitukseen, mikä nostaa kustannuksia. Markkinoilla olevien yliaaltosuodattimien avulla häiriötasoa voidaan laskea. Kolmivaiheisessa nollajohtimettomissa järjestelmissä kolmikerrannaisia (3., 6. ja 9.) yliaaltoja ei teoriassa synny mutta käytännössä niitä voi esiintyä hieman vaihe-eroista johtuen [5, s. 26]. Nollajohtimellisissa verkoissa yksivaihekuormat aiheuttavat 3. yliaaltoja kerrannaisineen ja muista yliaalloista poiketen 3. yliaalto ei kumoudu muuntajan tähtipisteessä, vaan etenee nollajohtimessa aiheuttaen mahdollisesti sen ylikuormittumisen [7, s. 4].

Edellä mainittua moottoreita vaurioittavaa laakerivirtaa voi vähentää verkon komponenttien, erityisesti moottorin, kunnollisella maadoittamisella. Moottoria syöttävän monijohdinkaapelin tulee olla symmetrinen ja tehoelektroniikan jälkeen voidaan kytkeä lähtösuodin. Laakerivirroista pääsee kokonaan eroon eristämällä koko laakerointirakenteen. [9, s. 5.]

Suomessa sähkönlaadun suosituksia määrittelee standardi SFS-EN 50160. Standardissa asiakkaan ja jakeluverkon haltijan liittymispisteessä jännitteen kokonaissärö eli THD-arvo saa olla enintään 8 %:a, jossa on huomioitu harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40:nteen asti. Kirjallisuus mainitsee kuitenkin jo yli 3 %:n kokonaisjännitesärön riittävän aiheuttamaan laitteille toimintaongelmia. Virran kokonaissäröön standardi ei määritä raja-arvoja mutta Energiateollisuus ry suosittelee samaista 8 %:n rajaa suhteessa laskennalliseen referenssivirtaan. [11, s. 21–22, 42, 44–45.]

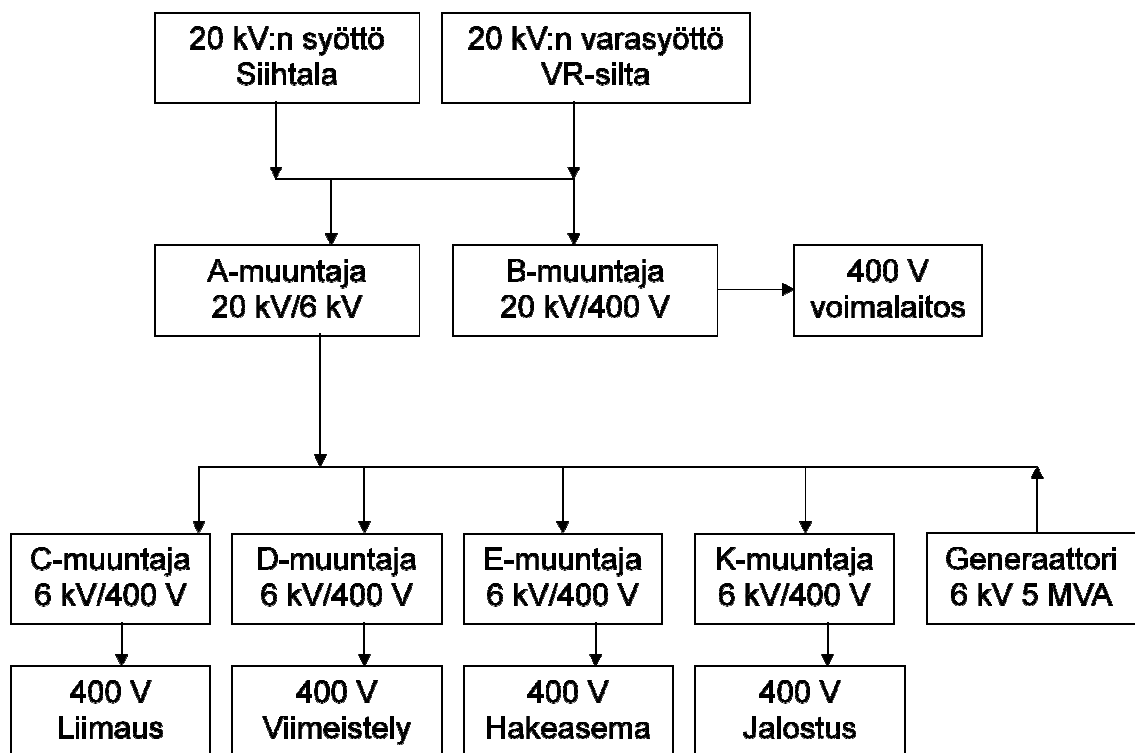
## 6 Vaneritehtaan sähkönjakelu

Vaneritehtaalla on kaksi 20 kV:n sähkönsyöttöä. Pääsähkönsyöttö tapahtuu Siihtalan sähköasemalta ja varasyöttönä toimii VR:n rautatiesillan liittymispiste. Osa sähkötehosta tuotetaan omalla nimellisteholtaan 5 MVA tahtigeneraattorilla. Generaattori saa käyttövoiman tehtaan prosessin höyryvoimasta, jota syntyy puujätteen polton avulla. Generaattorin käyttöaste ei nykytilanteessa saavuta huippua, johtuen puujätteen rajallisesta määrästä. Lisäksi tätä estää syntyvän höyryn rajallinen

käyttömahdollisuus muissa prosesseissa ja lämmönvaihtimen puute lämmön välittämiseksi eteenpäin.

## 6.1 Verkon rakenne

Tehtaalla on kaksi 20 kV:n jännitetasossa toimivaa muuntajaa. A-muuntaja syöttää tehtaan sisäistä 6 kV:n jakeluverkkoa tuotantokoneille. B-muuntaja toimii yleisenä laitoksen pienjänniteverkon tehollähteenä. C-, D-, E- ja K-muuntajat on kytketty sisäiseen 6 kV:n verkkoon, syöttämään tehoa eri toimilohkoille. Tahtigeneraattori toimii myös 6 kV:n verkossa, toimien tehollähteenä ja kompensattorina.



Kuvio 1. Sähkönjakelu tehtaalla.

## 6.2 Tehotaso

Vuoden 2012 raportoinnista nähdään tehtaan kuluttama kuukausittainen huipputehon määrä sähköliittymästä ja vastaavasti tuotto generaattorilta (liite 2). Sähköliittymän pisteessä pätehon kulutus on 2,4–3,3 MW ja loisteho 0,4–1,2 MVA. Generaattorilla

tuotetun pätötehon osuus on ollut 1,3–2,4 MW ja loisteho 0,8–1 MVar. Lukemien perusteella voidaan päätellä generaattorin olevan merkittävä sähköntuottaja tehtaalla.

### 6.3 Muuntajat ja kompensointi

Muuntajien sijainti verkossa ja niiden jännitetasot voidaan nähdä edellä esitetystä kuvista 1. A-muuntaja toimii 20/6 kV jännitesuhteella ja on nimellisteholtaan 5 MVA. Kytkentäryhmä on Yd11. Nimellisteholtaan 2 MVA B-muuntaja toimii myös keskijänniteverkossa jännitesuhteella 20/0,4 kV kytkentäryhmällä Dyn11. Loput tehtaan toimilohkoja syöttävät muuntajat ovat kaikki 6/0,4 kV jännitesuhteella, 2 MVA nimellistehoisia ja kytkentäryhmältään Dyn11.

Kompensointi on toteutettu keskitetysti pääkeskuksiin. Laitekohtaista kompensointia ei tässä työssä tarkastella, mutta niiden vaikutus tulee kuitenkin huomioiduksi tehotarkasteluissa. Kaikki kompensointit ovat Nokian Capacitorsin valmistamia automatiikkaparistoja, osa estokelamahdollisuudella varustettuja.

Taulukko 2. Kompensointiparistot keskuksittain.

Keskus	Nimellisarvo [kVar]	Tyyppi
B	168	DR200/4x50-400-50/189-0818E
B	200	4 SDXA
C	200	4 SX200
C	186	DR200/4x50-400-50/189-0818E
D	200	4 SX200
D	232	DR250/5X50-400-50/189-1018E
E	150	3 SDXA
E	200	4 SDXA
K	186	DR200/4x50-400-50/189-0818E
K	150	3 SDXA



Kuva 6. C-keskuksen kompensointiparisto aktiivisella loistehosäätäjällä (kaapin yläosa).

#### 6.4 Loistehomaksut

Verkkoyhtiöt ovat hinnoitelleet loistehon siirtomaksut tasolle, jossa kuluttajien on taloudellisinta kompensoida loistehonsa itse. Vaneritehdas on keskijännitetehtehonsiirron kuluttaja, josta Fortum veloittaa loistehomaksua arvonlisäverottomana 4,55 €/kVAr kuukaudessa. Maksu perustuu kuukausittaisen loistehohuipun keskiarvoon, josta on vähennetty 20 % saman kuukauden pätötehuipun määrästä (kaava 5). Verkossa voi myös esiintyä tilanne, jossa sähkökuluttaja toimiikin loistehon tuottajana. Ylikompensointitilanteessa verkkoyhtiö voi laskuttaa tuotetusta loissähköstä. Fortum ei ota tähän kantaa sähköhinnastossaan. [5, s. 51; 6.]

$$Q_{Lask} = Q_{Max} - P_{Max} * K \quad (5)$$

jossa

$$Q_{Lask} = \text{Laskutettava loisteho [kVAr]}$$

$$Q_{Max} = \text{Loistehohuippu [kVAr]}$$

$$P_{Max} = \text{Pätötehuippu [kW]}$$

$$K = \text{Verkkoyhtiökohtainen kerroin, Fortum 0,2}$$

## **7 Mittaukset**

Mittauksia suoritettiin kahtena päivänä, 1.2. ja 6.2. Mittausaikataulu ja käytännön järjestelyt sovittiin UPM:n henkilökunnan kanssa molemmille mittauspäiville erikseen. Mittarin parametrisoinnin ja käytännön järjestelyjen takia mitattiin yksi keskus yhden työpäivän aikana. UPM:n vaneritehtaan sähkökäyttöistä vastaava teki mittauspäiville sähkötyöluvan (liite 1) tehtaan jännitetyöohjeistuksen mukaisesti.

### **7.1 Mittalaitteisto**

Mittauslaitteisto lainattiin Karelia-ammattikorkeakoululta. Mittauslaitteistoon kuului kolmivaiheinen Fluke 435 -sähkönlaadun analysaattori ja Fluke i430-Flex -virtasilmukat. Lisäksi käytettiin analysaattorin mukana tulevia mittajohtimia ja muuta välineistöä. Mittalaite täytti EN 50160 -standardin vaatimukset ja riittävän turvaluokitustason 600 V:lla CAT IV ja 1000 V:lla CAT III. Virtasilmukat voitiin kytkeä jännitteelliseen piiriin ja niiden virtayläraja oli 3000 A VAC RMS. [12, s. 1-5; 13, s. 1.]

