

# SÄHKÖNLAADUN JA ENERGIANKULUTUKSEN TUTKIMUS

Case: Raute Oyj

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan koulutusala  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Konetekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Ville Niittynen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

NIITTYNEN, VILLE:

Sähkönlaadun ja energiankulutuksen  
tutkimus.

Case: Raute Oyj

Konetekniikan opinnäytetyö, 55 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyössä tutkittiin sähkönlaadun ja energiankulutusta Raute Oyj:n rakentamissa vaneri- ja LVL-viilupalkkikoneissa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää esiintyykö Raute Oyj:n valmistamissa koneissa sähkönlaatua heikentäviä tekijöitä, kuten harmonisia yliaaltoja. Sähkönlaatua heikentävien tekijöiden lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin mahdollisuutta moottorikeskusten mitoituksessa käytettävän korjauskertoimen tarkentamiselle.

Opinnäytetyön teoriaosassa esitellään sähkönlaatuun vaikuttavia tekijöitä, sekä niiden vaikutuksia sähköverkkoon ja verkonkäyttäjälle. Lisäksi teoriaosassa käydään läpi ratkaisuja, joilla esimerkiksi sähköverkossa esiintyvien yliaaltojen pitoisuutta voidaan vähentää tai poistaa kokonaan. Verkossa esiintyville häiriöille kuten harmonisille yliaalloille, taajuuden ja jännitteen vaihteluille on määritelty rajoituksia standardilla SFS-EN 50160, myös näitä rajoituksia ja niiden vaikutuksia sähkönlaatuun käydään läpi opinnäytetyön teoriaosassa.

Sähkönlaatua ja energiankulutusta mitattiin kahdessa Raute Oyj:n koneessa, ja näiden mittaukseen käytettiin Fluken power quality analyzer mallia olevaa mittalaitetta. Mittaustuloksissa huomattiin sähkönlaadun olevan yleisesti hyvällä tasolla ja täyttävän standardissa SFS-EN 50160 sähkönlaadulle määritellyt raja-arvot. Tulosten perusteella huomattiin myös, että joissakin tapauksissa keskusten mitoituksessa käytettäviä korjauskertoimia pystyy tarkentamaan.

Asiasanat: sähkönlaatu, energiankulutus, korjauskerroin, harmoniset yliaallot

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Production and Manufacturing Technology

NIITTYNEN, VILLE: Study of Electric Quality and Energy  
Consumption  
Case: Raute Plc

Bachelor's Thesis in Mechatronics 55 pages, 1 page of appendix

Spring 2016

ABSTRACT

---

The study researches the quality of electricity and the energy consumption on plywood and laminated veneer lumber (LVL) machines manufactured by Raute Plc. The Thesis aims to examine the potential existence of factors reducing the quality of electric, such as harmonic waves, on machines manufactured by Raute Plc. In addition to examine the electricity quality and consumption of energy, the thesis looks into the possibility of elaboration of motorcabin's equalisation.

The theory part of the Thesis presents factors that influence electric quality, as well as their influences on the electricity network and network's users. Additionally, the theory part discusses solutions, which for instance reduce or eliminate harmonic waves in electric network. SFS-EN 50160 standard defines restrictions for disturbance in electric network such as harmonic waves, frequency and voltage variation, these restrictions are also presented in the theory part of the Thesis.

In this study, electric quality and energy consumption were measured in two different machines manufactured by Raute Plc, and the measurements were conducted by Fluke power quality analyser measuring device. Electric quality was generally high according to the measurements, and it meets the electric quality standards defined in SFS-EN 50160. The measurements also indicated that in some cases the equalisation is possible to elaborate.

