

Petri Raukola

LOISTEHON KOMPENSOINTI TECHNIP OFFSHORE FINLAND
OY:N MÄNTYLUODON TELAKALLA

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2009



LOISTEHON KOMPENSOINTI TECHNIP OFFSHORE FINLAND OY:N
MÄNTYLUODON TELAKALLA

Raukola, Petri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2009
Nieminen, Esko
Sivumäärä:35

Asiasanat: kompensointi, loisteho

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää Technip Offshore Finland Oy:n Mäntyluodon telakan loistehon kompensointitarve hallien muuntamoissa. Selvityksessä otettiin huomioon muuntamot M1, M2, M6 ja M13 jotka sijaitsevat Korkeahallissa, Matalahallissa, Maalaamossa ja SPAR-hallissa. Telakalla on kaiken kaikkiaan kolmesta muuntamoista, joista mittausviikolla vain edellä mainituissa neljässä oli normaalituotannon aiheuttama kuormitus.

Selvitys tehtiin, koska haluttiin saada tietoa, miten paljon loistehon kompensoinnista olisi taloudellista hyötyä, miten nopeasti toimintakuntoon asennetut kompensointiparistot maksaisivat itsensä takaisin ja mitä muuta hyötyä kompensoinnista olisi verkon toiminnalle.

Mahdollisten kompensointiparistojen tyyppi, koko ja sijoituksen suunnittelu kuuluivat myös työhön. Loistehon kulutusta eri muuntamoissa tutkittiin mittaamalla. Mittaukset suoritti Matti Tapper Areva T&D:ltä käyttäen LEM Topas 1000- verkkoanalysointia ja allekirjoittanut käytössään Satakunnan Ammattikorkeakoululta lainattu Fluke 434 kolmivaihe verkkoanalysointia.

COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN TECHNIP OFFSHORE FINLAND OY MÄNTYLUOTO SHIPYARD

Raukola, Petri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

September 2009

Nieminen, Esko

Number of pages:35

Key words: compensation, reactive power

The purpose of this thesis was to sort out the need for the compensation of reactive power of transforming stations in the factory sheds of Technip Offshore Finland Oy Mäntyluoto shipyard. The thesis involves the transforming stations M1, M2, M6 and M13 located in the factory sheds Korkeahalli, Matalahalli, Maalaamo and SPAR-Halli. There are overall thirteen transforming stations in the shipyard. Only four of the above mentioned transforming stations were loaded by normal production during the week the measurements were made.

This thesis was made to find out the benefits of reactive power compensation, how quickly operational compensation capacitors would pay for themselves and what other benefits they would give considering network performance.

In addition measuring the type, size and possible location of compensation capacitors was included in this thesis. Consumption of reactive power was studied by measuring. Measurements were performed by Matti Tapper from Areva T&D with LEM Topas 1000-Power quality analyzer and by the writer of this thesis using Fluke 434 Power quality analyzer from Satakunta University of Applied Sciences.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | YRITYKSEN ESITTELY | 6 |
| 2 | LOISTEHO | 6 |
| 3 | KOMPENSOINNIN MERKITYS JA SUUNNITTELU | 7 |
| 3.1 | Kompensoinnin merkitys | 7 |
| 3.2 | Kompensoinnin suunnittelu | 7 |
| 4 | LOISTEHOA KULUTTAVIA LAITTEITA | 7 |
| 4.1 | Moottorit | 7 |
| 4.2 | Purkausvalaisimet, kuristimet ja hajakenttämuuntajat..... | 6 |
| 4.3 | Tyristorikäytöt | 8 |
| 5 | LOISTEHOA SYNNYTTÄVIÄ LAITTEITA | 8 |
| 5.1 | Tahtigeneraattorit..... | 8 |
| 5.2 | Kompensointikondensaattorit | 8 |
| 5.3 | Staattinen kompensointilaite..... | 9 |
| 6 | KOMPENSOINTITAVAT | 9 |
| 6.1 | Laitekohtainen kompensointi..... | 9 |
| 6.2 | Valaisinkohtainen rinnankompensointi | 9 |
| 6.3 | Valaisinkohtainen kompensointi sarjakondensaattoreilla..... | 10 |
| 6.4 | Moottorikohtainen kompensointi..... | 10 |
| 7 | MITTAUSJÄRJESTELYT JA -TULOKSET..... | 11 |
| 7.1 | Mittauskalusto..... | 11 |
| 7.2 | Mittauskytkentä | 13 |
| 7.3 | Mittaustulokset..... | 15 |
| 8 | LOISTEHON AIHEUTTAMAT KUSTANNUKSET | 21 |
| 8.1 | Ilmaisen loistehon määrä kuukaudessa..... | 22 |
| 8.2 | Maksullisen loistehon määrä ja kustannukset..... | 23 |
| 8.2.1 | Maksullisen loistehon määrä kuukaudessa | 23 |
| 8.2.2 | Loistehomaksu kuukaudessa | 23 |
| 8.2.3 | Loistehomaksu vuodessa..... | 23 |
| 9 | LOISTEHON VAIKUTUKSET VERKOSTOON | 24 |
| 9.1 | Loisvirta | 24 |
| 9.2 | Tehokerroin $\cos\varphi$ | 25 |
| 9.3 | Yliaallot | 26 |
| 10 | LOISTEHOTARPEEN MÄÄRITYS MUUNTAMOKOHTAISESTI..... | 27 |
| 11 | KOMPENSOINTIPARISTOT | 28 |

| | |
|--|----|
| 11.1 Estokelaparistot..... | 29 |
| 11.2 Kondensaattoriparistojen takaisinmaksuaika..... | 31 |
| 12 YHTEENVETO | 32 |
| LÄHTEET..... | 34 |
| LIITELUETTELO | 35 |
| LIITTEET | |

1 YRITYKSEN ESITTELY

Technip Offshore Finland Oy on Porin Mäntyluodossa sijaitseva tuotantotalakka. Sen alana ovat erilaiset Offshoreprojektit ja erikoisosaamista vaativat teknologiateollisuuden komponentit. Yhtiö kuuluu ranskalaiseen Technip konserniin, joka työllistää noin 21000 henkilöä ympäri maailman. Technip Offshore Finland Oy suunnittelee ja valmistaa muun muassa SPAR-runkoja kelluviin öljyntuotantoyksiköihin ja tuulivoimaloihin, energiatuotantoon soveltuvia laitteita sekä teräsrakenteita energia- ja prosessiteollisuudelle maailmanlaajuisesti. Porin Mäntyluodossa työskentelee yli 700 eri alan ammattilaista niin käytännön, suunnittelun kuin johtamisenkin alalla. Eri alojen alihankintayrityksiä on kymmeniä.

2 LOISTEHO

Useimmat kulutuslaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon ohella loistehoa. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Varsinaisen työn niissä tekee, kuten sähkölaitteissa yleensäkin, pätöteho. Loistehoa tarvitaan lisäksi magneettikentän ylläpitämiseen. Sähkölaitokset antavat kuluttajan ottaa loistehoa verkosta yleensä noin 20 %:n verran pätötehon huipusta. Ylittävältä osalta peritään loistehomaksu, jonka tariffit vaihtelevat sähkölaitoksittain. Loistehosta peritään erilliskorvaus, koska se kuormittaa sähkön jakeluverkostoa vähentäen pätötehon jakelukapasiteettia ja sitä kautta edelleen koko sähköntuotannon taloudellista kannattavuutta. Kulutuslaitteiden tarvitsema loisteho on mahdollista tuottaa paikallisesti laitteiden läheisyyteen sijoitettavalla kompensointikondensaattorilla.

3 KOMPENSOINNIN MERKITYS JA SUUNNITTELU

3.1 Kompensoinnin merkitys

Kompensoinnin avulla voidaan loistehon siirrosta johtuvia haittavaikutuksia pienentää tai poistaa. Kaapeleiden, johtimien sekä muuntajien kuormitus pienenee kompensoinnin avulla. Kun tarvittava loisteho tuotetaan paikallisesti mahdollisimman lähellä kulutuspistettä, niin siirtohäviöt ja siirrettävä virta pienenevät. Kompensoinnin avulla voidaan isoissa teollisuuslaitoksissa säästää suuria summia vuositasolla ja kompensoinnin investointiin sijoitetut rahat maksavat itsensä takaisin melko nopeasti.

3.2 Kompensoinnin suunnittelu

Kompensoinnin suunnittelun pohjana oli kartoittaa kompensoitavan loistehon määrä ja sen ajallinen vaihtelu eri muuntamoissa. Loistehon jakautumista ja kulutusta tehtaiden eri muuntamoiden välillä tutkittiin näennäis-, pätö- ja loistehomittauksin. Loistehon suuruuden ja jakaantumisen perusteella pystytään määrittämään kompensointikondensaattoreiden optimaalinen koko, tyyppi ja sijoituskohde.

4 LOISTEHOA KULUTTAVIA LAITTEITA

4.1 Moottorit

Oikosulkumoottorit tarvitsevat loistehoa pitääkseen yllä magneettikenttää. Oikosulkumoottori tekee varsinaisen työn verkosta ottamallaan pätöteholla. Oikosulkumoottoreiden keskimääräinen loistehon tarve on noin 1kvar yhtä pätötehon kW:a kohden. Suhde vaihtelee moottorin suuruuden ja kuormituksen mukaan. Moottorin kuormituksen ollessa pieni loistehon suhde pätötehoon kasvaa. Kuormituksen ollessa nimellinen loistehon suhde pätötehoon pienenee. Tällöin tehokerroin vastaa koneen ilmoitettua tehokerrointa $\cos\varphi/1/$

4.2 Purkausvalaisimet, kuristimet ja hajakenttämuuntajat

Purkauslamppuvalaisimet, kuristimet ja hajakenttämuuntajat ottavat verkosta noin 2kvar / 1kW. Kuristimella varustettujen purkauslamppujen $\cos\phi$ on vain 0,5:n luokkaa. Käytettäessä suuria määriä purkauslamppuvalaisimia kasvaa loistehon määrä suureksi. Valaisimien kompensoimisessa tulisi käyttää valaisinkohtaista kompensointia, joka uusimmissa valaisimissa on jo lähes vakiovaruste./1/

4.3 Tyristorikäytöt

Tyristorikäytöt ottavat verkosta loistehoa noin 1kvar / 1kW. Tyristorikäyttöjen ottama loisteho on lähes kokonaan ohjausloistehoa. Loistehon kulutuksen lisäksi tyristorikäytöt usein synnyttävät haitallisia kondensaattoreita kuormittavia yliaaltoja./1/

5 LOISTEHOA SYNNYTTÄVIÄ LAITTEITA

5.1 Tahtigeneraattorit

Tahtigeneraattoreilla voidaan pätötehon lisäksi tuottaa myös loistehoa. Tämä on mahdollista suurettamalla magnetoimisvirtaa suuremmaksi, kuin mitä generaattorit tarvitsisivat tuottaakseen pelkästään pätötehoa. Tuotettaessa tahtigeneraattoreilla loistehoa on otettava huomioon, että niiden pätötehon tuottokyky heikkenee./1/

5.2 Kompensointikondensaattorit

Kondensaattoreilla tuotettu loisteho on yleensä taloudellisinta, koska ne ovat erittäin vähän huoltoa vaativia ja niiden hintataso on nykyään kohtuullinen. Kondensaattoreilla kompensointi perustuu siihen, että niiden kapasitiivinen reaktanssi kumoaa kuormituksessa syntyvän induktiivisen reaktanssin. Nykyaikaiset kompensointiparis-

tot ovat usein ns. estokelaparistoja, jotka eivät resonoi rinnan verkon kanssa ja lisäksi kela suojaa kondensaattoria yliaalloilta.

5.3 Staattinen kompensattori

Staattisen kompensattorin avulla voidaan kompensoida verkossa esiintyvät jännitteen ja loistehon nopeat vaihtelut. Staattisessa kompensoinnissa kondensaattorit ovat tyristoriohjattuja. /1/

6 KOMPENSOINTITAVAT

Kompensointi on mahdollista suorittaa laitekohtaisesti, ryhmäkohtaisesti tai keskitysti. Kompensointitavan valinnassa on syytä ottaa huomioon muun muassa seuraavat seikat; Käytössä olevat tilat, asennusmahdollisuudet, rahoitus ja laitteistojen vaatimukset.