Mittalaitteen tiedonkeruutoiminto oli soveltuvin tämän työn mittauksiin. Laite asetettiin tallentamaan tietoja sekunnin välein viiden tunnin ajalta, jolloin halutut suuret mahtuivat laitteen muistiin. Listaus suureista löytyy mittaustuloksista luvusta 8. Tallennustiheys valittiin tarkoituksella mahdollisimman suureksi koko muistikapasiteettiä käyttäen, jotta lyhytkestoisetkin muutokset näkyisivät tuloksissa.

### **7.2 Keskuksien mittaukset**

Ensimmäisenä mitattiin hakeasemaa syöttävä E-keskus. Työ tehtiin jännitetyönä vaneritehtaan ohjeistuksen mukaisesti. Jännitteen mittausta kytettiin mittalaitteen hauenleukatyyppisillä pihdeillä sulakkeiden liitoksiin, mikä nähdään kuvasta 7. Tämä oli myös turvallisin vaihtoehto ja mittauspiste edusti kyseisen keskuksen

jännitteentasa. Virranmittaus kytkettiin muuntajan ja kennoston väliseen kattokiskostoon joustavilla virtasilmuilla kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 7. Jännitemittaus sulakkeilta.



Kuva 8. Virtasilmukoiden asettelu kiskostoon.

Virranmittaussilmukoiden mittaussuunta asennettiin epähuomiossa väärinpäin. Tämä ei juuri vaikuttanut tuloksiin, käytännössä muuttaen vain loistehonlukemien etumerkin. Virhe on korjattu luvussa 8 esitettyihin loisteholukemiin. Liitteenä 2 oleva E-keskuksen loistehokuvaaja esittää oikeat lukemat muista poiketen positiivisena.

Toinen mitattava kohde oli C-keskus. Mittaukset sujuivat tutulla periaatteella jännitetyönä. Kuvasta 9 nähdään jännite- ja virranmittausperiaate. Kuvan ulkopuolelle jääneeseen nollajohdinkiskoon sijoitettiin myös virtasilmukka.



Kuva 9. Mittaus C-keskuksessa.

## 8 Tulokset

Tämän sekä Huovisen (2011) töiden mittaustulokset käsiteltiin Microsoft Excel ja Fluke ViewForms -ohjelmistoilla [10]. Näiden avulla voitiin laskea tuloksista keskiarvot sekä piirtää tarvittavat tehokuvaajat. Tulosten käsittelyn aikana havaittu Fluke ViewForms -

ohjelmiston virhe käsitellä kokonaistehoja ja nollajohdinta samana on korjattu tuloksiin.  
Keskuksien mittaustulokset ovat seuraavat:

Taulukko 3. B-keskukset mittaustuloksien lasketut keskiarvot (mitattu 2.5.2011).

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>N</b>
Jännite	rms [V]		223,35	232,43	233,17	0,06
	pk [V]		344,80	344,10	346,66	0,11
	THD [%]		3,03	3,17	3,29	56,99
	H3 [%]		0,20	0,24	0,52	10,54
	H5 [%]		2,01	2,10	2,29	8,94
	H7 [%]		1,40	1,49	1,61	9,45
	H9 [%]		0,40	0,23	0,28	9,20
Virta	rms [A]		724,02	769,65	639,44	41,71
	pk [A]		1293,03	1292,27	1160,59	76,77
	THD [%]		30,04	26,98	38,83	117,40
	H3 [%]		1,50	2,85	7,13	117,27
	H5 [%]		22,86	19,91	23,82	8,33
	H7 [%]		16,68	15,44	19,19	14,37
	H9 [%]		2,80	1,44	1,95	30,95
Teho	S [kVA]	498,40	168,94	178,87	143,08	
	P [kW]	463,28	160,32	166,20	136,75	
	Q [kVAr]	-178,59	-53,19	-66,06	-59,36	
Tehokerroin	cosφ		0,99	0,96	0,97	
	PF		0,95	0,93	0,92	



Taulukko 4. C-keskukset mittaustuloksien lasketut keskiarvot (mitattu 6.2.2013).

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>N</b>
Jännite	rms [V]		227,83	227,70	228,42	0,03
	pk [V]		327,26	326,55	328,19	0,08
	THD [%]		2,93	2,91	2,94	60,09
	H3 [%]		0,45	0,45	0,33	12,33
	H5 [%]		2,56	2,49	2,57	9,99
	H7 [%]		1,29	1,37	1,30	9,36
	H9 [%]		0,23	0,18	0,29	11,71
Virta	rms [A]		1321,90	1326,29	1321,96	78,50
	pk [A]		1844,70	1829,84	1868,79	155,85
	THD [%]		7,47	7,61	7,45	217,45
	H3 [%]		1,86	2,04	1,56	214,20
	H5 [%]		6,68	6,76	6,86	10,74
	H7 [%]		2,64	2,66	2,26	15,35
	H9 [%]		0,37	0,31	0,54	61,04
Teho	S [kVA]	905,00	301,12	301,94	301,91	
	P [kW]	861,35	286,56	288,86	285,94	
	Q [kVAr]	-276,04	-92,13	-87,47	-96,44	
Tehokerroin	cosφ		0,96	0,96	0,95	
	PF		0,95	0,96	0,95	

Taulukko 5. D-keskukset mittaustuloksien lasketut keskiarvot (mitattu 4.4.2011).

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>N</b>
Jännite	rms [V]		226,16	226,50	226,96	0,02
	pk [V]		324,68	324,90	327,35	0,09
	THD [%]		2,52	2,51	2,74	34,39
	H3 [%]		0,24	0,18	0,16	20,14
	H5 [%]		1,85	1,66	1,75	14,52
	H7 [%]		1,64	1,81	2,04	7,72
	H9 [%]		0,14	0,14	0,14	4,53
Virta	rms [A]		609,73	584,37	567,04	68,20
	pk [A]		904,35	874,28	864,16	107,70
	THD [%]		13,71	14,27	16,20	49,68
	H3 [%]		2,23	1,72	2,69	46,12
	H5 [%]		9,77	9,02	10,11	7,03
	H7 [%]		8,19	9,72	11,24	2,99
	H9 [%]		0,79	0,94	0,85	14,73
Teho	S [kVA]	398,08	137,49	131,90	128,28	
	P [kW]	384,09	132,88	127,93	123,27	
	Q [kVAr]	-92,37	-32,57	-27,60	-32,43	
Tehokerroin	cosφ		0,98	0,99	0,98	
	PF		0,97	0,98	0,97	

Taulukko 6. E-keskukset mittaustuloksien lasketut keskiarvot (mitattu 1.2.2013).

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>N</b>
Jännite	rms [V]		225,59	225,13	225,46	0,00
	pk [V]		326,63	325,14	326,46	0,05
	THD [%]		3,39	3,23	3,36	59,97
	H3 [%]		0,32	0,23	0,11	11,04
	H5 [%]		2,96	2,73	2,82	9,76
	H7 [%]		1,58	1,67	1,80	9,53
	H9 [%]		0,14	0,09	0,19	9,44
Virta	rms [A]		1087,87	1094,53	1094,15	51,98
	pk [A]		1639,50	1660,84	1675,32	111,68
	THD [%]		12,60	12,15	12,07	104,89
	H3 [%]		1,04	1,47	0,88	101,70
	H5 [%]		11,60	10,93	10,70	5,01
	H7 [%]		4,70	5,00	5,43	3,34
	H9 [%]		0,36	0,22	0,42	21,41
Teho	S [kVA]	738,43	245,37	246,38	246,66	
	P [kW]	678,15	226,95	225,94	225,24	
	Q [kVAr]	-291,49	-93,08	-98,06	-100,35	
Tehokerroin	cosφ		0,93	0,93	0,92	
	PF		0,93	0,92	0,91	

Taulukko 7. K-keskukset mittaustuloksien lasketut keskiarvot (mitattu 11.4.2011).

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>N</b>
Jännite	rms [V]		228,59	228,56	228,99	0,02
	pk [V]		324,47	324,56	326,26	0,08
	THD [%]		1,76	1,74	1,76	56,83
	H3 [%]		0,20	0,19	0,13	9,24
	H5 [%]		1,29	1,02	1,13	9,59
	H7 [%]		1,09	1,31	1,23	9,41
	H9 [%]		0,16	0,23	0,19	9,25
Virta	rms [A]		302,31	293,81	288,45	40,85
	pk [A]		453,16	475,77	436,68	110,63
	THD [%]		8,05	9,93	8,65	136,17
	H3 [%]		2,50	4,92	1,88	114,25
	H5 [%]		3,84	3,75	4,68	37,33
	H7 [%]		5,28	6,43	5,63	27,43
	H9 [%]		1,45	2,18	1,59	63,51
Teho	S [kVA]	202,18	69,01	67,05	65,96	
	P [kW]	196,78	67,23	65,40	64,26	
	Q [kVAr]	-44,11	-15,17	-14,56	-14,38	
Tehokerroin	cosφ		0,98	0,98	0,97	
	PF		0,97	0,97	0,97	

Taulukko 8. Tehotarkastelu keskuksittain.

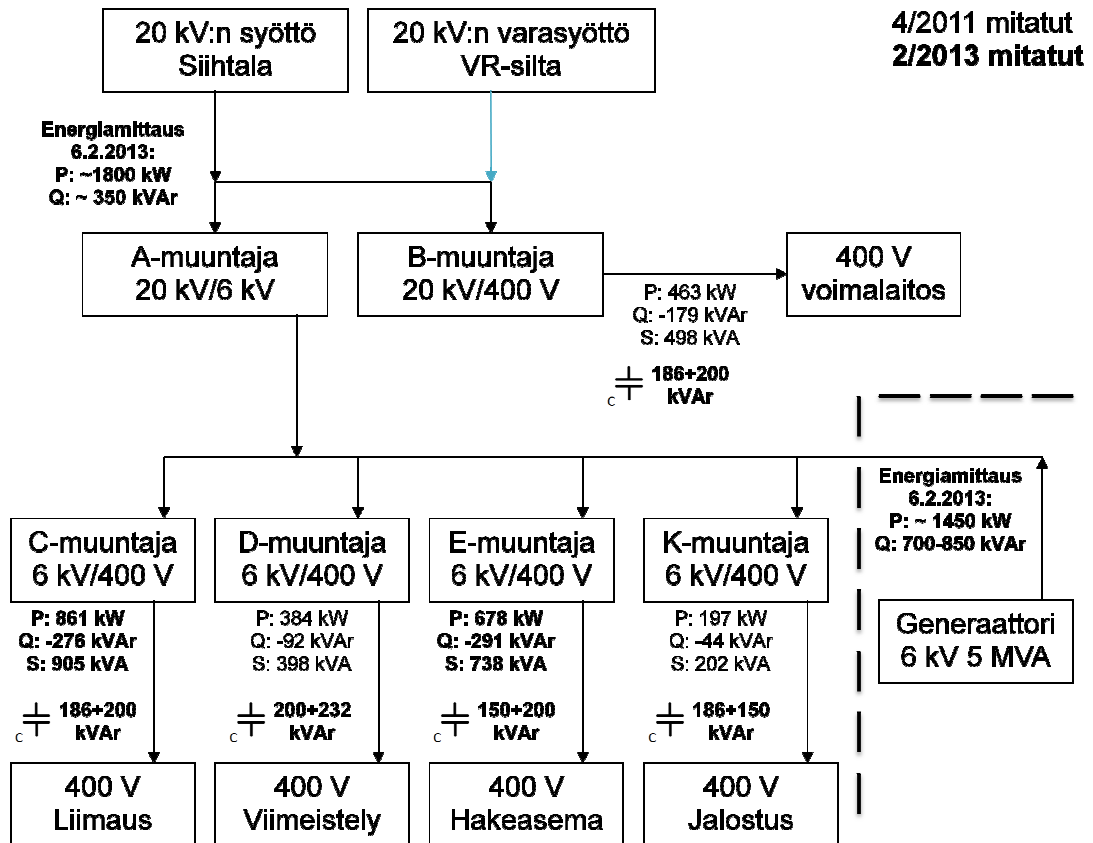
<b>Keskus</b>	<b>Pätöteho [kW]</b>	<b>Loisteho [kVAr]</b>	<b>Näennäisteho [kVA]</b>
B	463,28	-178,59	498,40
C	861,35	-276,04	905,00
D	384,09	-92,37	398,08
E	678,15	-291,49	738,43
K	196,78	-44,11	202,18
<b>Yhteensä</b>	<b>2583,65</b>	<b>-882,60</b>	<b>2742,09</b>