Key words: electric quality, energy consumption, equalisation, harmonic waves

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Opinnäytetyön tausta	1
1.2	Opinnäytetyön tavoite	1
1.3	Opinnäytetyön tutkimuskysymys	2
1.4	Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät	2
1.5	Opinnäytetyön rajaus	3
1.6	Opinnäytetyön rakenne	3
2	RAUTE OYJ	5
3	ENERGIANKULUTUS JA SÄHKÖNLAATU	7
3.1	Teho	7
3.1.1	Sähköenergia	7
3.1.2	Taajuus	8
3.2	Jakelujännite	9
3.3	Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot	9
3.4	Yliaaltojen aiheuttajat	15
3.5	Yliaaltojen haitat	15
3.5.1	Moottorin ylikuormittuminen	16
3.5.2	Nollajohtimen ylikuormittuminen	16
3.5.3	Muuntajan ylikuormittuminen	17
3.5.4	Yliaaltojen haitat kWh-mittauksessa	18
3.5.5	Säröteho	19
3.6	Yliaaltojen suodattamisessa käytettävät ratkaisut	20
3.6.1	Yliaaltosuodatin	20
3.6.2	Aktiivisuodatin	21
3.6.3	Estokelaparisto	21
4	CASE RAUTE OYJ	23
4.1	Sähkönlaadun ja energiankulutuksen mittaukset	23
4.1.1	Mittalaite	23
4.1.2	Mittauksen suorittaminen	24
4.1.3	Mittauskohteet	28
4.2	Mittaustulokset	28
4.2.1	Projektin 1 kuivaaja	29
4.2.2	Projektin 2 sorviliinja	32

5	MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI	36
5.1	Projekti 1 kuivaaja	36
5.2	Projekti 2 sorviliina	44
5.3	Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti	53
6	YHTEENVETO	54
	LÄHTEET	56
	LIITTEET	58



## KÄSITTEET

Tässä kappaleessa määritellään opinnäytetyössä käytettävät käsitteet.

U	Jännite, V
$U_n$	Järjestelmän nimellisjännite
$U_p$	Pääjännite, 400V
$U_v$	Vaihejännite, 230V
P	Teho, W
I	Virta, A
kWh	Kilowattiatunnissa
W	Energia, J
t	Aika, s
f	Taajuus, Hz
THD	Harmoninen kokonaissärö
THD-F	Harmonisten yliaaltojännitteiden määrä suhteessa perustaajuiseen komponenttiin
THD-R	Harmonisten yliaaltojännitteiden määrä suhteessa jännitteen tehollisarvoon
D	Säröteho
T	Jakson pituus, s
$f_h$	Perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna
n	Kokonaisluku
$U_0$	Jännitteen tasakomponentti

$A_n$  ja  $B_n$

Fourier'n sarjan kertoimia

Pienjännite

Nimellinen tehollisarvo enintään 1000V



## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan sähkönlaatua ja energiankulutusta Raute Oyj:n valmistamissa vaneri- ja LVL-viilupalkkikoneissa. Tarkemmin opinnäytetyössä keskitytään selvittämään esiintyykö Raute Oyj:n valmistamissa koneissa sähkönlaatua heikentäviä tekijöitä, kuten harmonisia yliaaltoja. Lisäksi työssä tarkastellaan, voiko moottorikeskusten mitoituksessa käytettävää korjauskerrointa tarkentaa nykyisestä 0,85- 0,9. Opinnäytetyön johdannossa käydään tarkemmin läpi opinnäytetyön tausta ja opinnäytetyön tavoite sekä tutkimuskysymykset, opinnäytetyössä käytettävät tutkimusmenetelmät, opinnäytetyönrajaus sekä opinnäytetyön rakenne.

### 1.1 Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyö on suoritettu yhteistyössä Raute Oyj:n kanssa, ja ehdotus opinnäytetyön tutkimuksen aiheesta muotoutui heidän aloitteestaan. Sähkönlaadun ja energiankulutuksen mittaustuloksia Raute Oyj hyödyntää asiakaskeskusteluissa, sekä sähkönlaadun ja energiankulutuksen tarkkailussa, sillä näiden tulee täyttää vaaditut standardit. Aiemmin, yksittäisten asiakastapausten yhteydessä Raute Oyj on selvittänyt harmonisten yliaaltojen esiintymistä asiakkaalle toimitetuista laitteista, mutta tämän tarkempaa aiempaa tutkimusta sähkönlaadusta ja energiankulutuksesta ei ole tehty.

Korjauskertoimen tarkentamisen selvittäminen taas on hyödyllistä moottorikeskusten mitoituksen kannalta. Korjauskertoimen tarkentaminen alle 0,85 mahdollistaisi moottorikeskuksiin valittavien pääkytkimien, etukojeiden sekä syöttökaapeleiden pienentämisen, millä olisi alentava vaikutus tuotteen hintaan.

### 1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Raute Oyj:n valmistamien teollisuuden vaneri- sekä LVL-koneiden sähkönkulutusta sekä sähkönlaatua.