6.1 Laitekohtainen kompensointi

Sijoittamalla kondensaattori laitteeseen, jossa loistehoa tarvitaan tai mahdollisimman lähelle kulutuspaikkaa, voidaan parhaiten huomioida kompensoinnin vaikutus verkoston mitoitukseen ja teho- sekä jännitehäviöihin. Myös kompensoinnin säätö tulee tällöin ilman lisäkustannuksia mukaan, jolloin kondensaattorit eivät ole verkossa kehittämässä loistehoa, jos itse laitekaan ei ole verkossa. /1/

6.2 Valaisinkohtainen rinnankompensointi

Kondensaattori sijoitetaan valaisintehtaalla valaisimeen ja kytketään kuristimien rinnalle. Useammalle samassa valaisimessa olevalle kuristimelle käytetään yhteistä

kondensaattoria. Purkauslamppuvalaisimien tehokerroin on lampputyypistä riippuen 0,3 - 0,65, joka rinnankompensoinnilla saadaan parannetuksi noin 0,9:ksi. Kondensaattorin jäähdytysolosuhteet ahtaassa valaisimessa ovat huonot, josta johtuen kondensaattoreiden vaurioituminen on todennäköisempää kuin parempiin ympäristöolosuhteisiin sijoitetuilla kondensaattoreilla./1/

6.3 Valaisinkohtainen kompensointi sarjakondensaattoreilla

Tällä tavalla toteutettuna kondensaattori kytketään kuristimen kanssa sarjaan. Valitsemalla kondensaattorin koko riittävän suureksi saadaan yhdistelmän reaktanssi kapasitiiviseksi ja määrältään yhtä suureksi kuin sen rinnalle kytkettävän induktiivisen kuristimen. Mikäli kondensaattorin toleranssi on $f = 4\%$, saadaan valaisimen tehokerroin nousemaan hyvin lähelle yhtä ($> 0,95$).

Sarjakondensaattorin käyttö on yksinkertaista, jos valaisimessa on parillinen lukumäärä lamppuja. Jos lamppuja valaisimessa on vain yksi tai suurempi pariton lukumäärä, tehdään ryhmän joka toinen valaisin kapasitiiviseksi ja joka toinen vastaavasti induktiiviseksi. Tällöin on lisäksi huolehdittava siitä, että kapasitiiviset ja induktiiviset valaisimet jakaantuvat alueellisesti tasaisesti, jotta stroboskooppi-ilmiötä voidaan vaimentaa. Kapasitiivisen ja induktiivisen lampun valovirrat ovat 120° vaihesiirrossa keskenään ja tällä on stroboskooppi-ilmiötä huomattavasti vaimentava vaikutus./1/

6.4 Moottorikohtainen kompensointi

Kolmivaiheisten epätahtimoottoreiden loistehon tarve vaihtelee noin 0,5 - 1 kvar yhtä pätötehon kilowattia kohden riippuen moottorin pyörimisnopeudesta, koosta ja kuormituksesta. Suurin osa loistehontarpeesta voidaan kehittää moottorin yhteyteen sijoitetulla kondensaattorilla, joka liitetään joko moottorin liittimiin tai moottorin käynnistimen liittimiin.

Jotta kondensaattori ei aiheuttaisi haitallista ylijännitettä kun moottori kytketään irti verkosta, on kompensointiaste rajoitettava tehokertoimen arvoon $\cos \varphi \leq 0,98$. Ilmiötä, jossa ylijännite syntyy, kutsutaan myös itseherätykseksi ja se voi aiheuttaa jopa hengenvaaran tietyissä käyttökohteissa. Tällaisia ovat esimerkiksi nosturit ja kuljetimet joiden moottori voi alkaa pyörittää sitä ylinopeudella tai jarrumagneetti ei toimi halutulla tavalla. Kondensaattorin liitântäkaapelia mitoitettaessa on otettava huomioon, että kaapelia suojaamassa ovat vain moottorin yleensä melko suurikokoiset suolakkeet. Tästä johtuen kondensaattorin liitântäkaapelina käytetään usein samaa kaapelipoikkipintaa kuin moottorin liitântäkaapeli./1/

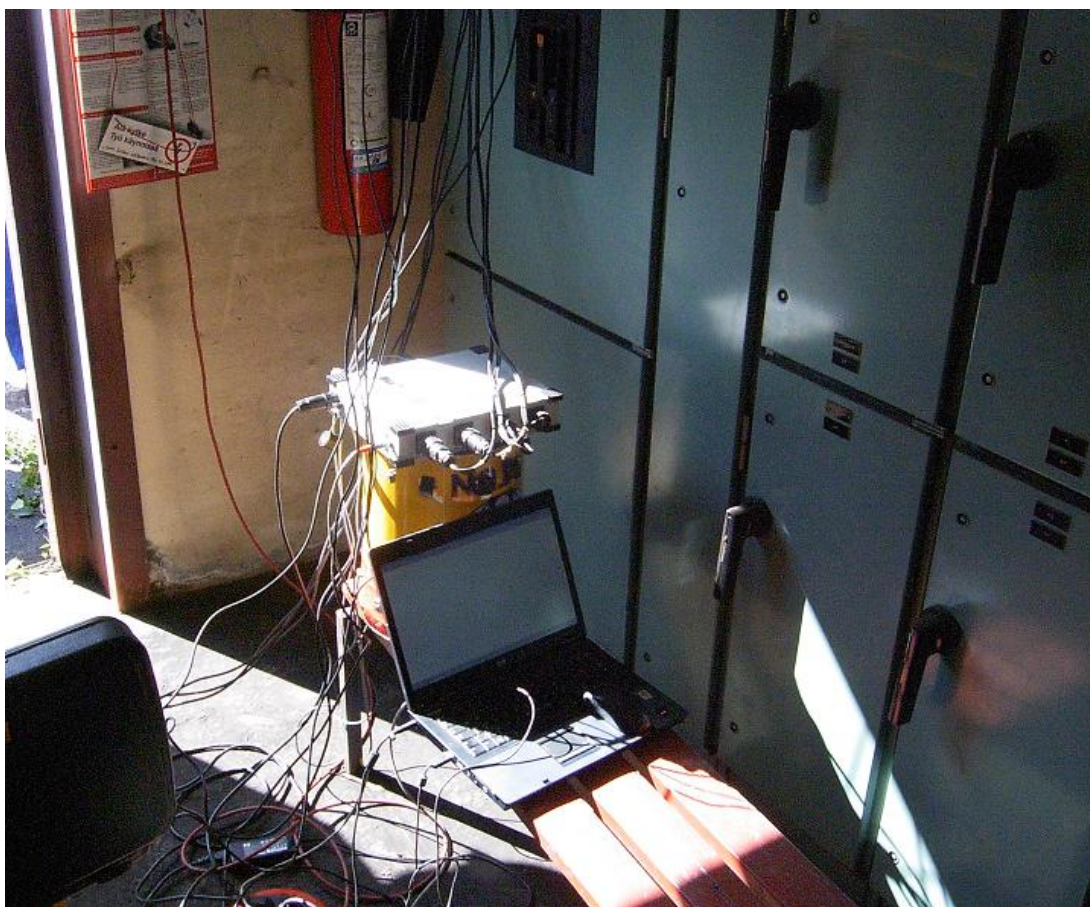
7 MITTAUSJÄRJESTELYT JA -TULOKSET

7.1 Mittauskalusto

Mittaukset suoritettiin muuntamoissa M1, M2, M6 ja M13, kussakin tapauksessa erikseen. Muuntamot sijaitsivat kukin eri hallissa (LIITE 1). Mittaukset suoritti Matti Tapper Areva Oy:stä, käyttäen LEM Topas 1000-verkkoanalysaattoria ja kannettavaa tietokonetta. Saadakseni vertailumateriaalia, suoritin myös itse samat mittaukset käyttäen Satakunnan Ammattikorkeakoululta lainaksi saamaani Fluke 434 kolmivaiheverkkoanalysaattoria.



Kuva1. Mittalaitteet; Fluke 434 ja LEM Topas 1000



Kuva 2. Muuntamo M6 (Maalaamo). Vanhemmissa muuntamoissa tila mittausvälineille oli ahdas. (Kuvaaja Petri Raukola)

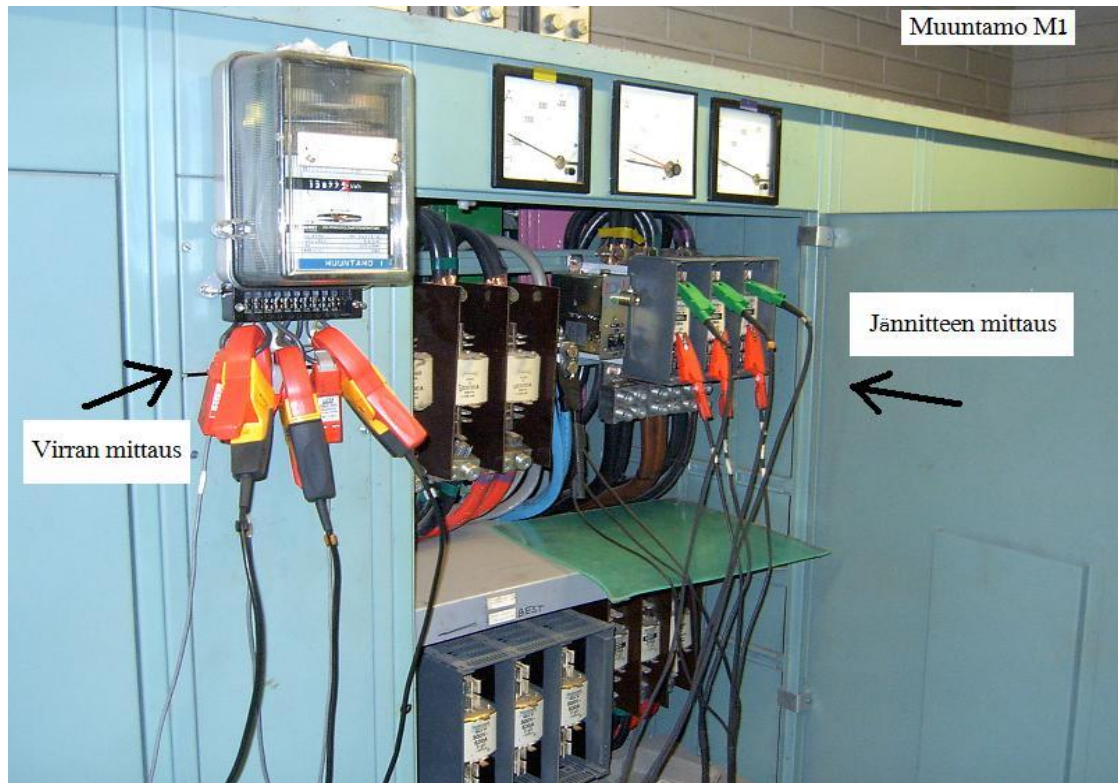
Molemmat mittalaitteistot koostuivat itse mittarista, joihin kytkettiin neljä ”hauenleuka”-mallista pihtiä vaiheiden ja nollan jännitteiden mittaamiseksi sekä neljästä virtapihdistä. Lisäksi mittalaitteet tarvitsivat vielä verkkovirran, jotta laitteet eivät sammuisi 30 minuutin mittausajanjaksolla.

Käytössäni ollut Fluke 434 tallensi mittaustiedot suoraan sisäiseen muistiinsa, joita oli jälkeinpäin mahdollista tarkastella ja analysoida käyttäen FlukeView- ohjelmaa. Matti Tapperin käytössä ollut LEM Topas 1000 oli puolestaan kytkettynä kannettavaan tietokoneeseen, jonne mittaustulokset tallentuivat ja pystyimme tarkastelemaan arvoja reaaliajassa.