## 9 Vaneritehtaan sähköverkon tarkastelu

Tehtaan tehotasapaino muuttuu lopetettaessa sähkökehitys generaattorilla. Tällainen tilanne tulisi eteen pidemmän huoltojakson tai yksinkertaisesti generaattorin ja sen laitteiston vioittumisen takia. Vioittumisen tapauksessa jo iäkkäille laitteille on harkittava uusimisen kannattavuutta ja tässä työssä ehdotettu järjestely toimii korvaavana ratkaisuna. Generaattorituoton hävittyä, edellä esitetty kuukausittainen pätötehohuippu 1,3–2,4 MW on saatava jakeluverkosta A-muuntajan välityksellä. Myös loisteho on tuotettava tehtaalla edelleen loistehomaksujen välttämiseksi. Loistehon kuukausittainen huippu oli 0,8–1 MVar.

### 9.1 Tehotasapaino

Tehotasapainoa esitetään kuviossa 2. Kuvioon on koottu aiemmin Huovisen opinnäytetyössä sekä tämän työn aikana mitatut keskustehot ja lisäksi energianmittaustiedot sähköliittymästä sekä generaattorilta. Lihavoidut teholumemat ovat tämän työn aikana mitatut tulokset ja taas ei-lihavoidut aiemmin Huovisen työssä mitattuja. Kondensaattorisymbolin viereinen lukema, esim. 186+200, tarkoittaa kyseiseen keskukseseen asennettujen kompensointipatterien nimellistuottotehot (kVAr). Kompensointiparistot olivat käytössä mittauksien aikana.



Kuvio 2. Tehotasot verkon eri pisteissä.

Kun kuviossa 2 mainituille loisteholukemille suoritetaan karkea yhteistarkastelu, havaitaan liittymäpisteen mittaustuloksen olevan lähellä tarkastelutulosta. Generaattori tuottaa C-, D-, E- ja K-keskuksien tarvitseman loistehon varsin pitkälle. Liittymäpisteeseen tuleva loistehokuorma muodostuu lopulta A- ja B-muuntajien tuomasta loistehokuormasta, jossa on huomioituna muuntajien oma magnetointiloisteho.

Mitatuista tuloksista ja energiankulutusraportista voidaan myös päätellä tehtaan käytönaikaisen loistehokulutuksen olevan melko vakaata (liite 2). Tämä pohjautuu loistehoa kuluttavien laitteiden ominaisuuksilla. Moottoreiden ottama magnetointivirta on suhteellisen vakio, mutta sen sijaan muuntajan ottama loisteho kuitenkin kasvaa suhteessa sen kuormitukseen [4, s. 14–18].

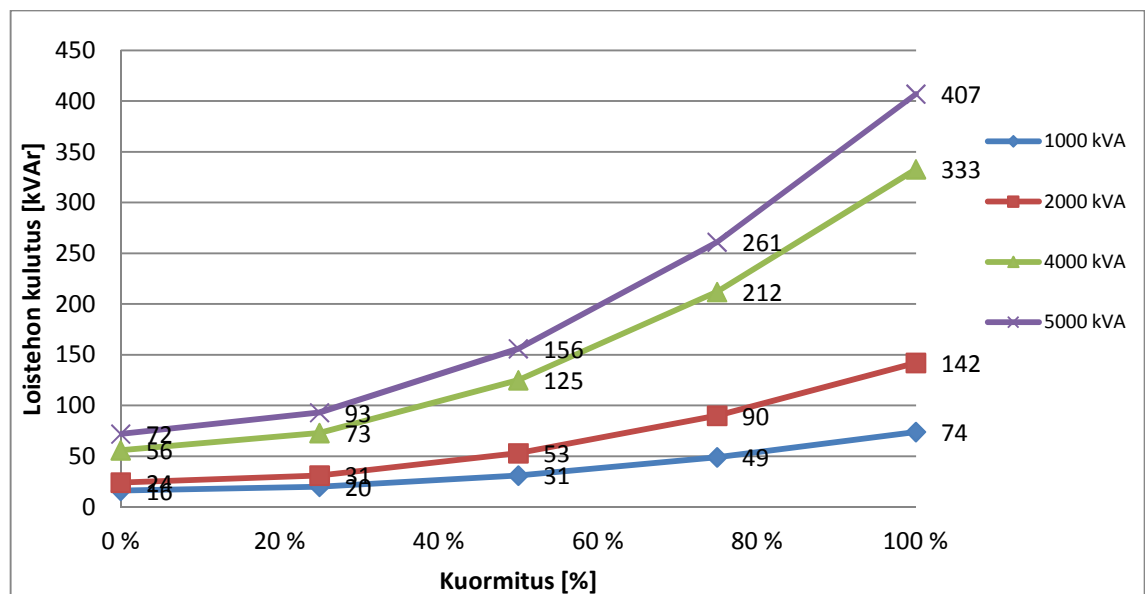
## 9.2 Muuntajien loisteho

Muuntajien tarvitsema loisteho selvitetäisiin tarkoin mittaamalla niiden kulutuslukemia 6 kV keskijänniteverkon puolelta. Mittaukseen ei ollut laitteistoa ja se oli alun perinkin

rajattu pois toimeksiannosta, joten loistehomäärät on selvitetty teoreettisesti. Taulukossa 9 on listattu esimerkiksi kolmen eri nimellistehoisen muuntajan loistehokulutus kuormitusasteilla 0–100 %. Vaneritehtaan tapauksessa 5 MVA:n muuntajalle voidaan teoreettisissa tarkasteluissa soveltaa 1 MVA:n ja 4 MVA:n muuntajien yhteenlaskettua loistehotasoa.

Taulukko 9. ABB-muuntajien loistehon kulutus (kVAr) eri kuormitusasteilla [4, s. 18].

Kuormitus [%]	1000 kVA [kVAr]	2000 kVA [kVAr]	4000 kVA [kVAr]	5000 kVA Teoreettinen [kVAr]
0	16	24	56	72
25	20	31	73	93
50	31	53	125	156
75	49	90	212	261
100	74	142	333	407



Kuvio 3. Loistehokulutuksen graafinen esitys.

Kun edellisellä sivulla esitettyjen kuvio 2 muuntajien kuormitustehot suhteutetaan taulukon 9 lukemiin, saadaan käsitys muuntajien loistehonkulutuksesta. Tiedot on laskettu kootusti taulukkoon 10, jossa on myös tarkasteltu A-muuntajan loistehontarve, kun verkossa ei ole generaattoria. A-muuntajan kuormituslukema on arvioitu C-, D-, E-

ja K-muuntajien tuoman kuormituksen perusteella muuntajien tyhjäkäyntikulutus huomioiden. 2000 kVA:n muuntajien arvokilvestä saatiin tyhjäkäyntikulutukseksi 2,5 kW muuntajaa kohti.

Taulukko 10. Vaneritehtaan muuntajien loistehon kulutus osakuormalla.

<b>Muuntaja</b>	<b>Nimellisteho [kVA]</b>	<b>Kuorma [kVA]</b>	<b>Kuormitus [%]</b>	<b>Loistehon tarve [kVAr]</b>
A (ei gener.)	5000	~2300	46	~150
B	2000	498	25	31
C	2000	905	45	~50
D	2000	398	20	~30
E	2000	738	37	~45
K	2000	202	10	~28

### 9.3 Kompensointi 6 kV:n tasossa

Kompensoimalla loisteho 6 kV:n keskijänniteverkossa saadaan myös kompensoitua muuntajien C, D, E ja K tarvitsemaa loistehoa, kun generaattori ei ole käytettävissä. Työn aikana vaneritehtaalle varattiin kompensointiparisto konsernin toisesta toimipaikasta. Kyseinen keskijännitteeseen sijoitettava 6 kV:n kompensointiparisto on nimellisteholtaan 670 kVAr. Laite kompensoi keskijännitetasossa verkon loistehoa tehokkaasti yltäen samaan tehohaarukkaan generaattorin kanssa (energiamittaus 700–800 kVAr).

Kondensaattorin käytössä on huomioitava sen käynnistyksessä verkkoon aiheuttama vaikutus. Keskijänniteverkossa kondensaattorin suora päällekytkentä voi aiheuttaa jopa 2,5-kertaisen hetkellisen ylijännitteen pienjänniteverkkoon, kun pienjänniteverkon kompensointi on toteutettu rinnakkaiskondensaattoreilla [11, s. 77]. Ilmiön välttämiseksi olisi suositeltavaa käyttää kytkentäaikaista vaimennuspiiriä (vastus tai kela) tai vaihtoehtoisesti ns. nollapistekatkaisijaa, joka suorittaa kytkennän vaihejännitteiden nollakohdan hetkenä [11, s. 64].