Opinnäytetyössä keskitytään kuivaajan ja sorvilinjan moottorikeskusten sähkönkulutukseen, sekä niiden sähköverkkoon tuottamiin erilaisiin häiriöihin, kuten harmonisiin yliaaltoihin. Opinnäytetyössä tehtävien mittausten perusteella on myös tarkoitus tutkia, voidaanko moottorikeskusten mitoituksessa käytettävää korjauskerrointa tarkentaa nykyisestä 0,85-0,90.

### 1.3 Opinnäytetyön tutkimuskysymys

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiä on kaksi: ensimmäiseksi työssä selvitetään tuottavatko Raute Oyj:n valmistamat koneet sähköverkkoon häiriöitä, ja mikä niiden todellinen sähkönkulutus on. Tämän lisäksi tutkitaan, onko moottorikeskusten mitoituksessa käytettävää korjauskerrointa mahdollista tarkentaa.

### 1.4 Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät

Tutkimus suoritetaan toiminnallisena tapaustutkimuksena Raute Oyj:n asiakkaiden tehtailla Suomessa sekä ulkomailla. Toiminnallisella tutkimuksella viitataan opinnäytetyöntekijän aktiiviseen rooliin tutkimuksen ja tulosten saavuttamisessa, jossa opinnäytetyöntekijän tarkoituksena on kehittää tutkimuksen kohteena olevaa asiaa (KAMK 2016).

Tapaustutkimuksella taas viitataan tutkimusstrategiaan, jossa keskitytään tutkimaan syvällisesti vain yhtä tai muutamaa kohdetta (Jyväskylän yliopisto 2015).

Mittaukset suoritetaan näissä asiakaskohteissa tuotannossa tai koeajossa oleville Raute Oyj:n toimittamille vaneri- ja LVL-viilupalkkikoneille huhtikuussa 2016. Mittauksissa tarkasteltiin erityisesti käynnistysvaiheen virrankulutusta ja sähkönlaatua, koska moottoreiden käynnistyessä aiheutuu välillä suuriakin virtapiikkejä ja jännitteenmuutoksia.

Työssä esiintyvät tutkimuskohteet valikoituivat opinnäytetyöhön niiden sijainnin takia, sekä sinne toimitetut laitteet olivat uusia, ja niistä haluttiin saada tutkimustietoa, ja sen lisäksi ne sijaitsivat lähellä joten sinne oli

helppo mennä. Kummassakin paikassa, mitattavat koneet olivat vielä koeajo vaiheessa. Kuivaajissa sillä ei mittaustuloksen kannalta ole merkitystä, mutta toisessa kohteessa olevalla uudella sorvilinjalla operaattorit vasta harjoittelivat koneen käyttöä, joten sillä ei ajettu täydellä teholla, millä on varmasti vaikutusta lopputulokseen ainakin sähkötehon ja virrankulutuksen kannalta. Tässä tapauksessa mittaustulosten yleistettävyyden kannalta, tarvitsisi mielestäni tehdä lisämittauksia vielä myöhäisemmässä vaiheessa, kun linja pyörisi täydellä teholla.

Mittausvälineenä tutkimuksessa käytettiin Fluken 435 Power quality analyzer sähkönlaatu- ja energia- analysaattoria. Kyseisellä mittalaitteella on aikaisemminkin tehty sähkönlaatuun liittyviä mittauksia Raute Oyj:ssä. Mittalaite on takoitettu sähkölaadun ja energiankulutuksen mittaamiseen, joten se sopii ominaisuuksiensa ansiosta erinomaisesti opinnäytetyössä tehtäviin mittauksiin.

### 1.5 Opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan sähkölaatuun vaikuttavilta tekijöiltä harmonisiin yliaaltoihin, jännitteen- ja taajuuden vaihteluihin. Näiden lisäksi työhön kuuluu koneiden energiankulutuksen selvittäminen, sekä korjauskertoimen tarkentaminen. Työssä ehdotetaan vaihtoehtoja korjauskertoimen pienentämiseksi, sekä laitteistoja joilla voidaan vaikuttaa sähkölaatuun. Työssä ei puututa sähkölaatuun vaikuttavien laitteistojen mitoitukseen, mikäli niille on tarvetta, eikä myöskään käsitellä loistehon kompensointia tai transienttijännitteitä.