7.2 Mittauskytkentä

Mittaus suoritettiin kussakin muuntamossa suoraan virtamuuntajan toisiopuolelta (400V). Virtapihdit kytkettiin kuvan 3. mukaisesti vaiheiden ympärille ja jännitepihdit 400V:n kahvasulakkeisiin. Kytkemisessä oli noudatettava erityistä huolellisuutta, sillä ne suoritettiin jännitteisinä. Kun mittapää oli kytketty, selvitimme kyseisen piirin virtamuuntajan muuntosuhteen ja syötimme tiedot Topas ohjelmaan. Tämän jälkeen mittarit jätettiin tallentamaan tietoa noin 30 minuutiksi.

Fluken mittalaitteen avulla virtapihtien oikeinpäin asettaminen oli helppo tarkistaa katsomalla vektorimoodista eri vaiheiden virran ja jännitteen vaihekulma. Jos vaihekulma näytti yli 90 astetta, oli virtapihti käännettävä toisinpäin. Pätötehon etumerkin avulla tämä oli myös mahdollista tarkistaa.



Kuva 3. Mittauskytkentä muuntamo M1:ssä. (Kuvaaja Petri Raukola)



Kuva 4. Virtapihdit kiinnitettyinä suoraan virtamittareiden johtimiin, muuntamo M6. (Kuvaaja Petri Raukola)

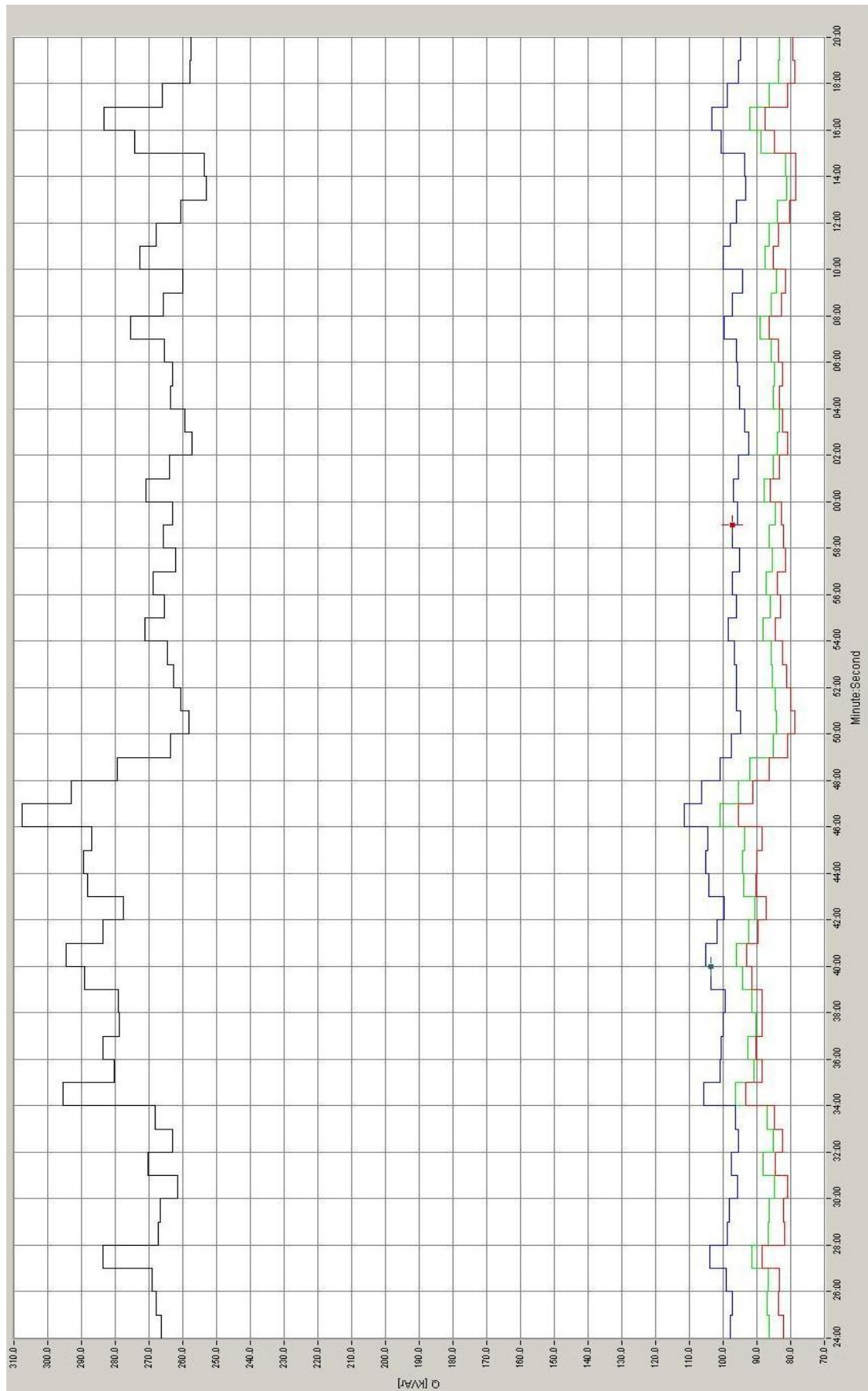
7.3 Mittaustulokset

Jokaisen muuntamon (lukuun ottamatta M13) kohdalla mittausaika oli noin 30 minuuttia, joka on riittävän pitkä aika, tarkan loistehon kulutuksen keskiarvon määrittämiseksi. LEM Topas 1000-mittalaitteella saimme jokaisesta muuntamosta seuraavat tiedot graafisessa muodossa;

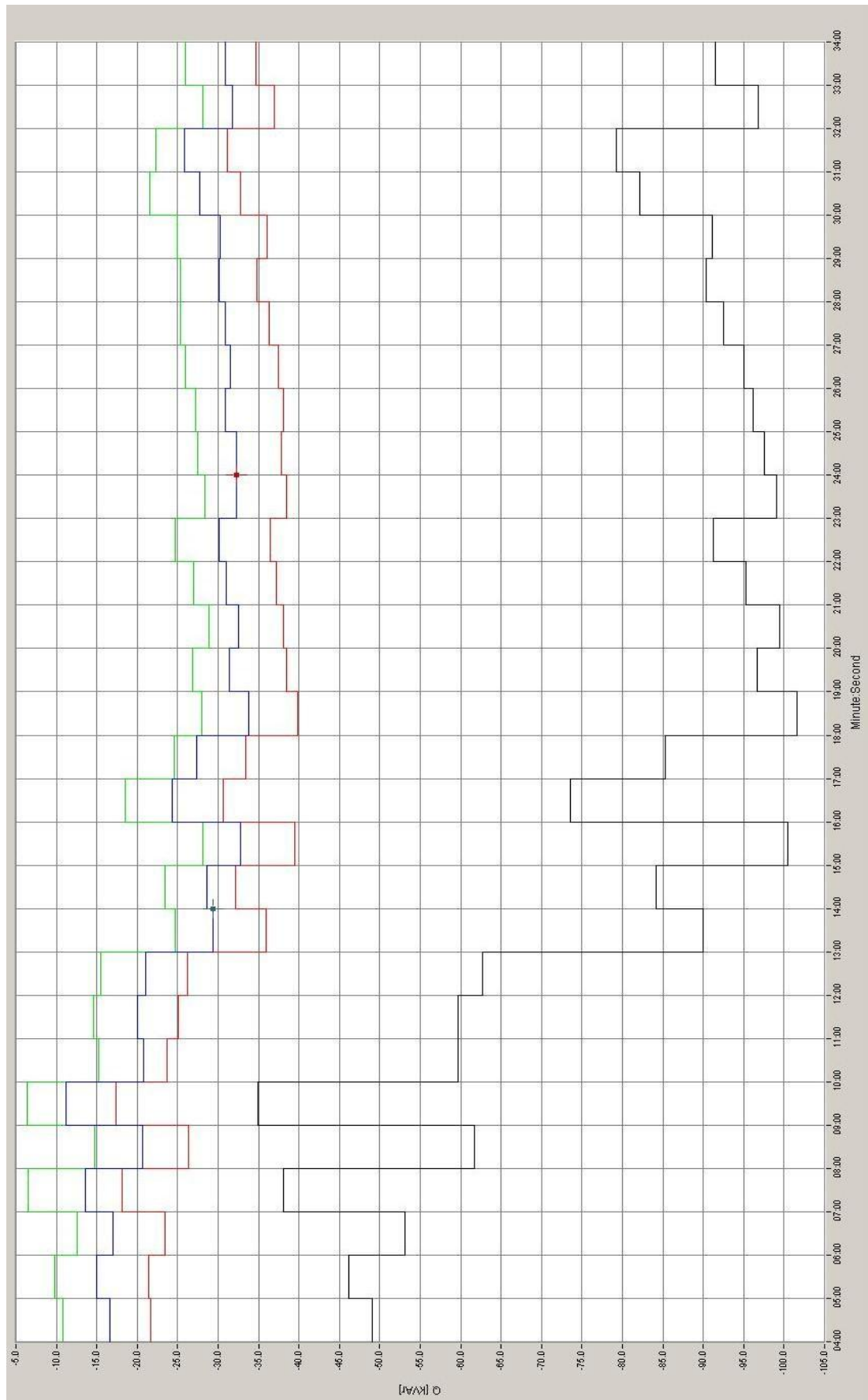
- Loisteho [kvar]
- Pätöteho [kW]
- Jännite [V]
- Virta [A]
- Jännitesärö [%]
- Jännitteen kokonaissärö [%]
- Virtasärö [A]
- Virran kokonaissärö [A]

Seuraavassa on esitetty kaikkien muuntamoiden loistehon kulutus mittausajanjaksoilta. Kuvissa on nähtävissä kokonaisloisteho sekä eri vaiheiden loistehot. Kaikkia mitaustuloksia ei sisällytetty tekstiin niiden vaatiman suuren tilan vuoksi, joten osa niistä on mukana liitteinä esimerkin vuoksi (LIITE 3-5). Myös Fluke-mittalaitteella saatuja kuvaajia ja tuloksia on tallennettu ja lisätty liitteisiin (LIITE 6).