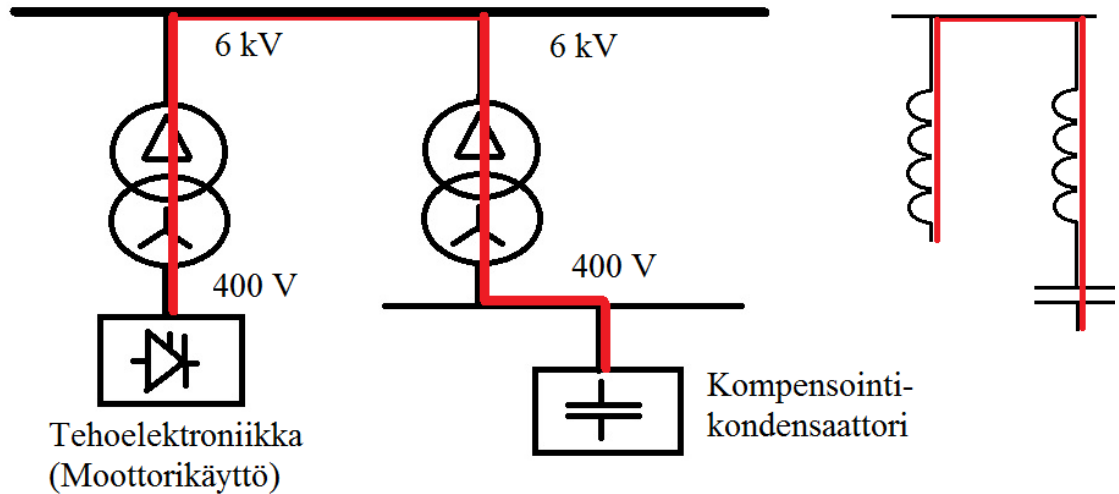
## 10 Ratkaisut

Toimeksiannon lähtökohtana oli selvittää kompensointivaihtoehtoja generaattorituoton korvaajaksi. Tässä osiossa esitellään kolme eri ratkaisuvaihtoehtoa, joissa on huomioitu teknisten näkökohtien lisäksi taloudellisuusseikkoja. Ratkaisuja ohjasi edellä mainittu 6 kV:n kompensointiparisto, jonka pohjalta muu kompensointi järjestetään.

### 10.1 Kompensoinnin kulmakiviä

Kompensointilaitteet synnyttävät verkkoon rinnakkais- ja sarjaresonanssiipiirejä. Kirjallisuus mainitsee ratkaisuissa vältettäväksi sekakompensointitilannetta, jossa muuntopiirin samassa galvaanisessa verkossa käytetään samanaikaisesti rinnakkais- ja estokelaparistoja. Kuitenkin huomio kiinnittyy jakeluverkkoihin eri kuluttajien kesken, eikä ongelmaa kohdenneta kiinteistön sisäiseen verkkoon, esimerkiksi estokelapariston ja laitekohtaisten kompensointien yhteisvaikutukseen. Laitevalmistajat sen sijaan ottavat ohjekirjoissaan kantaa oikeaan toteutustapaan kyseisissäkin tilanteissa. Joka tapauksessa, sekakompensointitilanteessa verkko kannattaa mitata mahdollisten muutoksien vuoksi estokelaparistojen kytkennän jälkeen varmistaen, ettei mikään komponentti joudu ylikuormitetuksi taikka jännitesäro kohoaa. [11, s. 65, 79–80.]

Vaneritehtaan kolmivaiheisista moottorikäyttöistä johtuvat yliaallot voivat päästä kulkeutumaan muuntajan läpi 6 kV:n keskijänniteverkkoon ja edelleen toisen muuntajaan kautta takaisin pienjännitteeseen. Tämän myötä pienjännitteen jännitesäro voi kasvaa resonanssien takia. Tilannetta parantavat ratkaisevasti suuritehoiset muuntajat, tehden verkosta osaltaan matalaimpedanssisen ja tukevan. Suurella muuntajien oikosulkuteholla vaimennetaan yliaaltoja, estetään resonanssien syntyminen tai vahvistuminen, mikä lopputuloksena vähentää mahdollista jännitesäroä [7, s. 66].



Kuvio 4. Sarjaresonanssin syntyminen [11, s. 68].

Verkkoon syntyy rinnakkaisresonanssiin tarvittava mekanismi käytettäessä kondensaattoriparistoa keskijänniteverkossa. Rinnakkaisresonanssin muodostaa tällöin verkon induktanssi ja kondensaattorin kapasitanssi. Verkon jännitesäro voi kasvaa kaksin-kolminkertaiseksi resonanssissa vahvistuneiden virtojen myötä. Kaavoista 6–8 nähdään teoreettinen resonanssitilanteen laskelma 2 MVA muuntajalle. Resonanssitaajuus on pienimmillään eli lähempänä merkittäviä yliaaltotaajuuksia, kun tarkastellaan yhtä muuntajaa useiden muuntajien rinnankäytön sijasta. Luvut ovat muuntajan arvokilven tiedoista. [11, s. 66; 14, s. 36.]

$$Z_k = \frac{u_k}{100\%} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6,5}{100\%} * \frac{6000^2}{2 * 10^6} = 1,17 \Omega \quad (6)$$

$$S_k = \frac{U_n^2}{Z_k} = \frac{6000^2}{1,17} = 3,08 \text{ MVA} \quad (7)$$

$$f_r = \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} * f_n = \sqrt{\frac{3,08 * 10^6}{670 * 10^3}} * 50 \approx 107 \text{ Hz} \quad (8)$$

jossa

$Z_k$  = Muuntajan oikosulkuimpedanssi [ $\Omega$ ]

$u_k = z_k$  = Muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi [ $\Omega$ ]

$U_n$  = Muuntajan nimellisjännite [V]

$S_n$  = Muuntajan nimellisteho [kVA]

$S_k$  = Muuntajan oikosulkuteho [kVA]

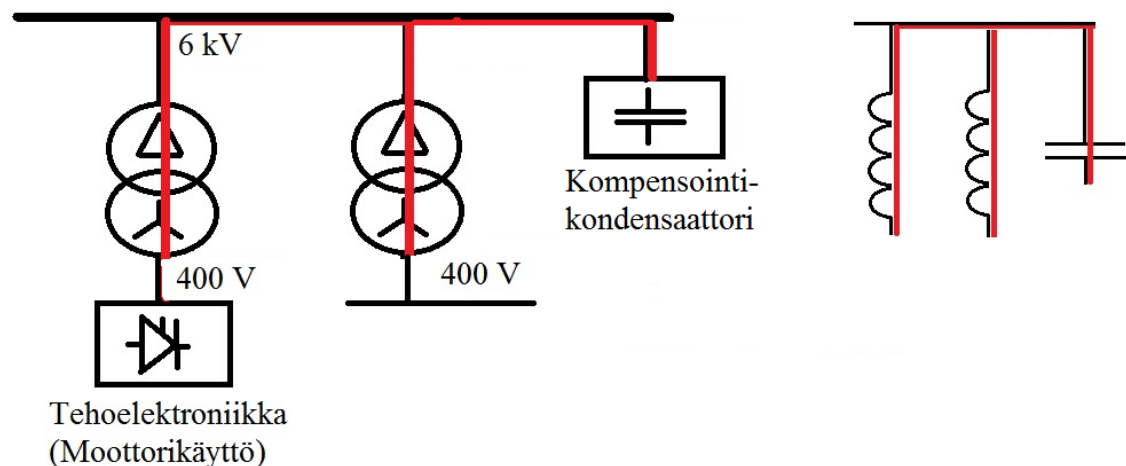
$f_r$  = Rinnakkaisresonanssitaajuus [Hz]

$Q_c$  = Kompensointiteho [kVAr]

$f_n$  = Verkon nimellistaajuus (50) [Hz]

Alhaisin resonanssitaajuus 107 Hz on hieman yli perusaallon toisen kerrannaisen taajuutta. Tehtaalla esiintyvät 5. ja 7. (250 Hz, 350 Hz) yliaalto eivät osu laskettuun tulokseen. Kun 5 MVA muuntajalle arvioidaan suhteelliseksi oikosulkuimpedanssiksi 7,5 %, saadaan laskettua verkolle eri variaatioita. Laskemat kaavoja 6–8 käyttäen, ilmaisevat eri verkon variaatioiden resonanssitaajuuden jäävän perustaajuuden 50 Hz kerrannaisten väliin. Poikkeuksen tähän tekee vain 5 MVA muuntaja ja kondensaattoriparisto yhdessä, missä resonanssitaajuus osuu 10. yliaallolle.

Vaneritehtaalla rinnakkaisresonanssista ei pitäisi muodostua ongelmaa edellä laskettujen resonanssitaajuuksien perusteella. Tarkastelu on kuitenkin teoreettinen, joten käyttötilanteissa olisi hyvä tarkkailla verkon yliaaltojen kehittymistä, varsinkin keskijännitetasolta.



Kuvio 5. Rinnakkaisresonanssin syntyminen [11, s. 65].

## 10.2 Kompensointi pääkeskuksissa

Kompensointi pääkeskuksissa -ratkaisuvaihtoehto on enimmäkseen näkökulmaa antava toteutuen poikkeustilanteissa. Kompensointia ei ole 6 kV:n verkossa. Generaattori ei ole käytettävissä. Keskuksien olemassa olevat kompensointiparistot ovat käytössä ja kaikki tarvittava loisteho kulutetaan sähköliittymästä. Kustannus syntyy loistehomaksun ilmaisosuuden ylittävästä määrästä.

Vuosiraportista (liite 2) saadaan tehtaan ja generaattorin yhteinen energiankulutuksen keskiarvo yhdeltä kuulta suuntaa-antavasti. Tästä voidaan laskea kustannuksiksi

muodostuva loistehomaksuosuus (kaavat 9–11). Loistehomaksu on Fortum hinnastossa mainittu 4,55 €/kVAr kuukaudessa [6]. Maaliskuussa 2012 pätötehon yhteiskulutus on ollut 4749 kW ja loistehon 1806 kVAr. Kustannuksesta tulee varsin suuri jo yhdessä kuukaudessa. Hinnat ovat arvonlisäverottomia.

$$Q_{Lask} = Q_{Max} - P_{Max} * K \quad (9)$$

$$Q_{Lask} = 1806 - 4749 * 0,2 = 856,2 \text{ kVAr} \quad (10)$$

$$Maksu = 856,2 * 4,55 \approx 3900 \text{ €/kk} \quad (11)$$

jossa

$$Q_{Lask} = \text{Laskutettava loisteho [kVAr]}$$

$$Q_{Max} = \text{Loistehohuippu [kVAr]}$$

$$P_{Max} = \text{Pätöteho huippu [kW]}$$

$$K = \text{Verkkoyhtiökohtainen kerroin, Fortum 0,2}$$

### 10.3 Kompensointi keskijänniteverkossa

Tilanne muuttuu paremmaksi lisättäessä kompensointia 6 kV:n keskijänniteverkkoon. Tehtaalle hankitun kompensointipariston tehon ollessa 670 kVAr tavoitetaan jo generaattorituoton teholuokka. Jäljelle jäävä loistehomäärä saadaan, kun vähennetään generaattorin kuukausittaisesta keskitehosta kompensointipariston teho. Jäljelle jäänyt loisteho yhdessä muun loistehokulutuksen kanssa muodostaa kokonaiskustannuksen (kaavat 12–14). Ratkaisuvaihtoehdossa ei huomioida asennus tai kondensaattoripariston apulaitteiden mahdollista hankintaa, koska niistä aiheutuvat kustannukset jäävät merkityksettömiksi melko lyhyellä aikavälillä.