### 1.6 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön johdannon jälkeen esitellään opinnäytetyön teoriakehys, jossa paneudutaan tarkemmin sähkölaatuun vaikuttaviin tekijöihin, sekä niiden vaikutuksiin sähköverkkoon ja verkonkäyttäjälle. Opinnäytetyön tutkimusosassa esitellään tutkimusmenetelmät ja tutkimuskohteet, eli mittauksissa käytetty mittalaite sekä sen käyttö mittaustilanteessa, sekä esitellään mittauskohteet ja niistä saadut tulokset. Lisäksi analysoidaan

saatuja mittaustuloksia, ja verrataan niitä standardin SFS-EN 50160 määrittelemiin raja-arvoihin. Tutkimusosuudessa tarkastellaan myös moottorikeskusten korjauskertoimen tarkentamista saatujen mittaustulosten perusteella.

Työn tuloksena esitetään yhteenveto ja jatkotoimenpiteet, energian- ja sähkönlaadun mittausten osalta. Yhteenvedossa esitetään tarvittavia laitteistoja, joilla esimerkiksi harmonisia yliaaltoja saadaan pienennettyä tai poistettua kokonaan. Laitteistojen valintaan en ota tässä työssä kantaa, vaan ne valitaan tarvittaessa tapauskohtaisesti, mikäli tarvetta.

Työssä tarkastellaan myös moottoriluetteloiden korjauskerrointa, ja ehdotetaan niihin tarkennuksia jos mahdollista. Mikäli pienemmällä korjauskertoimella voidaan päästä pienempiin komponentteihin, kuten pääkytkimet tehdään niihin myös ehdotuksia yhteenvedossa.

## 2 RAUTE OYJ

Raute Oyj toimii puutuoteteollialalla maailmanlaajuisesti päätoimialanaan vaneri- ja LVL-teollisuus. Raute Oyj:n päätuotantoyksikkö ja konsernihallinto sijaitsevat Nastolassa, muut tuotantolaitokset sijaitsevat Kajaanissa, Vancouverissa ja Shanghaissa. Tuotantolaitosten lisäksi Raute Oyj:llä on muita palveluita, kuten myynti sekä huolto- ja varaosapalveluita maailmanlaajuisesti. Raute Oyj työllistää lähes 650 henkilöä yhdeksässä eri maassa (Raute Oyj 2016a). Sen liikevaihto oli vuonna 2015 112,45 miljoonaa euroa (Finder 2016).

Raute Oyj on maailmanlaajuinen markkinajohtaja suurimmalla asiakasteollisuudenalallaan vaneriteollisuudessa 15- 20 prosentin markkinaosuudella. Myös LVL-teollisuudessa Raute Oyj:n asema on vahva, sillä yli puolet maailmassa tuotettavasta LVL:stä tuotetaan Raute Oyj:n toimittamilla koneilla. Tehdaslaajuisissa toimituksissa Raute Oyj on markkinajohtaja niin vaneri- kuin LVL- teollisuudessa. Raute Oyj:n tuottamat palvelut kattavat asiakkaan koko tuotantoprosessiin tarvittavat laitteet ja koneet. Kone ja laite toimitusten lisäksi palveluihin kuuluvat, teknologiapalvelut varaosatoimituksista säännölliseen kunnossapitoon ja konekannan modernisointeihin (Raute 2016a).

Raute Oyj:n asiakkaita ovat eri puuteollisuuden parissa toimivat yritykset isoista metsäkonserneista pieniin perheomisteisiin yrityksiin. Rauten asiakkaat valmistavat puusta viilua, vaneria ja viilupalkkia (LVL, Laminated Veneer Lumber). Puuteollisuus on maailmanlaajuisesti kasvava ala, jota vauhdittavat esimerkiksi rakennusteollisuudessa uusiutuvien raaka-aineiden ja materiaalien käytönkasvu. Globaalin puutuoteteollisuuden markkinoiden koko on tällä hetkellä noin 150 miljardia euroa, josta maailmanlaajuisen viilu-, vaneri ja LVL-teollisuuden investointien kokonaisarvon arvioidaan olevan noin 600 - 750 miljoonaa euroa vuodessa. Vaneri on säilyttänyt vankan aseman käyttökohteissa, joissa materiaalilta vaaditaan kosteuden kestävyyttä, rakenteellista lujuutta sekä näyttävää ulkoasua. Vanerilevyn monikäyttöisyyttä lisäävät sen erilaiset pinnoitusmahdollisuudet (Raute 2016a).