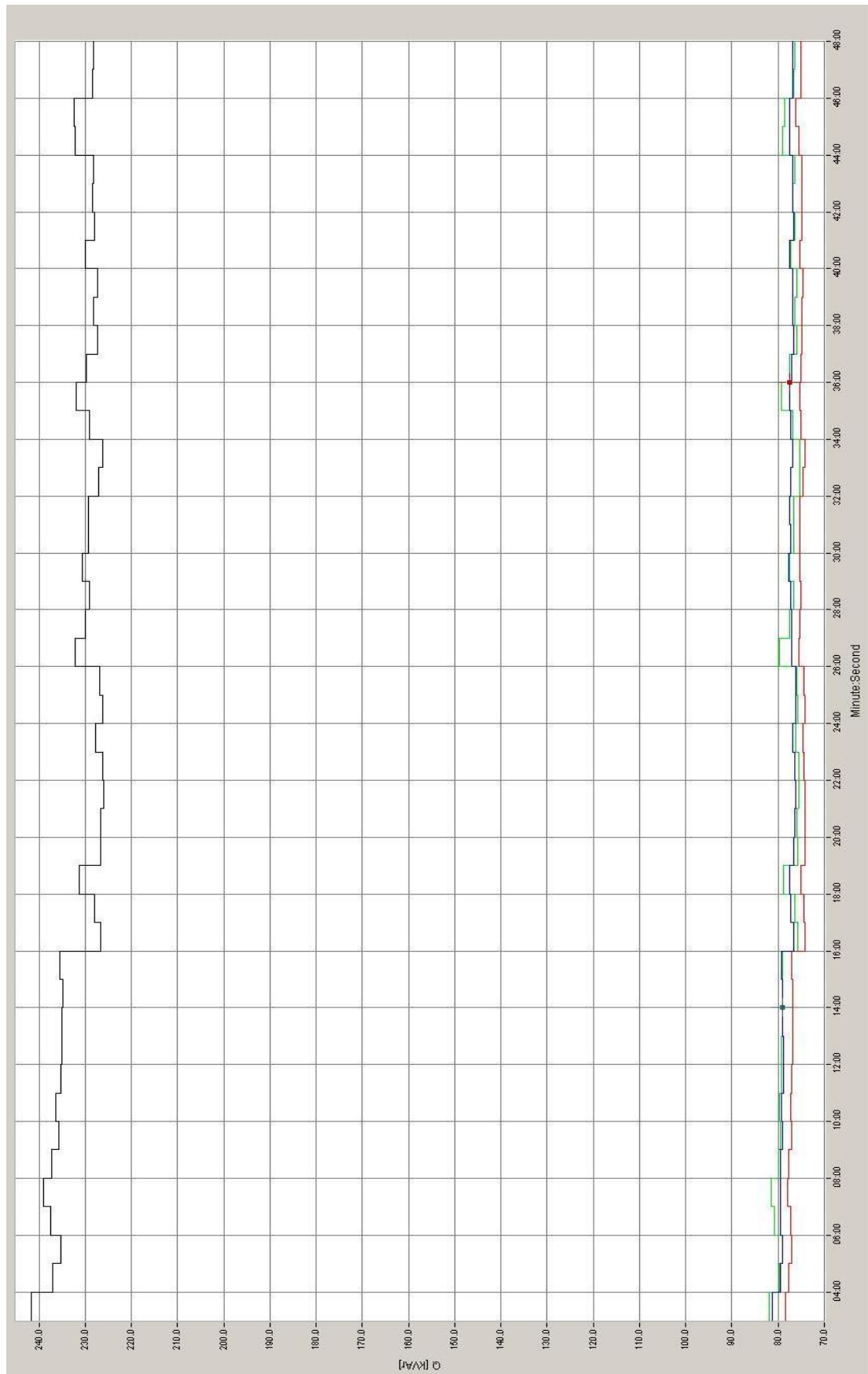
Vaihevärit ovat; L1 = Sininen, L2 = Punainen ja L3 = Vihreä. Kokonaisloistehokäyrän väri on musta.



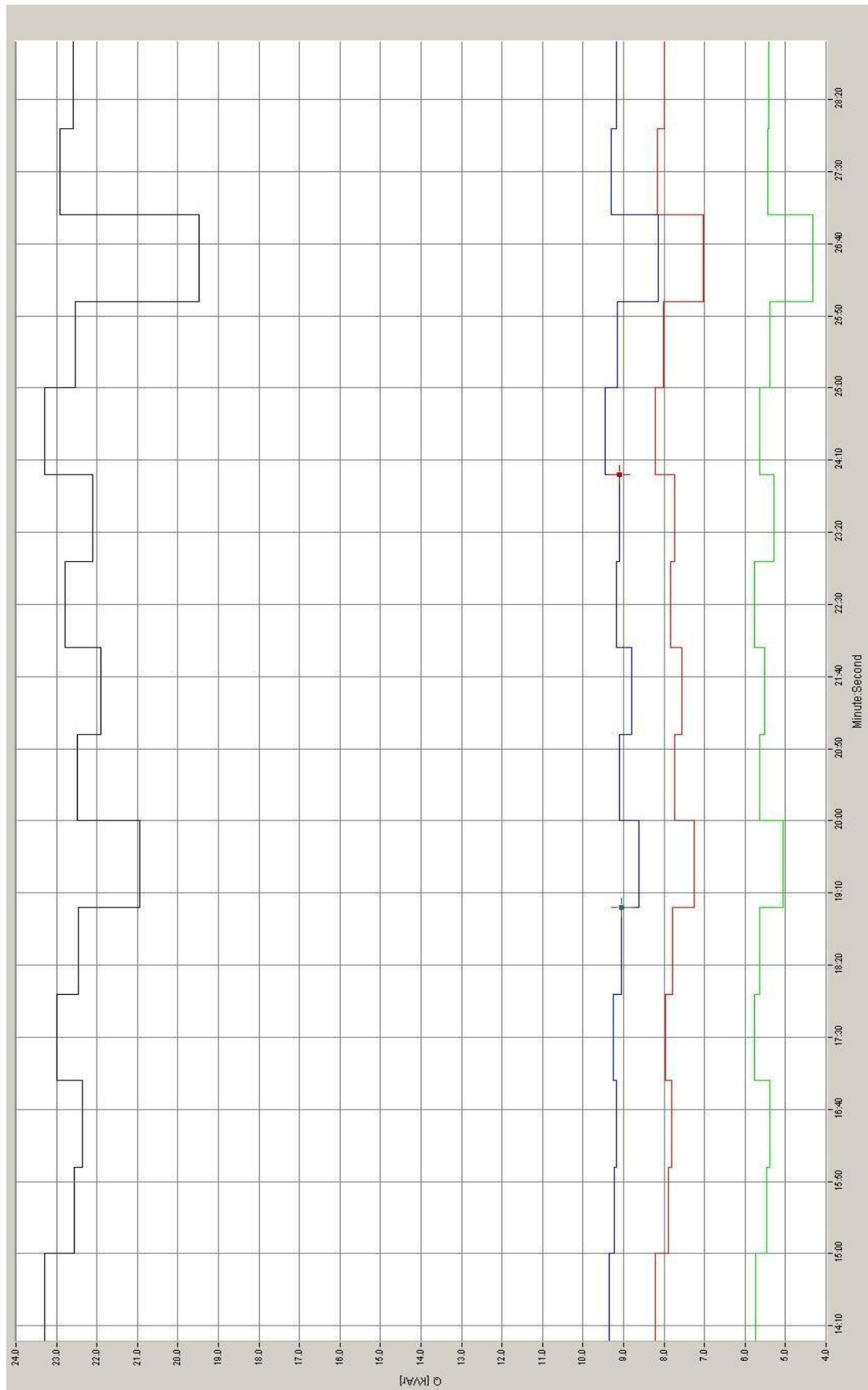
Kuva 5. Loistehon kulutus muuntamo M1



Kuva 6. Loistehon kulutus muuntamo M2.



Kuva 7. Loistehon kulutus muuntamo M6.



Kuva 8. Loistehon kulutus muuntamo M13.

Taulukko 1. Mittaustulokset

| Muuntamo | | M1 Korkeahalli | M2 Matalahalli | M6 Maalamo | M13 SPAR-halli |
|----------------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Loistehon keskiarvo | [kvar] | <u>271,4 ind.</u> | <u>58,57 kap.</u> | <u>226,8 ind.</u> | <u>22,33 ind.</u> |
| Pätötehon keskiarvo | [kW] | 690,4 | 284,6 | 315,4 | 171,6 |
| THD | [%] | 4,4 | 3,3 | 2 | 2,7 |
| Cos φ | | 0,93 | 0,89 | 0,87 | 0,99 |
| Mittausjakson kesto | [min] | 56 | 30 | 45 | 18* |

* Mittausaika muuntamossa M13 jäi tavoiteltua lyhyemmäksi, johtuen tuntemattomasta virran katkeamisesta kesken mittauksen.

Taulukon mittaustuloksista voidaan todeta, että erityisesti muuntamot M1 ja M6 ovat kompensoinnin tarpeessa. Muuntamossa M2 oli käytössä kiinteät 5*40kvar kondensaattorit, joiden kunnosta tai toimivuudesta ei ole varmuutta. Kondensaattorit ovat muuntamon alkuperäiset kiinteät paristot ja niillä on ikää jo noin 30 vuotta (kts. kuva 9.). Mittaushetkellä muuntamon M2 kuormana oli käytännössä vain joitakin ilmastointikojeita ja valaistus (kts. Taulukko 1. verrattain pieni pätötehon kulutus). Isomat laitteet, kuten työstökoneet, hitsaustornit ja putkenpyörittysrullastot eivät olleet käytössä. Tästä johtuu lievä, mutta tarpeeton ylikompensointi.

Muuntamon M13 pieni loistehon kulutus on perusteltavissa, koska valaistus on huomattavasti muita halleja uudempi ja suurin osa valaisimista ja valaisinryhmistä ovat kompensoituja. Muita loistehon kuluttajia SPAR-hallissa ei ole. Esimerkiksi ilmastointi ja siltanosturit ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä.

THD (Total Harmonic Distortion) on kokonaisharmoninen särö, joka vaihteli välillä 2-4,4%. Standardin SFS-EN 50160 mukaan kaikki mitatut alle 6% arvot ovat standardilaatuja./8/



Kuva 9. Muuntamon M2 alkuperäiset 5·40kvar kondensaattoriparistot. (Kuvaaja Petri Raukola)

8 LOISTEHON AIHEUTTAMAT KUSTANNUKSET

Technip Offshore Finland Oy:n sähkötoimittajana on tällä hetkellä Pori Energia Oy. Yhtiö veloittaa loistehosta 3,53 €/kvar/kk. Loistehomaksu määräytyy kunkin kuukauden mitatun loistehohuipun perusteella siten, että loistehohuipusta vähennetään sallittu loistehon määrä. Sallitun loistehon määrä on 20 prosenttia laskettuna kuukauden pätötehuipun suuruudesta. Tällä hetkellä Pori Energia Oy ei peri Technip Offshore Finland Oy:ltä loistehomaksuja sopimussyistä. Sähkötoimittaja voi kuitenkin vaihtua seuraavan kilpailuttamisen yhteydessä ja loistehomaksu voi tulla pakolliseksi jo nykyisenkin toimittajan aikana. Mitattujen jaksojen loisteho- ja pätötehuiput on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2.)./3/

Taulukko 2.

| Muuntamo | M1 | M2 | M6 | M13 | Yksikkö |
|-----------------------|----------|---------|----------|-----------|---------|
| Pätötehohuippu | 753 | 326 | 435 | 189 | [kW] |
| Loistehohuippu | 308 ind. | 35 kap. | 242 ind. | 23,4 ind. | [kvar] |

8.1 Ilmaisen loistehon määrä kuukaudessa

$$M1: Q_i = 0,2 \cdot P_h = 0,2 \cdot 753 \text{ kW} = 151 \text{ kvar}$$

$$M2: Q_i = 0,2 \cdot P_h = 0,2 \cdot 326 \text{ kW} = 65 \text{ kvar}$$

$$M6: Q_i = 0,2 \cdot P_h = 0,2 \cdot 435 \text{ kW} = 91 \text{ kvar}$$

$$M13: Q_i = 0,2 \cdot P_h = 0,2 \cdot 189 \text{ kW} = 38 \text{ kvar, joissa}$$

P_h = Pätötehon huippuarvo.

Muuntamon M2 loistehon kulutus on ainoana kapasitiivista loistehoa, joten kiinteät 5-40kvar kondensaattoriparistot tuottavat enemmän loistehoa, kuin olisi tarve. Kondensaattoriparistot tuottavat 200kvar kapasitiivista loistehoa, josta kuorma tarvitsee;
 $Q_c - Q_h = 200 \text{ kvar} - 35 \text{ kvar} = 165 \text{ kvar}$, jossa

Q_c = Kondensaattoripariston tuottama loisteho (Olettaen pariston olevan kunnossa).

Q_h = Loistehon huippuarvo.

Edellä saatu tulos 165kvar (ind.) on siis muuntamon M2 loistehon huippuarvo, jos kiinteitä paristoja ei olisi kytkettynä.

Muuntamon M13 tarvitsema loisteho on puolestaan pienempi, kuin mitä ilmaisosuus, joten kompensointi ei ole tässä suhteessa kannattavaa.

8.2 Maksullisen loistehon määrä ja kustannukset

Seuraavissa laskutoimituksissa on muuntamon M2 kiinteiden kompensoimisparistojen oletettu olevan poiskytkettynä, jotta saataisiin selvitettyä mahdollisesti tulevien automaatiikkaparistojen koko, tyyppi ja takaisinmaksuaika.