Laskelmassa käytetyt tiedot ovat maaliskuulta 2012 (liite 2). Generaattorin tuottama loistehomäärä oli 976 kVAr ja tehtaan kokonaiskulutus 830 kVAr keskiarvoina. Kokonaispätötehon keskikulutus oli 4749 kW ja loistehomaksu 4,55 €/kVAr kuukaudessa [6]. Hinnat ovat arvonlisäverottomia.

$$Q_{Kok} = Q_{Gen} - Q_C + Q_{Muu} = 976 - 670 + 830 = 1136 \text{ kVAr} \quad (12)$$

$$Q_{Lask} = 1136 - 4749 * 0,2 = 186,2 \text{ kVAr} \quad (13)$$

$$Maksu = 186,2 * 4,55 \approx 847 \text{ €/kk} \quad (14)$$

jossa

$$Q_{Kok} = \text{Kulutettavan loistehon keskiarvo [kVAr]}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{Gen} &= \text{Generaattorin loistehokeskiarvo [kVAr]} \\
 Q_C &= \text{Kompensointiteho [kVAr]} \\
 Q_{Muu} &= \text{Tehtaan muu kuluttama loisteho, keskiarvo [kVAr]}
 \end{aligned}$$

Kondensaattoriparisto laskee kuukausittaista loistehomaksua merkittävästi. Kuitenkin maksettavaksi jäävä kustannus ohjaa lisäkompensointiin. Lisäkompensointia voidaan sijoittaa eri keskuksiin, nostaa niiden kompensointiastetta.

#### 10.4 Loistehomaksut poistava kompensointiaste

Viimeisessä ratkaisuvaihtoehdossa vältetään loistehomaksut kasvattamalla kompensointiastetta mutta pitäen laitehankinnat mahdollisimman kannattavina. Edellisessä ratkaisussa esiteltyyn 670 kVAr kompensointipariston lisäksi kompensointia lisätään C- ja E-keskuksiin. Mittaustuloksien perusteella loistehon kulutus oli lähellä 300 kVAr:a keskusta kohden sekä tehokerroin C-keskuksessa noin 0,96 ja E-keskuksessa noin 0,93. Tiedoista voidaan päätellä lisäkompensoinnin olevan tarpeellista. Teoreettisesti tehokerrointa nostaa tasolle 0,98, loistehomäärä C-keskukseen saadaan kaavoista 15–16.

$$Q_{TC} = \sqrt{\left(\frac{P_C}{\cos\varphi}\right)^2 - P_C^2} = \sqrt{\left(\frac{861}{0,98}\right)^2 - 861^2} \approx 175 \text{ kVAr} \quad (15)$$

$$Q_{KC} = Q_C - Q_{TC} = 276 - 175 = 101 \text{ kVAr} \quad (16)$$

jossa

$$\begin{aligned}
 Q_{TC} &= \text{Kulutettavan loistehon tavoitearvo, C-keskus [kVAr]} \\
 P_C &= \text{Mitattu keskimääräinen pätöteho, C-keskus [kW]} \\
 Q_{KC} &= \text{Kompensoitavaksi jäävä loisteho, C-keskus [kVAr]} \\
 Q_C &= \text{C-keskuksen loisteho, kun } \cos\varphi=0,96 \text{ [kVAr]}
 \end{aligned}$$

E-keskukseen kompensoitavaksi jäävä loisteho lasketaan kaavoissa 17–18. Edelleen yhdistämällä C- ja E-keskusten loistehotarpeet, voidaan tarkastella kompensointiasteen riittävyys.

$$Q_{TE} = \sqrt{\left(\frac{P_E}{\cos\varphi}\right)^2 - P_E^2} = \sqrt{\left(\frac{678}{0,98}\right)^2 - 678^2} \approx 138 \text{ kVAr} \quad (17)$$

$$Q_{KE} = Q_E - Q_{TE} = 291 - 138 \approx 153 \text{ kVAr} \quad (18)$$

$$Q_{Kok} = Q_{KC} + Q_{KE} = 101 + 153 = 254 \text{ kVAr} \quad (19)$$

$$Q_{Lask} = (1136 - 254) - 4749 * 0,2 \approx -68 \text{ kVAr} \quad (20)$$

jossa

$Q_{TE}$  = Kulutettavan loistehon tavoitearvo, E-keskus [kVAr]  
 $P_E$  = Mitattu keskimääräinen pätöteho, E-keskus [kW]  
 $Q_{KE}$  = Kompensoitavaksi jäävä loisteho, E-keskus [kVAr]  
 $Q_E$  = E-keskuksen loisteho, kun  $\cos\varphi=0,93$  [kVAr]

Kun kohdassa 10.3 esitetyn kulutetun loistehon keskiarvosta 1136 kVAr vähennetään keskuksien lisäkompensointiteho 254 kVAr, voidaan laskea lopullinen maksettavan loistehon osuus. Tulos menee negatiiviseksi, jolloin loistehomaksulta vältytään (kaavat 19–20).

Kahden 150 kVAr:n tehosen kompensointipariston yhteishinta on karkeasti 8000 €, jolloin kohdan 10.3 hintaan verraten investointi maksaa itsensä takaisin noin vuodessa, vaikka laskettaisiin mukaan myös arvioitu asennustyö [5, s. 62]. Laiteinvestoinnit voidaan tehdä porrastetusti, hankkien ensin esimerkiksi C-keskuksen tarvitsema laitteisto, työn ollen helpompi suuremman asennustilan vuoksi. Tämän jälkeen tarkastetaan mahdollinen kompensoinnin lisätarve kiinteistön sähköliittymän kuukausiraportoinnista.

## 11 Pohdinta

Mittauksien ja muiden tietolähteiden myötä kompensoinnille löydettiin vaihtoehtoisia järjestelyitä toimeksiannon mukaisesti. Edellä esitetyissä ratkaisuissa on kuitenkin epävarmuutta johtuen loistehotason määrittämisen vaikeudesta. Täsmällisempi ratkaisu saataisiin mittaamalla loistehomäärä kaikista tarvittavista mittapisteistä samalla hetkellä. Tämän järjestäminen on käytännössä vaikeaa. Loistehomäärän pysyessä tehtaan normaalissa käyttötilanteessa suhteellisen vakaana, ratkaisuista saadaan riittävän yksityiskohtaisia tulkitsemalla eri tietolähteitä, vaikka mittaukset olisivatkin eri ajankohdilta.

Kompensointiratkaisujen lisäksi mittaustuloksista on hyötyä jatkossa esimerkiksi yliaaltojen selvittämisessä. Kompensointilaitteiden asennuksen jälkeen voidaan

yliaaltojen taso mitata uudelleen ja verrata tämän työn tuloksiin. Jatkotutkimusaiheina voisi olla juuri verkon analysointi erityisesti keskijännitetasolta. Tämä asettaa haasteita niin mittalaitteille ja niiden hankkimiselle kuin käytännön työllekin. Myös moottorikäyttöjen vikatiheys ja häiriöiden selvitys voisivat olla jatkotutkimuskohteita.

Tässä työssä haasteina olivat tarkoituksenmukaisen mitatun tiedon valitseminen ja niiden koonti yhteen ratkaisuksi. Mittauksiin käytetyn sähkönlaadun analysaattorin tietokoneohjelmiston virhe käsitellä nollajohdinta ja kokonaistehoa samana vei aikaa ennen ongelman ymmärtämistä. Varmuus ohjelmiston virheeseen syntyi mittalaittevalmistajan toisen tiedonkäsittelyohjelman (Fluke PowerLog) ja mittalaitteen oman näytön informaation perusteella.

Opinnäytetyöprosessi oli tekijälle mieluisa koko prosessin ajan. Mielenkiintoinen aihe yhdistettynä teollisuuden voimasähköjärjestelmiin oli hyvä opinnäytetyön kohde. Ammattiosaamista laajensi erityisesti käytännön töiden tuoma kokemus. Työn hyödyn viimeisteli teoriaosuuden käsittely ja varsinkin standardien, lupakäytäntöjen ja eri ohjeistuksien selvittäminen.

## Lähteet

1. UPM-Kymmene Wood Oy. Joensuun vaneritehtaan esittely. [Viitattu 4.2.2013]. <http://www.wisaplywood.com/fi/yhteystiedot/tuotantolaitokset/joensuu/Pages/default.aspx>.
2. UPM-Kymmene Wood Oy. UPM yritysesittely. [Viitattu 4.2.2013]. <http://www.upm.com/FI/UPM/Pages/default.aspx>
3. Aura L. & Tonteri A.J. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet, 3.–6. painos. Helsinki. 2009. ISBN: 978-951-0-21385-8.
4. ABB S.p.A. ABB Technical Application Papers 8, Power factor correcting and harmonic filtering in electrical plants. 2008. [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/18aa8879b8cc0186c125761f005035b7/\\$file/Vol.8.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/18aa8879b8cc0186c125761f005035b7/$file/Vol.8.pdf)
5. Jaatinen J. Pienjänniteverkon kompensointi. Espoo. 1991. ISBN: 951-9284-66-4.
6. Fortum Sähkönsiirto Oy. Sähkönsiirron hinnasto. [Viitattu 4.2.2013]. [http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FSS\\_Verkkopalveluhinnasto\\_Fin\\_1.1.2013.pdf](http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FSS_Verkkopalveluhinnasto_Fin_1.1.2013.pdf)
7. Sähköinfo Oy. ST 52.16 Kompensointi- ja yliaaltolaitteet ja niiden sijoitus pienjänniteverkoissa. Verkkodokumentti. Sähkötieto ry. [Viitattu 16.2.2013]
8. Alstom Grid Oy. High Voltage Reactive Power Compensation and Harmonic Filtering Products. Verkkodokumentti. [Viitattu 17.2.2013]. <http://www.alstom.net.pl/Global/Finland/Resources/Documents/Grid-Alstom-HV%20Compensation%20Products-72193-V2-EN.fi-FI.pdf>
9. ABB Industry Oy. ABB Tekninen opas nro 5. 2000. [Viitattu 16.2.2013] [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$File/Tekninenopasnro5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$File/Tekninenopasnro5.pdf)
10. Huovinen, Timo. Loistehon kompensointi ja sähköverkkomittaukset. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2011.
11. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Yliaallot ja kompensointi. Espoo. 2006. ISBN: 952-5600-19-X.
12. Fluke Corporation. Käyttöohje, Fluke 435-sähköverkon analysaattori. [http://assets.fluke.com/manuals/434\\_435\\_umeng0300.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/434_435_umeng0300.pdf)
13. Fluke Corporation . Käyttöohje, Fluke i430-Flex -virtasilmukat. [http://assets.fluke.com/manuals/i430flx\\_iseng0000.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/i430flx_iseng0000.pdf)
14. Aura L. & Tonteri A.J. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki. 1996. ISBN: 951-0-20167-7.