Lehtipuuvanerilla on hyvä pintakovuus sekä erinomaiset lujuus- ja jäykkyyssominaisuudet. Sen tyypillisiä käyttökohteita ovat betonointilevyt, konttien lattiat, kuljetusvälineiden lattiat, rakennusten seinät ja katot, liikennemerkkit ja opastetaulut sekä huonekalut ja kalusteiden sidelistat. Myös havuvanerilla on hyvät jäykkyyss- ja lujuusominaisuudet, mutta se on lehtipuuvaneria oksaisempaa ja pehmeämpää, joskin se on myös kevyempää ja sitä on helpompi työstää. Havuvanerin tyypillisiä käyttökohteita ovat vesikattorakenteet, rakennusten lattiat, seinät ja katot, pakkaukset ja laatikot, ajoneuvojen piiloon jäävät rakenteet, työmaarakenteet sekä aitaukset ja suojat (Raute 2016b).

LVL- viilupalkki eli Laminated Veneer Lumber, on viilutuote, jossa viilut liimataan yhteen syyt samansuuntaisesti. LVL:n yleisin käyttökohde on rakennusteollisuus, siitä voidaan valmistaa pitkiä ja erittäin lujia palkkeja ja suurikokoisia puulevylaattoja, se on myös ympäristöystävällisempi vaihtoehto teräkselle ja betonille. LVL:ää valmistetaan erilaisista mänty- ja kuusilajikkeista (Raute 2016b).

### 3 ENERGIANKULUTUS JA SÄHKÖNLAATU

Tässä luvussa käsitellään energiankulutukseen liittyviä suureita, sekä sähkönlaatuun liittyviä tekijöitä, jotka aiheuttavat häiriöitä sähköverkkoon. Sähkönkäytön ja tehoelektroniikan lisääntymisen myötä on sähköverkkoon häiriöitä aiheuttavien laitteiden määrä kasvanut. Eräs merkittävästi sähkönlaatua huonontavatekijä ovat harmoniset yliaallot, joita tässä teoriaosassa käsitellään tarkemmin.

Verkossa esiintyvät häiriöt eivät ole ongelma pelkästään niitä aiheuttaville laitteille, vaan ne voivat sähköverkon välityksellä aiheuttaa häiriötä myös muille samaan sähköverkkoon kytketyille laitteille. Nämä ovat ongelmallisia sen takia, että ne saattavat aiheuttaa odottamattomia ongelmia laitteissa, sekä niiden lähdettä voi olla hankala selvittää. (Alanen & Hätönen 2006, 16.)

Energiankulutukseen liittyvistä suureista esitellään teho, jonka suureista esille otetaan sähköenergia ja taajuus. Lisäksi energiankulutuksen suureista esitellään jakelujännite. Sähkönlaatuun vaikuttavista tekijöistä käsitellään harmonisia ja epäharmonisia yliaaltoja, niiden aiheuttajia sekä niistä koituvia haittoja. Lopuksi opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään yliaaltojen suodattamisessa käytettäviä ratkaisuja.

#### 3.1 Teho

Teho ilmaistaan tunnuksella watti (W), ja sen tunnus on SI-järjestelmässä P. Teho on jännitteen ja virrantulo, joka voidaan laskea kaavalla  $P=U \cdot I$ . Tunnuksella watti voidaan ilmaista, kuinka monta jouluea (J) energiaa kuluu sekunnissa (Ahoranta 2004, 50).

##### 3.1.1 Sähköenergia

Sähköenergian ja –työn yhtälöllä voidaan ilmaista kulunut energia, kun tiedetään virta, resistanssi sekä aika. Sijoittamalla arvot sähköenergian kaavaan saadaan selville sähköteho P. (Ahoranta 2004, 52)

Sähköenergia ja – työ = (sähkövirta)<sup>2</sup> \* resistanssi \* aika

$$W = I^2 * R * t$$

Yhtälö voidaan myös kirjoittaa toiseen muotoon soveltamalla Ohmin lakia

$$U = I * R:$$

$$W = I^2 * R * t \qquad I^2 * R = I * I * R = I * U$$

Kaava saadaan muotoon  $W = U * I * t$

Jossa sähkötyö on suoraan verrannollinen sähkövirran neliöön.