8.2.1 Maksullisen loistehon määrä kuukaudessa

$$M1: Q_m = Q - Q_i = 308\text{kvar} - 151\text{kvar} = 157\text{kvar}$$

$$M2: Q_m = Q - Q_i = 165\text{kvar} - 65\text{kvar} = 100\text{kvar}$$

$$M6: Q_m = Q - Q_i = 242\text{kvar} - 91\text{kvar} = 151\text{kvar}$$

8.2.2 Loistehomaksu kuukaudessa

$$M1: 157\text{kvar} \cdot 3,53\text{€/kvar/kk} = 554,20\text{€/kk}$$

$$M2: 100\text{kvar} \cdot 3,53\text{€/kvar/kk} = 353,00\text{€/kk}$$

$$M6: 151\text{kvar} \cdot 3,53\text{€/kvar/kk} = 533,00\text{€/kk}$$

8.2.3 Loistehomaksu vuodessa

$$M1: 12\text{kk} \cdot 554,20\text{€/kk} = 6650,40\text{€/v}$$

$$M2: 12\text{kk} \cdot 353,00\text{€/kk} = 4236,00\text{€/v}$$

$$M6: 12\text{kk} \cdot 533,00\text{€/kk} = 6396,00\text{€/v}$$

$$\text{Yhteensä: } 17282,40\text{€/v}$$

Kuten yllä olevat laskutoimitukset osoittavat, loistehon kulutuksesta voi aiheutua yritykselle jopa yli 17000 euron vuotuiset kustannukset. Muistutuksena vielä, että kyseessä on vain neljä muuntamoita telakan kolmestatoista. Tulevaisuudessa tämä mahdollinen menoerä voidaan poistaa kokonaan hankkimalla kompensointiparistot muuntamoihin. Nykyaikaiset kompensointiparistot ovat lisäksi erittäin pitkäikäisiä, eivätkä aiheuta juurikaan kunnossapitotoimenpiteitä.

9 LOISTEHON VAIKUTUKSET VERKOSTOON

9.1 Loisvirta

Loisteho on virrankulutusta lisäävä ja koska loisteho ja pätöteho ovat vektorisuureita, niitä ei voi suoraan laskea yhteen niiden ollessa 90 asteen kulmassa toisiinsa. Seuraavassa on taulukoitu kunkin muuntajan maksimivirta ilman kompensointia ja kompensoinnin kanssa (Muuntamon M2 kohdalla kiinteät paristot on jätetty huomiotta):

Taulukko 3.

| Muuntamo | M1 | M2 | M6 | M13 | Yksikkö |
|--|--------|-------|-------|-------|---------|
| Maksimivirta ilman kompensointia | 1174,3 | 527,4 | 718,5 | 274,9 | [A] |
| Maksimivirta loisteho täysin kompensoituna | 1086,9 | 470,5 | 627,9 | 272,8 | [A] |
| Muutos prosentteina | 7,4 | 10,8 | 12,6 | 0,8 | [%] |

Kaavoina taulukon tulosten laskemiselle olivat;

Maksimivirta ilman kompensointia

$$I_{\max 1} = \frac{\sqrt{P_h^2 + Q_h^2}}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Maksimivirta loisteho täysin kompensoituna

$$I_{\max 2} = \frac{P_h}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Muuntamoiden maksimivirrat pienentyisivät muuntamoiden M1, M2 ja M6 kohdalla selkeästi (n. 7-13%). Muuntamon M13 loistehon täydellisellä kompensoinnilla maksimivirta pienenee vain 0,8%, jolla ei käytännössä ole merkitystä.

9.2 Tehokerroin $\cos\varphi$

Tehokerroin $\cos\varphi$ ilmaisee vaihtovirtaverkossa pätötehon P suhdetta näennäistehoon S . Puhtaasti resistiivisen verkon tehokerroin on 1, jolloin verkossa siirtyy yksinomaan pätötehoa. Tämänkaltainen optimaalinen tilanne on käytännössä mahdoton, koska tehtäisiin asennetut sähköverkot ovat epäsymmetrisiä ja kuormat koostuvat erilaisista induktiivisista ja kapasitiivisista laitteista ja komponenteista.

Muuntamon ihanteellinen tehokerroin $\cos\varphi$ voidaan määrittää seuraavan kaavan avulla, kun tiedetään pätötehohuippu ja loistehon ilmaisosuus:

$$\cos\varphi = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_i^2}}$$

Nykyinen $\cos\varphi$ voidaan puolestaan määrittää sijoittamalla yllä olevaan kaavaan loistehon ilmaisosuuden tilalle loistehohuippu. Seuraavassa on taulukoitu kunkin muuntamon tehokertoimet. Muuntamon M2 kohdalla nykyisen $\cos\varphi$:n määrittämiseksi kiinteiden paristojen on oletettu olevan poiskytkettyinä.

Taulukko 4.

| Muuntamo | M1 | M2 | M6 | (M13) |
|-------------------------------|------|------|------|--------|
| Tavoitteellinen $\cos\varphi$ | 0,98 | 0,98 | 0,98 | (0,98) |
| Nykyinen $\cos\varphi$ | 0,93 | 0,89 | 0,87 | (0,99) |

Kuten yllä olevasta taulukosta havaitaan, olisi kaikkien muuntamoiden tehokerrointa selvästi järkevää nostaa lukuun ottamatta muuntamo M13. Tehokerroin saataisiin tavoitteelliseksi kompensoimalla ilmaisosuuden yli menevä loisteho kokonaan.

9.3 Yliaallot

Yliaallot ovat jakeluverkon jännitteitä ja virtoja, joiden taajuus on yli verkkotaajuuden (50Hz). Nykyaikainen tehoelektroniikka on yliaaltojen aiheuttaja. Yliaallot ovat useimmiten harmonisia, eli verkkotaajuuden monikertoja. Yliaaltoja on myös epäharmonisia. Ero harmonisen ja epäharmonisen yliaallon välillä on se, että harmoninen yliaalto on käyrämuodoltaan symmetrinen ja poikkeaa sinimuotoisesta käyrästä. Epäharmonisen yliaallon käyrämuoto taas on epäsymmetrinen eikä ole sinikäyrän muotoinen./4/

Yliaaltojen aiheuttamia haittoja verkossa on monia, joista lueteltakoon muun muassa seuraavat;

1. Muuntajien kuormitettavuus pienenee
2. Kompensointikondensaattorit voivat ylikuormittaa yliaaltovirroista.
3. Verkon nollassiirtimen virrallinen, vaikka kuorma olisi symmetrinen. Tämä puolestaan aiheuttaa sen, että nollassiirtimen yliaaltoinen paluvirta pienentää kaapeleiden kuormitettavuutta ja kasvattaa niiden teho- ja energiahäviöitä
4. Yliaaltoiset magneettikentät aiheuttavat häiriöitä tiedonsiirto- ja telekaapeleihin
5. Suuntaajien ja muiden herkkien laitteiden virheellinen toiminta
6. PC-näyttöjen kuva ruudulla värisee

Yliaaltoja varten on kehitetty omanlaisensa yliaaltosuodattimet, joita kutsutaan myös imupiireiksi. Yliaaltosuodatin koostuu kondensaattoreista, jotka on kytketty sarjaan kuristimien kanssa. Yliaaltosuodatin tuottaa suodattimen perustaajuudella loistehoa halutun tehokertoimen saavuttamiseksi. Kuristimen induktanssi on valittu sellaiseksi, että suodatin muodostaa erittäin matalaimpedanssisen sarjaresonanssipiirin sille yliaaltotaajuudelle, jota halutaan suodattaa. Tämän ansioista suurin osa harmonisista yliaalloista päättyy suodattimeen./5/

Mäntyluodon telakan osalta yliaaltosuodattimia ei ole vielä harkittu hankittavaksi, koska edellä mainittuja ongelmia ei ole ilmennyt haitaksi asti. Lisäksi yliaaltosuodatus olisi tämän kokoisessa tehtaassa erittäin kallis investointi.

10 LOISTEHOTARPEEN MÄÄRITYS MUUNTAMOKOHTAISESTI

Kuten edellä todettiin, muuntamoiden M1, M2 ja M6 tehokerrointa pitäisi siis parantaa. Oikean kokoisen ja tyyppisen kompensointipariston valinta on tärkeää, jotta se toimii myös kun kuormitus on normaalia suurempi tai pienempi. Loistehotarve voidaan määrittää, kun tiedetään nykyinen tehokerroin $\cos\varphi_1$ ja tavoitteellinen tehokerroin $\cos\varphi_2$.

Taulukko 5. /2/

| $\cos \varphi_1$ | $\cos \varphi_2$ | | | | | | | |
|------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,8 |
| 0,30 | 3,18 | 3,04 | 2,98 | 2,93 | 2,85 | 2,70 | 2,56 | 2,43 |
| 0,32 | 2,96 | 2,82 | 2,76 | 2,71 | 2,63 | 2,48 | 2,34 | 2,21 |
| 0,34 | 2,77 | 2,62 | 2,56 | 2,52 | 2,44 | 2,28 | 2,15 | 2,02 |
| 0,36 | 2,59 | 2,45 | 2,39 | 2,34 | 2,26 | 2,11 | 1,97 | 1,84 |
| 0,38 | 2,43 | 2,29 | 2,23 | 2,18 | 2,11 | 1,95 | 1,81 | 1,68 |
| 0,40 | 2,29 | 2,15 | 2,09 | 2,04 | 1,96 | 1,81 | 1,67 | 1,54 |
| 0,42 | 2,16 | 2,02 | 1,96 | 1,91 | 1,83 | 1,68 | 1,54 | 1,41 |
| 0,44 | 2,04 | 1,90 | 1,84 | 1,79 | 1,71 | 1,56 | 1,42 | 1,29 |
| 0,46 | 1,93 | 1,79 | 1,73 | 1,68 | 1,60 | 1,45 | 1,31 | 1,18 |
| 0,48 | 1,83 | 1,69 | 1,62 | 1,58 | 1,50 | 1,34 | 1,21 | 1,08 |
| 0,50 | 1,73 | 1,59 | 1,53 | 1,48 | 1,40 | 1,25 | 1,11 | 0,98 |
| 0,52 | 1,64 | 1,50 | 1,44 | 1,39 | 1,31 | 1,16 | 1,02 | 0,89 |
| 0,54 | 1,56 | 1,42 | 1,36 | 1,31 | 1,23 | 1,07 | 0,94 | 0,81 |
| 0,56 | 1,48 | 1,34 | 1,28 | 1,23 | 1,15 | 1,00 | 0,86 | 0,73 |
| 0,58 | 1,40 | 1,26 | 1,20 | 1,15 | 1,08 | 0,92 | 0,78 | 0,65 |
| 0,60 | 1,33 | 1,19 | 1,13 | 1,08 | 1,00 | 0,85 | 0,71 | 0,58 |
| 0,62 | 1,27 | 1,12 | 1,06 | 1,01 | 0,94 | 0,78 | 0,65 | 0,52 |
| 0,64 | 1,20 | 1,06 | 1,00 | 0,95 | 0,87 | 0,72 | 0,58 | 0,45 |
| 0,66 | 1,14 | 1,00 | 0,94 | 0,89 | 0,81 | 0,65 | 0,52 | 0,39 |
| 0,68 | 1,08 | 0,94 | 0,88 | 0,83 | 0,75 | 0,59 | 0,46 | 0,33 |
| 0,70 | 1,02 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,69 | 0,54 | 0,40 | 0,27 |
| 0,72 | 0,96 | 0,82 | 0,76 | 0,71 | 0,64 | 0,48 | 0,34 | 0,21 |
| 0,74 | 0,91 | 0,77 | 0,71 | 0,66 | 0,58 | 0,42 | 0,29 | 0,16 |
| 0,76 | 0,86 | 0,71 | 0,65 | 0,60 | 0,53 | 0,37 | 0,24 | 0,11 |
| 0,78 | 0,80 | 0,66 | 0,60 | 0,55 | 0,47 | 0,32 | 0,18 | 0,05 |
| 0,80 | 0,75 | 0,61 | 0,55 | 0,50 | 0,42 | 0,27 | 0,13 | |
| 0,82 | 0,70 | 0,56 | 0,49 | 0,45 | 0,37 | 0,21 | 0,08 | |
| 0,84 | 0,65 | 0,50 | 0,44 | 0,40 | 0,32 | 0,16 | 0,03 | |
| 0,86 | 0,59 | 0,45 | 0,39 | 0,34 | 0,26 | 0,11 | | |
| 0,88 | 0,54 | 0,40 | 0,34 | 0,29 | 0,21 | 0,06 | | |
| 0,90 | 0,48 | 0,34 | 0,28 | 0,23 | 0,16 | | | |
| 0,91 | 0,46 | 0,31 | 0,25 | 0,20 | 0,13 | | | |
| 0,92 | 0,43 | 0,28 | 0,22 | 0,18 | 0,10 | | | |
| 0,93 | 0,40 | 0,25 | 0,19 | 0,14 | 0,07 | | | |
| 0,94 | 0,36 | 0,22 | 0,16 | 0,11 | 0,03 | | | |
| 0,95 | 0,33 | 0,19 | 0,13 | 0,08 | | | | |
| 0,96 | 0,29 | 0,15 | 0,09 | 0,04 | | | | |
| 0,97 | 0,25 | 0,11 | 0,05 | | | | | |
| 0,98 | 0,20 | 0,06 | | | | | | |
| 0,99 | 0,14 | | | | | | | |

Taulukosta 5 katsotaan oikea kerroin ja taulukosta 2 muuntamon pätötehohuippu. Jos taulukon tehokertoimista ei löytynyt täsmälleen oikeaa $\cos\varphi$:n arvoa, on käytetty lähintä epäedullista arvoa.