## Sähkötyölupa

UPM-Kymmene Oyj  
Joensuun vaneritehdas  
Tehdas: 11  
 Keskenäinen

Sähkötyölupa  
no: 20300019  
Liittyy työlupaan:  
19.02.2013  
Lasse P Juvonen/PLY/UPM

UPM-yksikkö	PLY/Joensuun vaneritehdas
Osaosto/Suorituspaikka /kerros/laitte	111 Tehdasryhmittäiset

## 1.Luvan perustiedot

1.1 Kp-työnumero ja -nimi	701427 Opinnäytetyö loistehon kompensoinnista	
1.2 Tilaaaja	Lasse Juvonen	
1.3 Toimittaja	Oma urakointi	Puh:
1.4 Kohde	Pääkeskus C ja E	
1.5 Työtehtävä	<p>Sähkönmittaus analysointin kytkentä pääkeskukseen</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tutustu jännitetyöohjeeseen.</li> <li>2. Toinen henkilö oltava voimallaitoksella valmiudessa katkaisemaan sähkösyöttö muuntajalta mikäli vahinko tapahtuu.</li> <li>3. Laita jännitetyö varusteet päällesi (hanskat, kengät, maski, )</li> <li>4. Asenna virtasilmukat pääkeskuksen kiskostoihin kohtaan, jossa kiskot mahdollisimman kaukana toisistaan. Noudata erityistä varoitusuutta ja käytä tikkaita, jotka ovat eivät johda sähköä.</li> <li>5. Kytke mittarin jännitemittaus 3-vaihe pistorasiaan, tuippasulakkeisiin tai hauen leuolla kiskoon.</li> <li>6. Kytke mittarin puoleiset johtimen päät ja laita mittaus käyntiin</li> <li>7. Kytkentöjen purkaminen mittauksen loputtua</li> <li>8. Laita jännitetyö varusteet päällesi (hanskat, kengät, maski)</li> <li>9. Sammuta mittari</li> <li>10. Irrota mittarin puoleiset johtimet</li> <li>11. Irrota virtasilmukat kiskostosta</li> </ol> <p><input type="checkbox"/> Keskeytystyö <input checked="" type="checkbox"/> Jännitteisten laitteiden läheisyydessä tehtävä työ</p>	
1.6 Työ alkaa	01.02.2013 09:00	
1.7 Työ päättyy	19.02.2013 15:30	
1.8 Työstä vastaava henkilö	Esa Varonen	Puh:0407241759
1.9 Työryhmän vanhimmat	Esa Varonen	Puh:0407241759
1.10 Sähköturvallisuusvalvoja(t)	Juha Suihko, Esa Varonen, Raimo Konsti (PK:N ammattikorkeakoulu)	Puh:0407241759
1.11 Käyttövalmiusilmoituksen antaa	Lasse Juvonen	Puh:0400-768732
1.12 Kytkennän johtaja	Lasse Juvonen	Puh:0400-768732
1.13 Kytkijä(t)	Esa Varonen, Raimo Konsti (PK:N ammattikorkeakoulu)	Puh:0400-768732

## Sähkötyölupa

Sähkötyölupa , page 2

1.14 Sähkötyöluvan antaa	Lasse Juvonen	Puh:0400-768732
--------------------------	---------------	-----------------

## 2. Työn kuvaus

2.1 Työmaadoituspaikat		
2.2 Työmaadoituksen valvoja		Puh:
2.3 Työkohteen merkitsijä		Puh:
2.4 Huomioon otettavaa	Jännitetyöohjeet	
2.5 Sähköalueen lukinta työaikana	<input checked="" type="radio"/> Toimittaja huolehtii <input type="radio"/> Käyttö / Tilaaaja huolehtii	
2.6 Sähköturvallisuusopastus	Opastuksen työkohteessa antaa Esa Varonen	
2.7 Jakelu työryhmälle	<input type="checkbox"/> Työstä vastaava henkilö antaa sopimuksen työryhmälle	

## 3. Allekirjoitukset

Työstä vastaava:  Esa Varonen	Käytöstä vastaava:  Lasse Juvonen
---	--

## Lisätietoja:

Mittauksen kytkentä liittyy Raimo Konstin opinnäytetyöhön.

Created:  
19.02.2013 Lasse P Juvonen/PLY/UPM

Modified:  
19.02.2013 12:31 Lasse P Juvonen/PLY/UPM  
19.02.2013 12:31 Lasse P Juvonen/PLY/UPM  
01.02.2013 07:45 Lasse P Juvonen/PLY/UPM  
01.04.2011 09:27 Lasse Juvonen (created)

## Sähkönkulutus kuukausitasolla vuodelta 2012

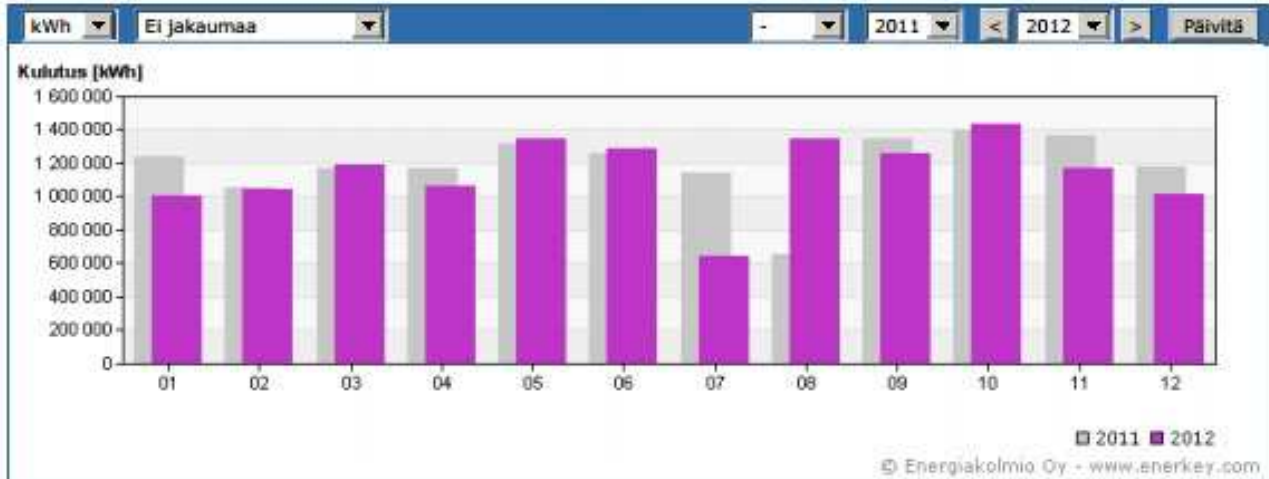
## Vuosiraportti, Sähkö (2012)



4945

18.2.2013

Kohde UPM-Kymmene Wood Oy Joensuu		Katuosoite -, - JOENSUU	
Yritys UPM-Kymmene Wood Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto -	Kiinteistötyyppi	Valmistumisvuosi -	



Yhteensä [kWh]						
Kuukausi	2011	2012	Muutos	Maksimi [kW]	Loishuippu [kVar]	
Tammikuu	1 234 720	1 007 910	-18,4 %	2 500	590	
Helmi	1 049 970	1 046 140	-0,4 %	2 870	380	
Maalis	1 172 380	1 190 350	1,5 %	2 790	830	
Huhtik	1 175 060	1 067 530	-9,2 %	2 900	950	
Toukoku	1 315 120	1 351 000	2,7 %	2 660	620	
Kesäku	1 257 230	1 291 480	2,7 %	3 010	1 050	
Heinäku	1 142 950	646 460	-43,4 %	2 960	1 020	
Elokuu	654 130	1 341 940	105,1 %	3 160	1 150	
Syyskuu	1 344 620	1 262 560	-6,1 %	2 640	540	
Lokakuu	1 395 390	1 430 990	2,6 %	3 270	1 240	
Marrasku	1 366 290	1 172 250	-14,2 %	3 120	1 030	
Joulukuu	1 176 690	1 014 100	-13,8 %	2 400	490	
<b>Yhteensä</b>	<b>14 284 550</b>	<b>13 822 710</b>	<b>-3,2 %</b>	<b>3 270</b>	<b>1 240</b>	

Jakauma		Kulutus	
Päivä (07-22)	8 754 770 kWh	63,3 %	Maksimi 3 270 kW
Yö (22-07)	5 067 940 kWh	36,7 %	Kulutuksen keskiarvo 1 574 kW
Arkipäivä	7 907 150 kWh	57,2 %	Minimi 0 kW
Yö/pyhä	5 915 560 kWh	42,8 %	

Lähde: UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas. 2013. Vuosiraportti. Intranet.

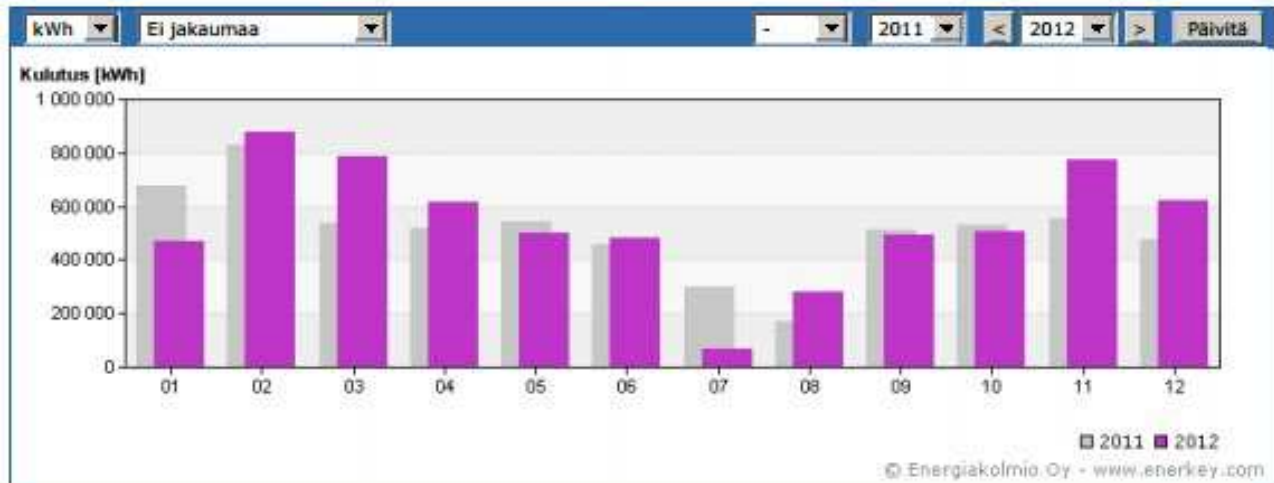
## Generaattorituotto kuukausitasolla vuodelta 2012

## Vuosiraportti, Sähkö (2012)

63518

18.2.2013

Kohde UPM-Kymmene Wood Oy, Joensuu (Generaattori)		Katuosoite PL130, 80101 JOENSUU	
Yritys UPM-Kymmene Wood Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto -	Kiinteistötyyppi	Valmistumisvuosi -	



Yhteensä [kWh]						
Kuukausi	2011	2012	Muutos	Maksimi [kW]	Loishuippu [kVar]	
Tammikuu	674 260	469 093	-30,4 %	2 058	1 018	
Helmikuu	831 568	877 950	5,6 %	2 352	987	
Maaliskuu	534 647	788 909	47,6 %	1 959	976	
Huhtikuu	516 230	618 468	19,8 %	2 018	916	
Toukokuu	544 650	497 565	-8,6 %	1 664	909	
Kesäkuu	458 124	484 431	5,7 %	1 694	932	
Heinäkuu	297 309	68 729	-76,9 %	1 310	830	
Elokuu	171 107	283 514	65,7 %	1 677	841	
Syyskuu	512 950	494 979	-3,5 %	1 702	907	
Lokakuu	528 128	506 848	-4,0 %	1 973	962	
Marraskuu	557 343	774 196	38,9 %	2 003	959	
Joulukuu	478 229	620 484	29,7 %	2 259	964	
<b>Yhteensä</b>	<b>6 104 547</b>	<b>6 485 165</b>	<b>6,2 %</b>	<b>2 352</b>	<b>1 018</b>	

Jakauma		Kulutus		
Päivä (07-22)	4 203 871 kWh	64,8 %	Maksimi	2 352 kW
Yö (22-07)	2 281 295 kWh	35,2 %	Kulutuksen keskiarvo	742 kW
Arkipäivä	3 961 593 kWh	61,1 %	Minimi	0 kW
Yö/pyhä	2 523 572 kWh	38,9 %		

Lähde: UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas. 2013. Vuosiraportti. Intranet.