Nostamalla sähkövirtaa myös sähköenergia-arvo nousee eli  $W \sim I^2$ . Tämän lisäksi sähkötyö on suoraan verrannollinen käytettyyn aikaan eli  $W \sim t$  sekä resistanssiin  $W \sim R$ . Tästä voidaan päätellä että sähkötyö on suoraan verrannollinen sähkövirran neliöön ja sähkövirran kulku aikaan eli  $W \sim I^2 * t$ . (Ahoranta 2004, 52)

Soveltamalla Ohmin lakia saadaan sähköenergian yhtälö muotoon  $W = U * I * t$ , jossa energiaa mitataan laskemalla kuinka kauan aikaa kuluu ( $t$ ) ja kuinka suurta tehoa ( $P$ ) on käytetty. Sähköenergian yksikkönä voidaan käyttää myös Joulen lisäksi kilowattituntia (1 kWh, joka on 3,6 MJ). Kilowattitunnilla ilmaistaan yhden tunnin aikana kulunut energia kilowatteina (kW). (Ahoranta 2004, 53)

### 3.1.2 Taajuus

Taajuuden suurennus on  $f$ , vaihtojännitteen tai –virran taajuudella voidaan ilmoittaa kuinka monta jaksoa esiintyy yhden sekunnin aikana. Taajuuden yksikkönä käytetään Hertziä joka merkitään tunnuksella Hz jolla tarkoitetaan yksikköä 1/ sekunti (Ahoranta 2004, 150).

$$[f] = 1\text{Hz} = \frac{1}{s} = 1s^{-1}$$

Suomessa sähköverkon perustaajuus on 50 Hz. Taajuudelle on määritelty standardissa SFS-EN 50160 tarkat laatuvaatokset, jossa taajuuden mittaus tulisi suorittaa 10 sekunnin keskiarvoina viikon ajalta. Hyvässä ja



normaalissa laadussa verkontaajuuden mittausarvoista 99,5% tulisi olla välillä  $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ . Poikkeuksena erillisverkko, jossa sallitaan suurempi poikkeama taajuuden arvossa. (Ahoranta 2004, 151.)

*TAULUKKO 1. Taajuuden laatuksiteerit (Lähde: VTT 2006, 14)*

Jännitteen ominaisuus	Hyvä laatu (Sener)	Normaali laatu (Sener)	SFS-EN 50160:n mukainen laatu
Taajuus	$50 \text{ Hz} \pm 1\%$	$50 \text{ Hz} \pm 1\%$	99,5 % välillä $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ kaikki välillä $50 \text{ Hz} + 4\% / -6\%$
Taajuus (erillisverkoissa)			95 % välillä $50 \text{ Hz} \pm 2\%$ kaikki välillä $50 \text{ Hz} \pm 15\%$

### 3.2 Jakelujännite

Standardi SFS-EN 50160 määrittelee Suomessa pienjakelujännitteeksi vaihe- ja nollajohtimen väliltä mitattuna 230V, ja vaiheden väliltä mitattuna 400V. Jännitemittaukset tulee suorittaa tehollisarvoina kymmenen minuutin keskiarvosta. 95% mitatuista arvoista tulee olla välillä  $230\text{VAC} \pm 10\%$ , tämän lisäksi kaikkien mitattujen arvojen tulee olla välillä  $230\text{VAC} +10\%/-15\%$ . (VTT 2006, 14.)