Kaavan $Q_{\text{komp}} = k \cdot P_h$ avulla saadaan seuraavat tulokset:

$$M1: Q_{\text{komp}} = k \cdot P_h = 0,19 \cdot 753\text{kW} = 143,1\text{kvar}$$

$$M2: Q_{\text{komp}} = k \cdot P_h = 0,34 \cdot 326\text{kW} = 110,8\text{kvar}$$

$$M6: Q_{\text{komp}} = k \cdot P_h = 0,39 \cdot 436\text{kW} = 170,0\text{kvar}$$

Määriteltäessä oikeankokoista kompensointiparistoa on se jokaisen muuntamon kohdalla ylimitoitettava, koska isojen tuotantoprojektien ollessa käynnissä sähkön kulutus voi jopa kaksinkertaistua. Tämä tarkoittaisi muuntamoiden M1 ja M6 kohdalla vähintäänkin 300kvar paristoja ja muuntamon M2 kohdalla 200kvar paristoa.

11 KOMPENSOINTIPARISTOT

Muuntamoihin sijoitettavista paristoista pyydettiin tarjous eri yrityksiltä, jotka saivat mittaustulokset Areva T&D:ltä.

Taulukko 6.

| | Muuntamo | | |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------|
| | M1 | M2 | M6 |
| Pariston tyyppi | D300 | D200 | D300 |
| Teho | 300kvar/400V/50Hz | 200kvar/400v/50Hz | 300kvar/400V/50Hz |
| Portaat | 25+50+3x75kvar | 2x25+3x50kvar | 25+50+3x75kvar |
| Viritystaaajuus | 189Hz | 189Hz | 189Hz |
| Nimellisvirta | 507A | 338A | 507A |
| Sulake | 3x630A | 3x400A | 3x630A |
| Kaapelisuositus | 2x(3x185+95mm), Cu | 1x(3x95+59mm), Cu | 2x(3x185+95mm), Cu |
| Kotelointiluokka | IP20C | IP20C | IP20C |
| Massa | 415kg | 315kg | 415kg |
| Säädin | NC-12 | NC-12 | NC-12 |
| Kaapin koko | 1000x600x1800 mm (lev*syv*kork) | | |

Edellä olevassa taulukossa 6 on esitetty eräiden paristojen tekniset tiedot. Paristot ovat tyypiltänsä automaattisia estokelaparistoja, jotka soveltuvat parhaiten telakan muuttuviin kuormituksiin.

11.1 Estokelaparistot

Sähkön siirto- ja jakeluverkot on suunniteltu toimimaan jatkuvilla ja vakiotaajuisilla jännitteen ja virran käyrämuodoilla. Epälineaariset kuormat kuten tyristorikäytöt ja suuntaajat syöttävät käydessään yliaaltovirtoja verkkoon. Yliaaltovirtojen seurauksena sekä virran että jännitteen käyrämuodot vääristyvät.

Kompensointikondensaattorin kapasitanssi ja verkon induktanssi muodostavat jollakin taajuudella resonanssiipiirin. Mikäli kyseinen resonanssitaajuus osuu jollekin verkossa esiintyvälle harmoniselle yliaaltotaajuudelle, voi harmoninen yliaaltovirta vahvistua jopa 20-kertaiseksi. Resonanssin aiheuttamasta virtasärön noususta aiheutuu myös jännitesärön nousu. Tämän vuoksi kompensointi perinteisillä kondensaattoriparistoilla ei ole suotavaa yliaaltopitoisessa verkossa.

Estokelaparistossa on kondensaattorin kanssa kytketty sarjaan kuristin. Kyseisiä kondensaattori-kuristin sarjankytkentöjä on estokelapariston jokaisessa portaassa. Kondensaattorin ja kuristimen sarjankytkentä muodostaa sarjaresonanssiipiirin, joka on viritetty alemmalle taajuudelle kuin mitä on verkossa esiintyvä pienin harmoninen yliaaltotaajuus. Yleensä tämä pienin yliaaltotaajuus on 5. harmoninen yliaalto (250Hz). Yleisemmin käytössä oleva viritystaajuus estokelaparistoille on 189Hz. Viritystaajuudessa on huomioitu myös verkkokäskysignaali, jotta paristo ei vaimentaisi tätä signaalia.

Viritystaajuuden alapuolella, kuten perustaajuudella 50Hz, paristo on kapasitiivinen eli se tuottaa loistehoa. Viritystaajuuden yläpuolella paristo on induktiivinen, joten se ei voi vahvistaa tyypillisempiä yliaaltotaajuuksia, joita ovat esimerkiksi 5., 7. ja 11. harmoninen yliaalto. Paristo toimii siis myös virittämättömänä suodattimena, joka poistaa tietyn määrän verkossa esiintyvistä harmonisista yliaalloista./6/

Estokelapariston portaita ohjataan loistehonsäätimillä loistehotarpeen mukaan, kuten perinteisissäkin kompensointikondensaattoreissa. Automaattinen portaiden ohjaus on välttämätön, koska tuotanto voi välillä laskea nolleen esimerkiksi tietyn prosessin valmistuessa tai juhlapyhien aikaan.



Estokelapariston rakenne

1. Tuuletin
2. Loistehonsäädin
3. Portaiden sulakkeet
4. Kontaktori
5. Kuristin
6. Kondensaattoriyksikkö
7. Ilmansuodatin

Kuva 10. Estokelapariston rakenne ja komponentit/6/

Kuten kuvasta 10 huomataan, nykyaikainen estokelaparisto on kompakti kokonaisuus ja helppo sijoittaa käyttökohteen läheisyyteen. Kaappi on yleensä varustettu suodattimella ja tuulettimella, jotta sinne kuulumaton pöly ja muu roska ei päätyisi sisälle. Vaikka estokelaparistot ovatkin erittäin pitkäikäisiä ja erittäin vähän huoltoa vaativia, on sen sisältämiin sulakkeisiin ja muihin komponentteihin käsiksi pääsy helppoa. Kaappi on rakenteeltaan ns. modulimainen eli sen sisältämiä komponentteja voidaan vaihtaa tarpeen mukaan. Tyypillisen estokelapariston kytkentäkaavio on esitetty liitteenä (Liite 8).

Kaappien sijoituksesta muuntamoihin on esitetty esimerkki liitteenä (LIITE 9). Muuntamohuoneisiin M2 ja M6 sijoitus on helppo, koska molemmissa muuntamoissa yksi seinä on vapaa. Muuntamon M1 kohdalla pariston sijoituspaikaksi ei sovellu muuntamohuone, koska tilaa ei ole käytettävissä. Mahdollinen sijoituspaikka olisi viereisessä huoneessa, jonne alkuperäistenkin kiinteiden paristojen on suunniteltu tulevan. Alkuperäiset paristot olivat ilmeisesti joskus hajonneet ja poistettu käytöstä, koska niitä ei siellä ollut.

11.2 Kondensaattoriparistojen takaisinmaksuaika

Kondensaattoriparistoille voidaan laskea takaisinmaksuaika, kun tiedetään niiden hankintahinta K_0 , paristojen käytöstä saatava vuotuinen rahallinen hyöty T_1 sekä pääomalle laskettava vuotuinen korko p .^{7/}

Takaisinmaksuaika saadaan, kun ratkaistaan τ yhtälöstä:

$$K_0 = T_1 \cdot \frac{100}{p} \cdot \left(1 - \frac{1}{\alpha^\tau} \right)$$

Yhtälön α voidaan ratkaista korkoprosentista seuraavan kaavan avulla:

$$\alpha = 1 + \frac{100}{p}$$

Pääomalle laskettiin yleisesti käytetty 10 prosentin korko, jolloin α :ksi tulee 1,1. Kompensointiparistojen kokonaishinta on tämänhetkisten tarjousten keskiarvon mukaan 12875 € ilman asennuskustannuksia, pääsulakkeita ja kaapeleita.

Asennuskustannuksien, pääsulakkeiden ja tarvittavien kytkentäkaapeleiden yhteiskustannukseksi arvioitiin muodostuvan maksimissaan 6000 €, jolloin kondensaatto-

riparistojen hankintahinta K_0 on 18875 €. Paristojen käytöstä saatava hyöty T on kappaleessa 8.2.3 olevien laskelmien mukaan noin 17300 €.

Sijoitettaessa yllä olevat arvot takaisinmaksuajan kaavaan, saadaan:

$$18875 \text{ €} = 17300 \text{ €} \cdot \frac{100}{10} \cdot \left(1 - \frac{1}{1,1^{\tau}} \right)$$

$$0,109104 = 1 - \frac{1}{1,1^{\tau}}$$

$$-0,890896 = -\frac{1}{1,1^{\tau}}$$

$$-0,890896 \cdot 1,1^{\tau} = -1$$

$$1,1^{\tau} = 1,12247$$

$$\tau \log 1,1 = \log 1,12247$$

$$\tau = \frac{\log 1,12247}{\log 1,1} = 1,21 \text{ a}$$

Takaisinmaksu aika olisi siis noin 1,21 vuotta, joka on vuosina ja kuukausina noin 1 vuosi ja 2,5 kuukautta.

12 YHTEENVETO

Yrityksessä kuluu loistehoa suuri määrä, josta ei kuitenkaan vielä toistaiseksi ole peritty maksua. Jos loisteho tulevaisuudessa tulee maksulliseksi, aiheuttavat nämä neljä työssä käsiteltyä muuntamoaa jo pelkästään 17000 €:n vuosikustannukset. Olettaen,

että loisteho tulevaisuudessa tulee maksulliseksi, kompensointiparistojen investointi on erittäin kannattava taloudellisesti. Kuten edellisessä kappaleessa saatiin tulokseksi, olisi takaisin maksuaika vain noin 1 vuosi ja 2,5 kuukautta.

Lisäksi kompensoinnilla saavutettaisiin monia muitakin parannuksia ja säästöjä, kuten esimerkiksi muuntajien kuormitusten pieneneminen. Tämä lisäisi varmasti muuntajien ja kaapeleiden elinikää.

Haitallisia yliaaltoja ei verkossa esiintynyt liiaksi ja amplitudeiltaan ne ovat suhteellisen pieniä, joten erillistä suodatusta ei tarvita. Kompensointiparistojen tyypiksi tulee ehdottomasti valita automaattiset estokelaparistot niiden jo edellä mainittujen ominaisuuksien vuoksi.

LÄHTEET

/1/ Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry:n julkaisu: Rakennusten sähköasennukset 1981. Forssan kirjapaino Oy, 1980, s.408-430.