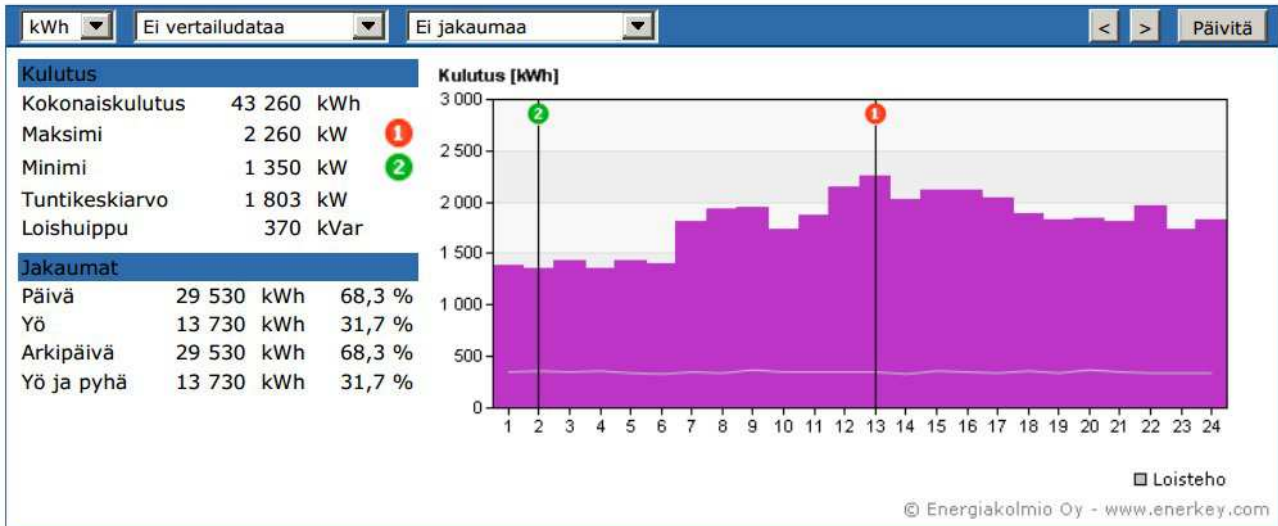
## Sähkötulutus mittauspäivänä 6.2.2013

## Päivä, Sähkö (6.2.2013)

4945

18.2.2013

Kohde UPM-Kymmene Wood Oy Joensuu		Katuosoite -, - JOENSUU	
Yritys UPM-Kymmene Wood Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto -	Kiinteistötyyppi	Valmistumisvuosi -	



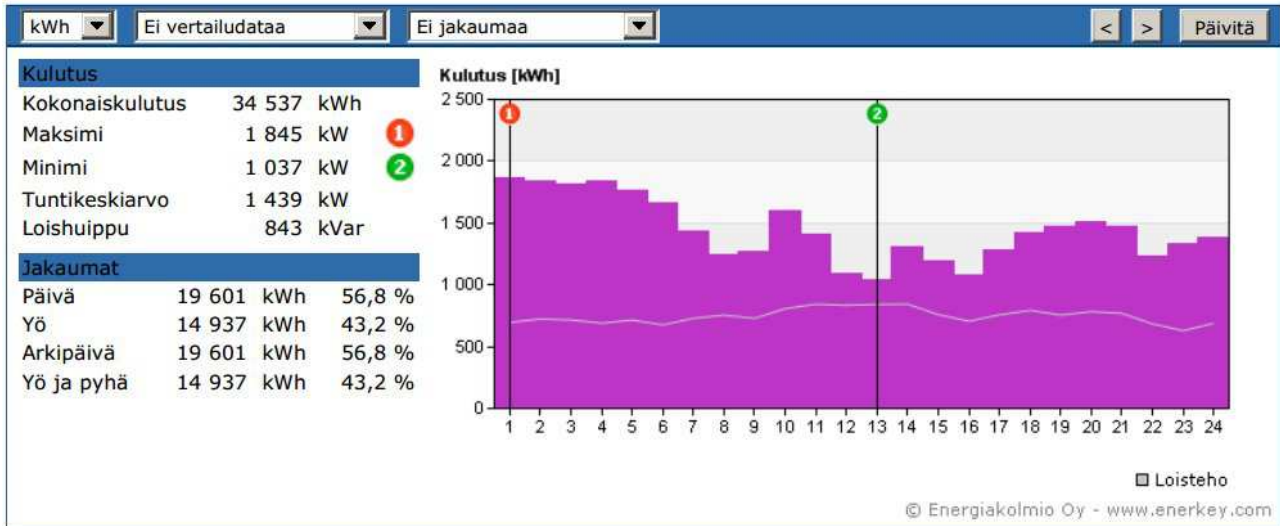
## Generaattorituotto mittauspäivänä 6.2.2013

### Päivä, Sähkö (6.2.2013)

63518

18.2.2013

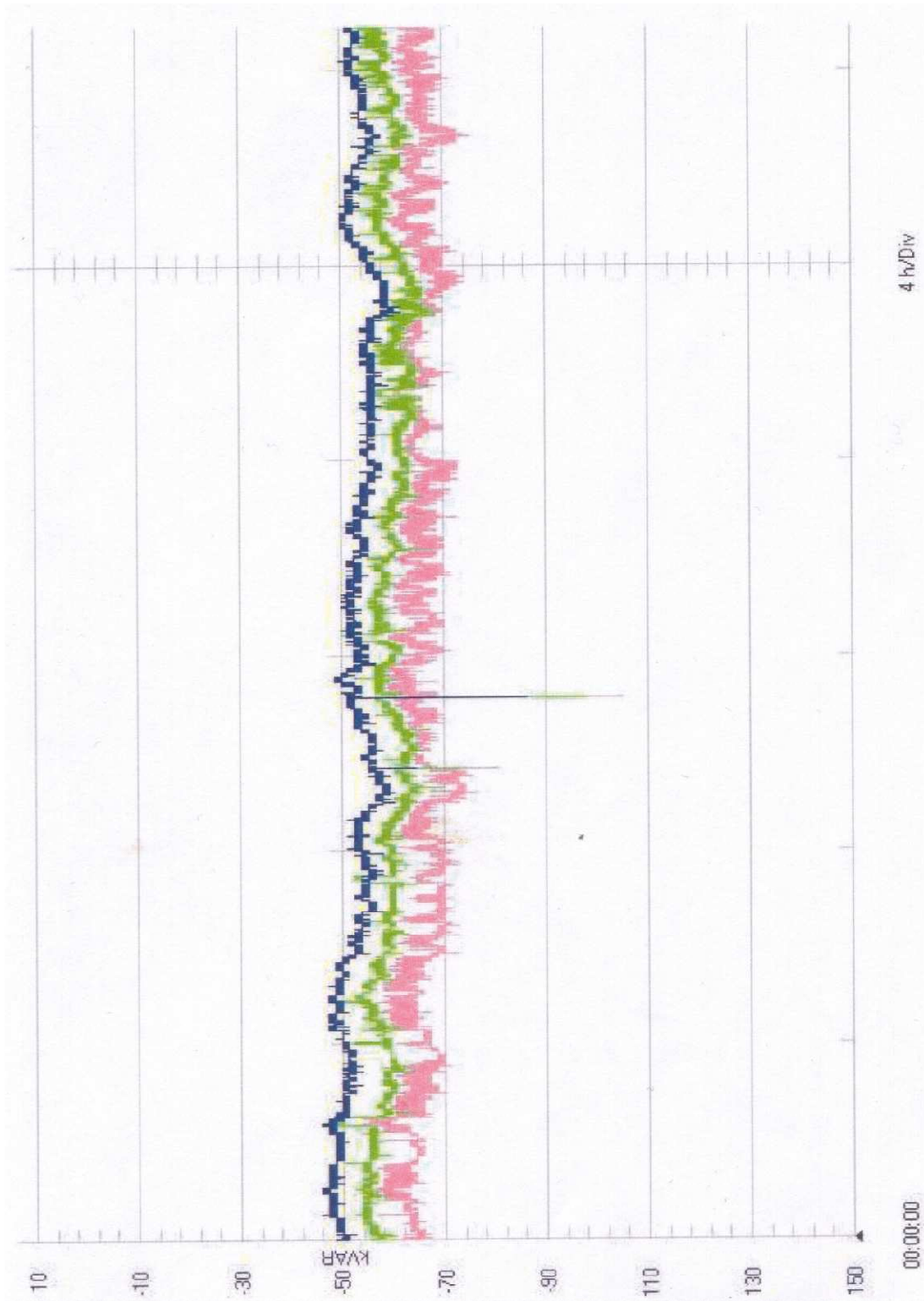
Kohde UPM-Kymmene Wood Oy, Joensuu (Generaattori)		Katuosoite PL130, 80101 JOENSUU	
Yritys UPM-Kymmene Wood Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto -	Kiinteistötyyppi	Valmistumisvuosi -	