*TAULUKKO 2. Jännitteen laatuksiteerit pienjännitteelle (Lähde: VTT 2006, 14)*

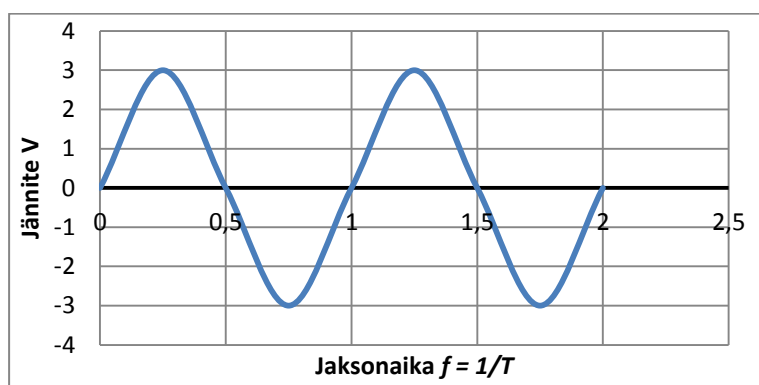
Jännitteen ominaisuus	Hyvä laatu (Sener)	Normaali laatu (Sener)	SFS-EN 50160:n mukainen laatu
Jännitetason vaihtelu (pj-verkko, $U_n=230 \text{ V}$ )	$U_n \pm 4\%$ ja keskiarvo $U_n \pm 2,5\%$	$U_n +6 / -10\%$	95 % välillä $U_n \pm 10\%$ kaikki välillä $U_n \pm 10 / -15\%$

### 3.3 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

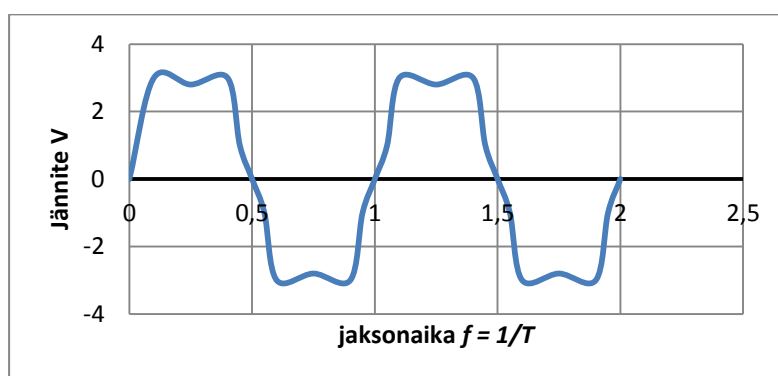
Yliaaltoja on harmonisia sekä epäharmonisia, harmoniset yliaallot ovat näistä huomattavasti yleisempi ongelma. Harmoniset yliaallot ovat perustaajuuden kerrannaisia, ja ne summautuvat verkkotaajuuden päälle aiheuttaen tehohäviöitä verkossa olevissa laitteissa. Harmonisilla yliaalloilla kuvataan taajuutta, joka on verkkotaajuuden kokonaislukumonikerta. Epäharmoniset yliaallot syntyvät taas erittäin epälinearisista laitteista, joiden virta vaihtelee jännitejaksoista

riippumattomasti. Epäharmonisella yliaaltojännitteellä tarkoitetaan taajuutta, joka esiintyy harmonisten yliaaltojen välissä. Tämä tarkoittaa myös sitä, ettei epäharmoninen yliaaltojännite ole perustaajuuden monikerta. Niiden summutuessa verkkotaajuuden päälle, aiheuttavat ne taajuuden sinimuotoon joko alle tai yli 50Hz jaksollista vaihtelua. Lisäksi ne voivat muodostaa tiheän kohinaluontoisen spektrin (Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori & Wilén 2006, 26.)

Sähkönjakelujärjestelmään kytketyt epälineaariset kuormat synnyttävät yliaaltovirtoja ja -jännitteitä, näiden yliaaltojen vaikutuksesta verkkojännite säröytyy. Säröytyminen tapahtuu kun vaihtojännitteiden ja -virtojen käyrämuoto ei ole täysin sinimuotoinen (kuva 1 ja kuva 2). (Männistö ym. 2006, 26.)



KUVA 1. Sinimuotoinen jännite



KUVA 2. Säröytyneen jännitteen sinikäyrä

Yliaaltosärö on yksi sähköverkoissa esiintyvä saasteen muoto, joka saattaa aiheuttaa verkossa ongelmia, mikäli se ylittää sille asetetut rajat.

Yliaaltosärö ei ole paikallinen ilmiö, vaan se vaikuttaa kaikkiin sähköverkkoon kytkettyihin laitteisiin. (Männistö ym. 2006, 26.)

Yliaaltosärö voidaan laskea myös matemaattisesti. Särötehon määrittelyssä ei ole päästy kansainväliseen yhteisymmärrykseen, joten määrittely saattaa vaihdella eri lähteissä (Männistö ym. 2006, 36).