/2/ ABB:n TTT-käsikirja 2000-7, Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/090_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/090_0007.pdf)

/3/ Pori Energia Oy, Tehosähkötuotteet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.porienergia.fi/index.php?action=item-view&item-action=view&item-hash=5094ce762bc86e797f22afc5b7142f77>

/4/ Ruppaa, E. Yliaallot. [verkkodokumentti] SAMK/TEKPO 2001. Saatavissa: www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/yliallot.doc

/5/ Nokian Capacitors Ltd, Pienjännite tuotteet, Yliaaltosuodatin. [verkkodokumentti], saatavissa: http://www.nokiancapacitors.fi/documents/03%20-%20products/low%20voltage/FI-LV11-01_2006-ylialtosuodatin.pdf

/6/ Nokian Capacitors Ltd, Pienjännitetuotteet, Estokelaparisto. [verkkodokumentti], saatavissa: http://www.nokiancapacitors.fi/documents/03%20-%20products/low%20voltage/FI-LV10-09_2006-estokelaparisto.pdf

/7/ Tapaninen, M., Ruppaa, E. 2001. Sähköalan talouslaskenta, Investointilaskelmat. Tampere. Tammertekniikka.

/8/ ABB:n TTT-käsikirja 2000-7, Luku 4: Sähkön laatu. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/040_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/040_0007.pdf)

LIITELUETTELO

LIITE 1 Tehdasalueen kartta

LIITE 2 Muuntamo M1: Virtasäro kuvaaja

LIITE 3 Muuntamo M2: Jännitesäro kuvaaja

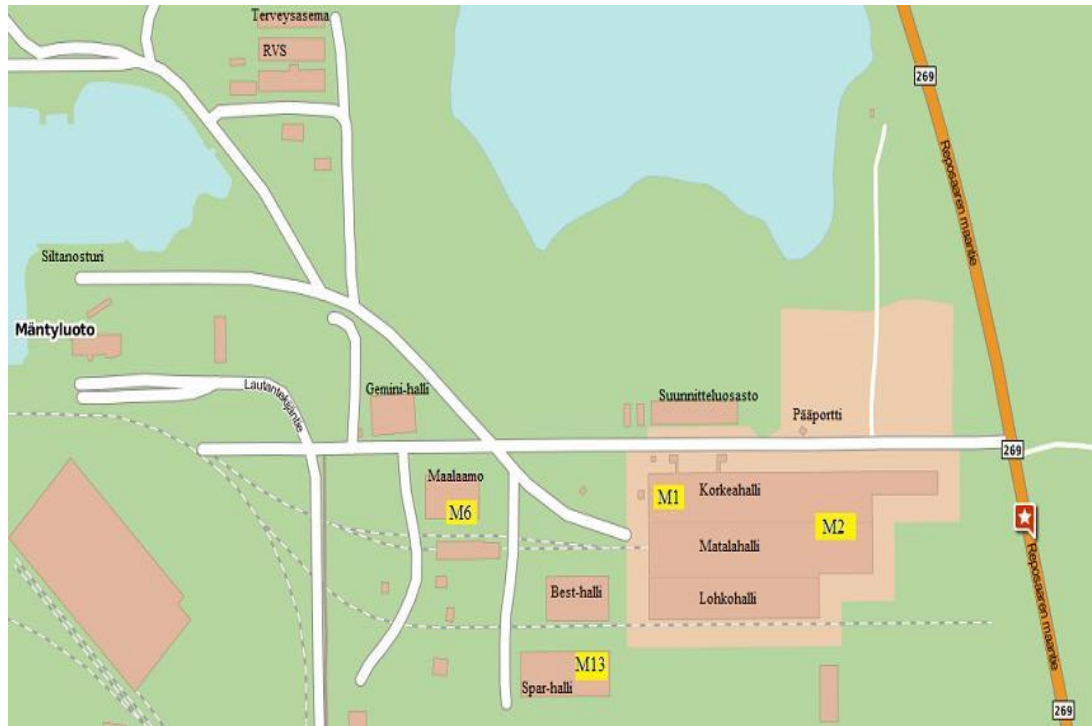
LIITE 4 Muuntamo M6: Jännitteet kuvaaja

LIITE 5 Fluke 434-mittalaitteella saatuja kuvia

LIITE 6 Taulukko: Muuntamoiden tekniset tiedot

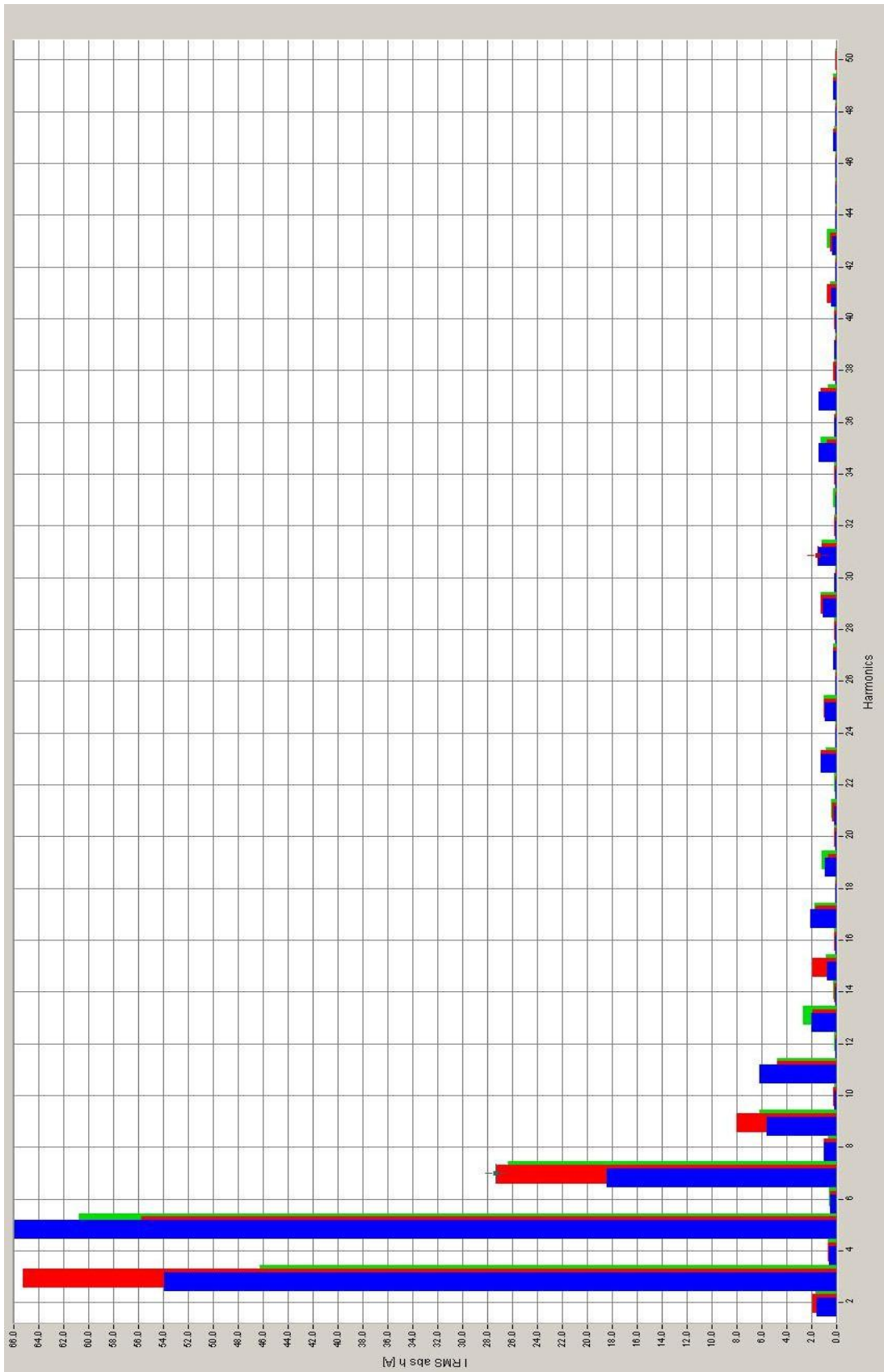
LIITE 7 Estokelapariston kytkentäkaavio

LIITE 8 Mahdollinen sijoituspaikka estokelaparistolle muuntamo M6

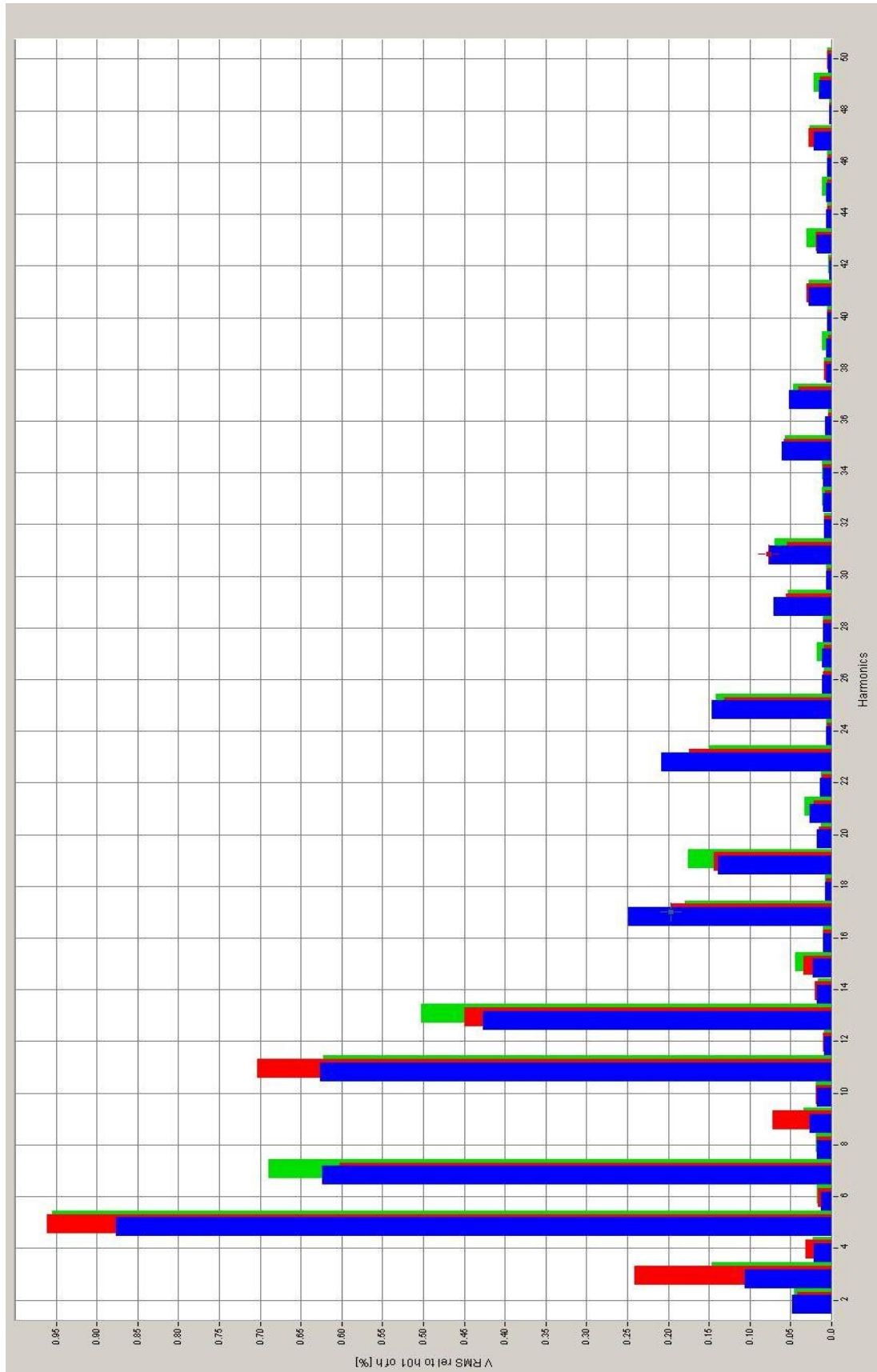


Tehdasalueen kartta. Muuntamot ja niiden sijainti merkattu keltaisella.