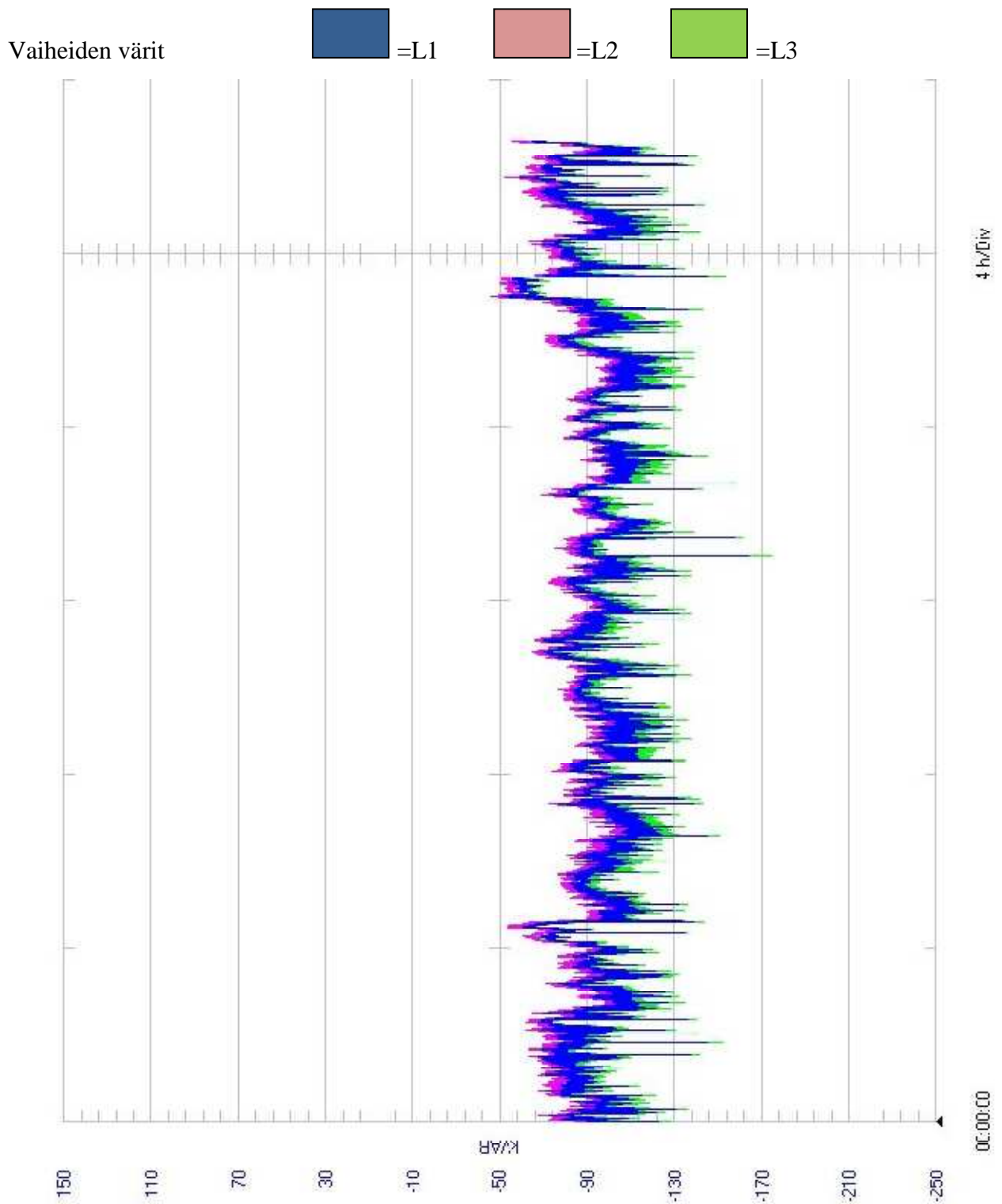


Lähde: UPM-Kymmene Wood Oy Joensuun vaneritehdas. 2013. Vuosiraportti. Intranet

**Loistehokuvaajat vaiheittain, B-keskus**

Vaiheiden värit  =L1  =L2  =L3

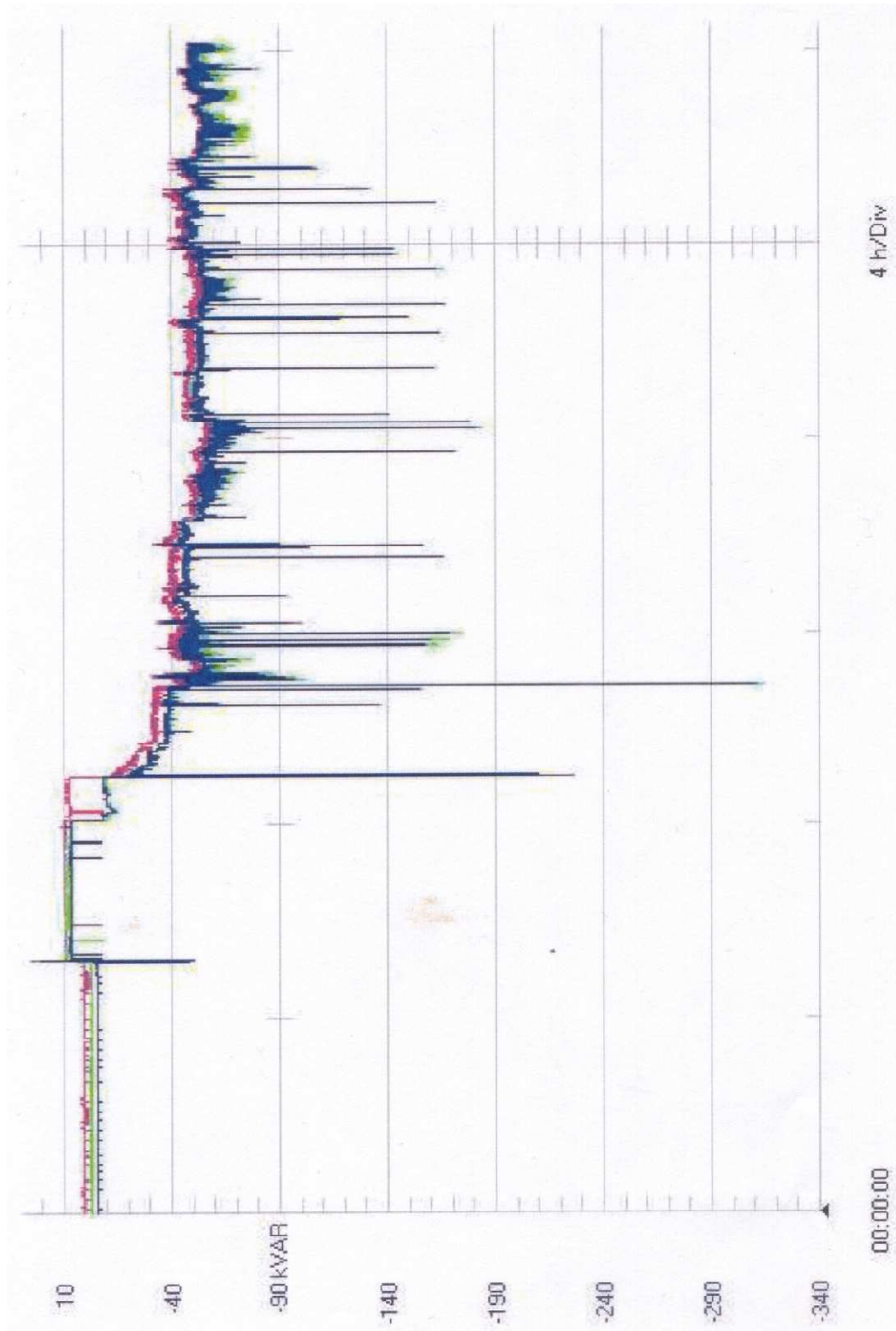


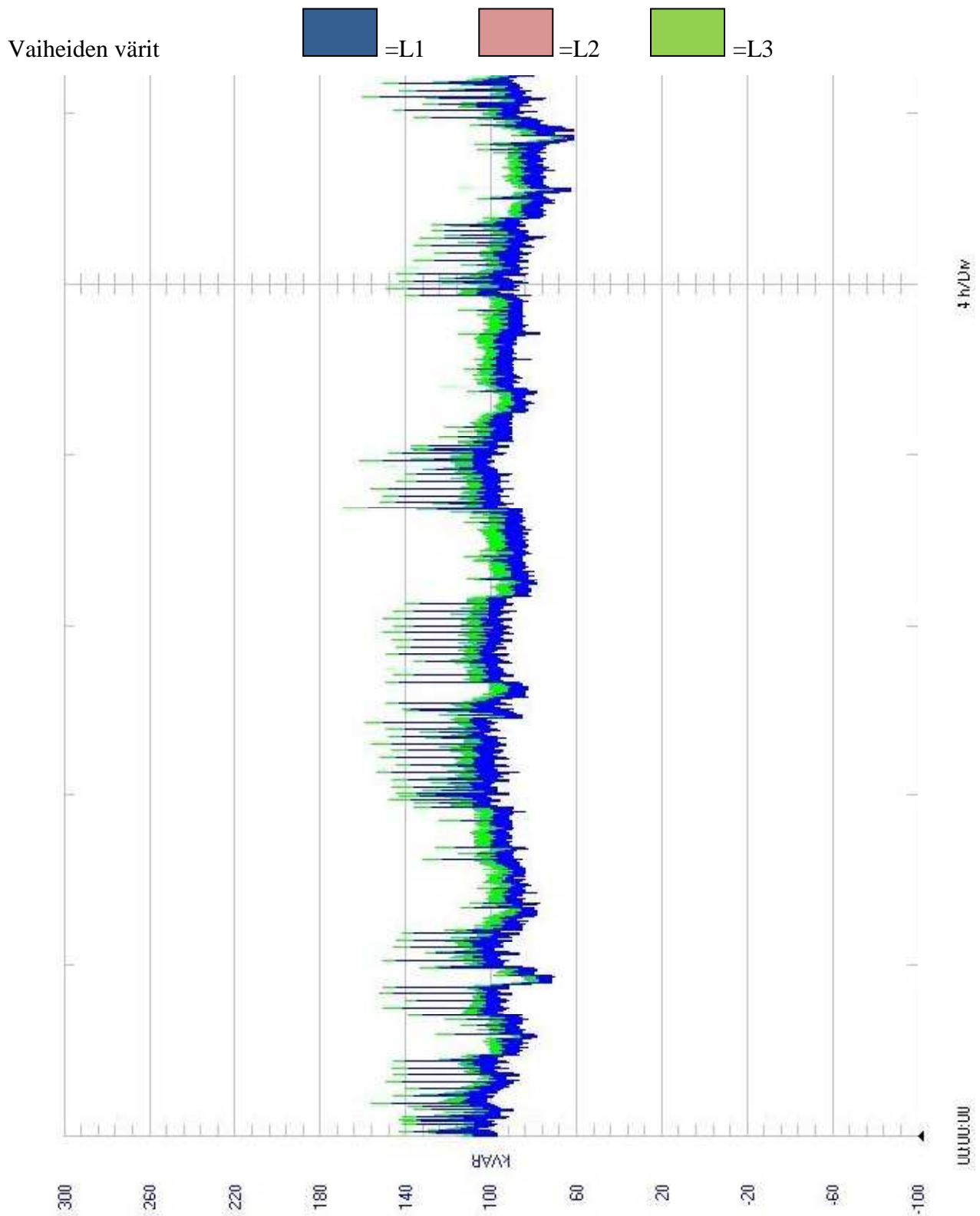
**Loistehokuvaajat vaiheittain, C-keskus**



**Loistehokuvaajat vaiheittain, D-keskus**

Vaiheiden värit  =L1  =L2  =L3



**Loistehokuvaajat vaiheittain, E-keskus**

**Loistehokuvaajat vaiheittain, K-keskus**

Vaiheiden värit  =L1  =L2  =L3