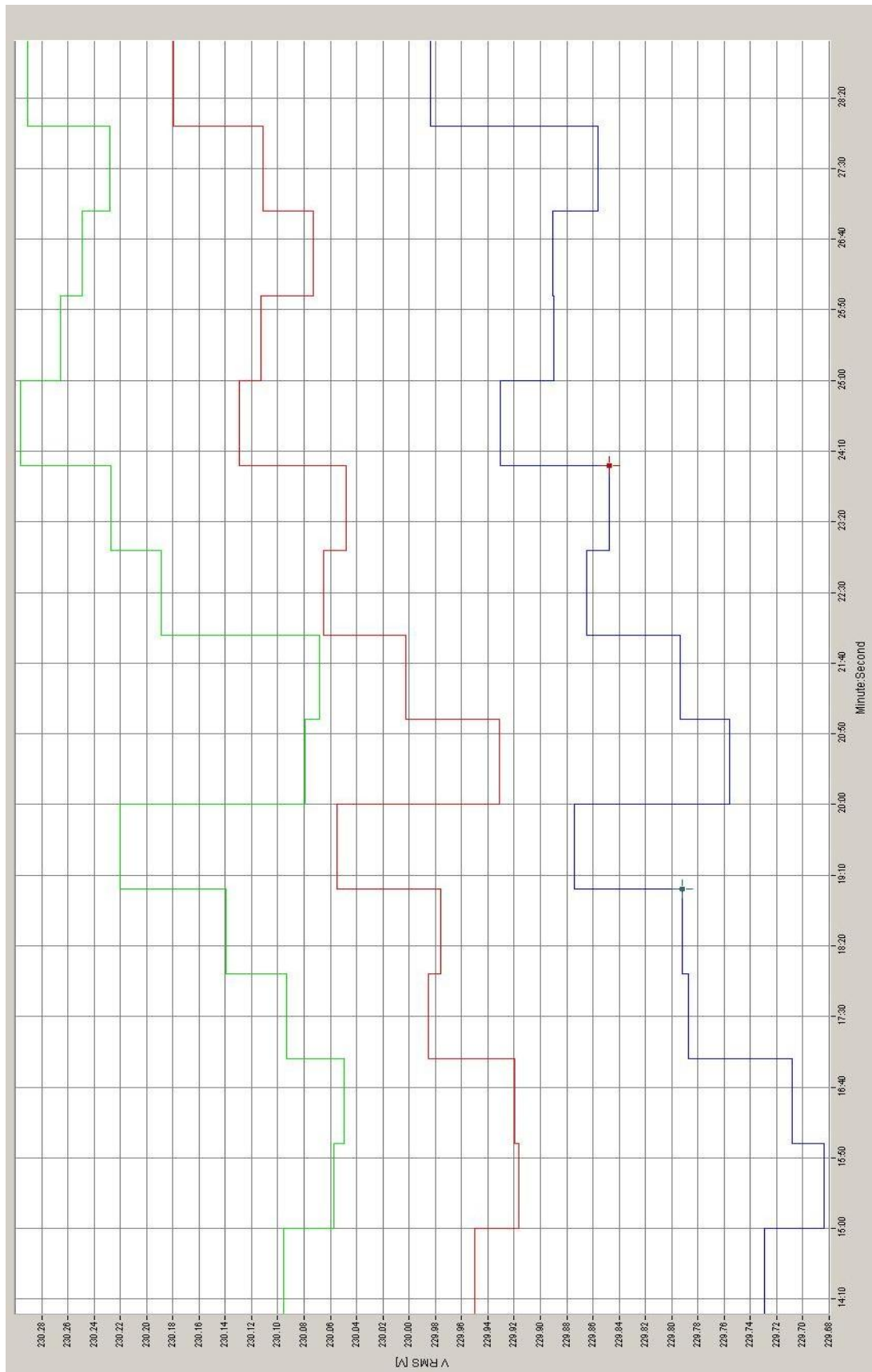
Muuntamo M1, virtasärö



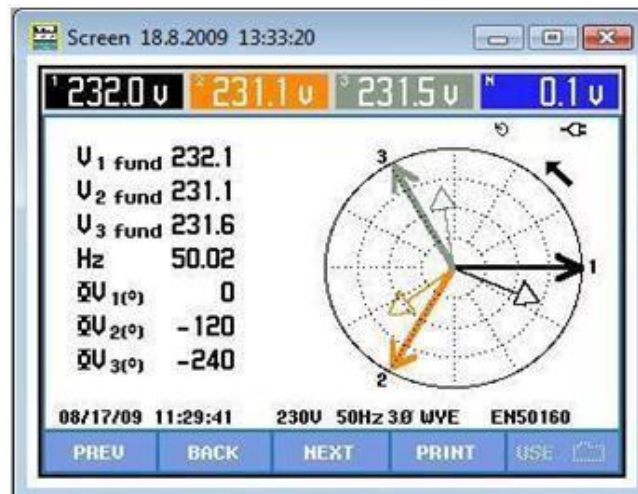
Muuntamo M6, jännitesäro prosentteina



Muuntamo M13, jännitteet



Fluke 434-mittalaitteella saatuja kuvia



Muuntamo M1 jännitteiden ja virtojen vaihekulmat esitettynä vektorimoodissa

Power & Energy

FULL 0:30:00

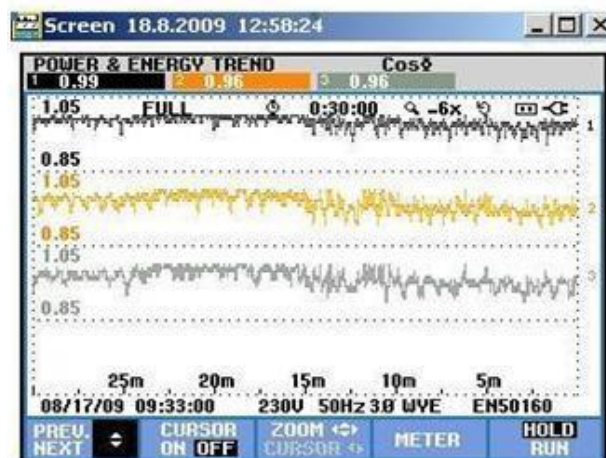
| | L1 | L2 | L3 | Total |
|------------|------|------|------|-------|
| kW | 2.1 | 2.2 | 2.1 | 6.4 |
| kVA | 2.5 | 2.6 | 2.5 | 7.6 |
| kVAR | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 4.1 |
| PF | 0.84 | 0.86 | 0.83 | 0.84 |
| Cos ϕ | 0.84 | 0.86 | 0.84 | |
| A rms | 11 | 11 | 11 | |

| | L1 | L2 | L3 |
|-----------|-------|-------|-------|
| U_{rms} | 233.2 | 233.0 | 233.2 |

08/17/09 12:41:00 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160

PREV BACK NEXT PRINT USE

Muuntamo M6 hetkelliset tehot (Huomiotava virtamuuntajan muuntosuhde 3000/5)

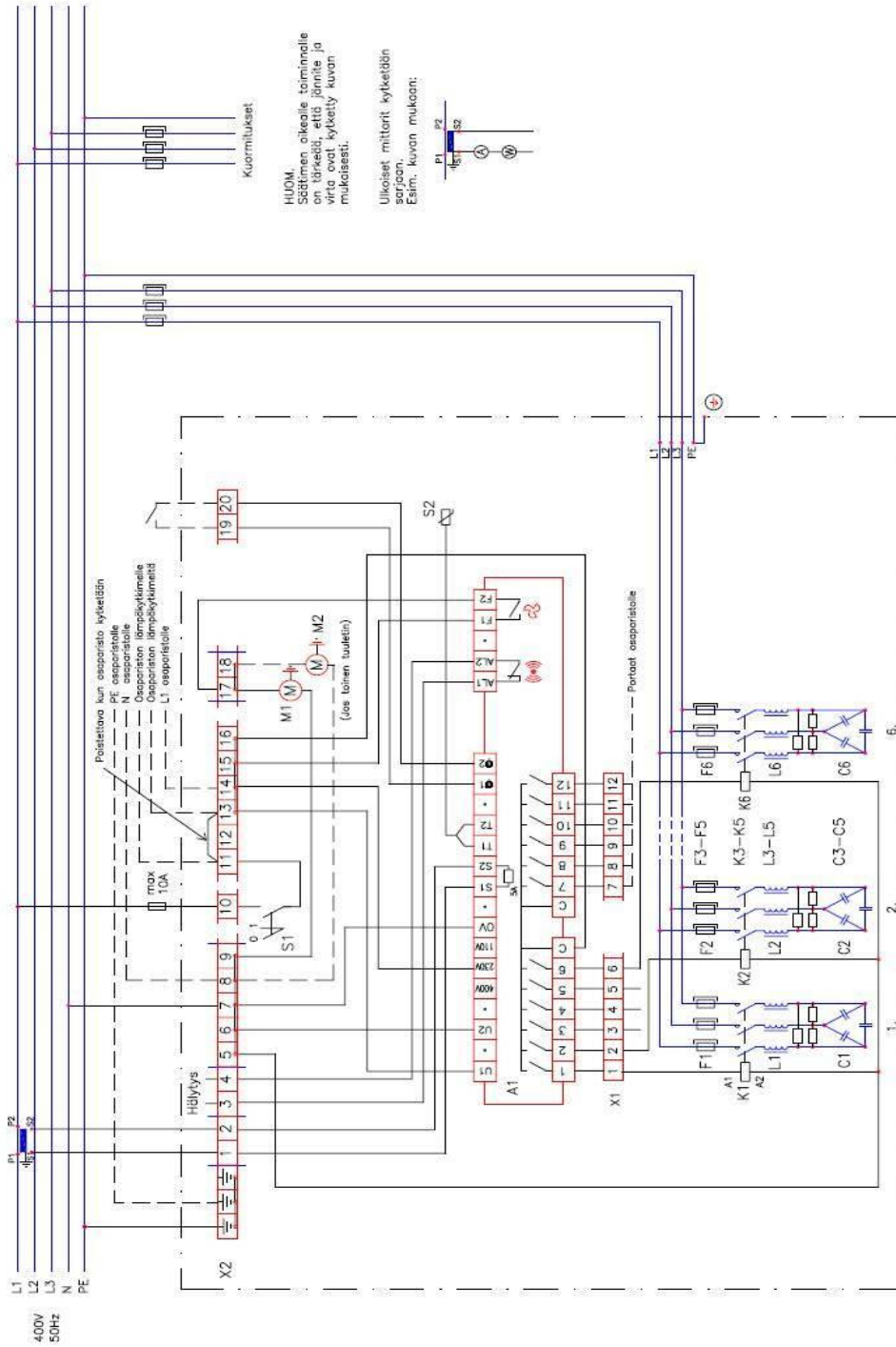


Muuntamo M2, Cos ϕ vaihtelu 30min mittausjaksolla

Muuntamoiden tekniset tiedot

| | Muuntamo ja sijainti | | | |
|------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------------|
| | M1, Korkeahalli | M2, Matalahalli | M6, Maalaamo | M13, SPAR-halli |
| Valmistaja | Urho Tuominen Oy | Urho Tuominen Oy | Urho Tuominen Oy | Ikaalisten Keskus-sähkö Oy |
| Merkki | Urho Tuominen | Urho Tuominen | Urho Tuominen | |
| Tyyppi | | | 4/710489 U 944 UK | IKNB |
| Kotelointiluokka | IP 20 | IP 20 | IP 20 | IP 30 |
| I_n | 2500 [A] | 2500 [A] | 2500 [A] | 1600 [A] |
| U_n | 400 [V~] | 400 [V~] | 380 [V~] | 400 [V~] |
| I_{1s} | | | 40 [kA] | 31 [kA] |
| I_{dyn} | | | 84 [kA] | 88 [kA] |
| Muuntosuhde | 4000/5 | 4000/5 | 3000/5 | 1600/5 |

Estokelapariston kytkentäkaavio



Kytkenäkaavio

Mahdollinen sijoituspaikka estokelapari-
stolle muuntamo M6