Kun jännitteen tai virran käyrämuoto ei ole enää sinimuotoista, sen voidaan ajatella koostuvan useasta eritaajuisesta signaalista. Fourierin-analyysiä käyttämällä funktio voidaan hajoittaa komponentteihin, johon yliaaltojen matemaattinen käsittely perustuu. Jokainen jaksollinen funktio, joka esiintyy muodossa  $f(t) = f(t+T)$  voidaan kehittää Fourier'n sarjaksi. (Männistö ym. 2006, 26.)

Fourier'n sarja voidaan esittää muodossa:

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

Jaksollinen funktio  $f(t)$  on tässä tapauksessa jännite  $u(t)$

Funktiossa

$n$  = kokonaisluku

$T$  = jakson pituus

$U_0$  = jännitteen tasakomponentti

$A_n$  ja  $B_n$  = Fourier'n sarjan kertoimia

Fourier'n sarjakehitelmä voidaan myös kirjoittaa seuraavanlaiseen muotoon, missä kukin taajuuskomponentti on määritelty amplitudinsa  $\hat{u}_n$  ja nollavaihekulman avulla  $\alpha_n$  avulla.

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \hat{u}_n \sin(n\omega t + \alpha_n) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} U_n \sin(n2f_1 t + \alpha_n)$$

Fourier'n sarjakehitelmää voidaan siis käyttää esittämään jaksollinen epäsinimuotoinen funktio, tasakomponentin perustaajuisen komponentin ja harmonisten yliaaltojen summana, jossa harmoniset yliaallot ovat taajuudeltaan perustaajuuden kokonaislukukertoja. Ne voidaan tunnistaa järjestyslukunsa perusteella, joka saadaan jakamalla yliaallon taajuus  $f_n$  perustaajuudella  $f_1$ .

Yliaaltosisältöisen jännitteen hetkellisarvo  $u(t)$ , tehollisarvo  $U$  ja tasakomponentti  $U_0$

$$u(t) = U_0 + \sum_{n \neq 1}^{\infty} [\sqrt{2U_n} \sin(n * 2\pi f_1 t + \alpha_n)]$$

$U_0$  = jännitteen hetkellisarvojen pitkäaikainen keskiarvo eli tasakomponentti

$f_1$  = perustaajuus

$U_n = n * f_1$ - taajuisen jännitekomponentin tehollisarvo

$\alpha_n$  = yliaaltojännitteen  $n$  vaihekulma

$U$  = jännitteen tehollisarvo

Yliaaltosisältöisen virran hetkellisarvo  $i(t)$ , tehollisarvo  $I$  ja tasakomponentti  $I_0$

$$i(t) = I_0 + \sum_{n \neq 1}^{\infty} (\sqrt{2I_n} \sin(n * 2\pi f_1 t + \beta_n))$$

$$I = \sqrt{\sum_{n \neq 0}^{\infty} I_n^2}$$

$I_0$  = virran hetkellisarvojen pitkäaikainen keskiarvo eli tasakomponentti

$f_1$  = perustaajuus

$I_n = n * f_1$ - taajuisen virtakomponentin tehollisarvo

$\beta_n$  = yliaaltojännitteen  $n$  vaihekulma

$I$  = virran tehollisarvo

Harmonisia yliaaltojännitteitä voidaan myös arvioida jännitteen harmonisella kokonaissäröllä THD (total harmonic distortion), tämä tarkoittaa sinimuotoista jännitekomponenttia jonka taajuus on jakelujännitteen perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna

Harmonisten yliaaltojännitteiden määrä suhteessa joko perustaajuiseen komponenttiin (THD-F) tai jännitteen tehollisarvoon (THD-R).

$$THD - F = \frac{\sqrt{h \sum_{2,3,\dots}^{\infty} (U_h)^2}}{U_1}$$

$$THD - R = \frac{\sqrt{h \sum_{2,3,\dots}^{\infty} (U_h)^2}}{U}$$

Kokonaissäröä tarkastellessa on standardin SFS-EN 50160 mukaan otettava huomioon kaikki harmoniset yliaallot 40:een saakka (Männistö ym. 2006, 27).

Standardi SFS-EN 50160 määrittelee yliaaltojännitteille tietyt raja-arvot, joissa ilmenee sallitut kokonaissärökertoimenen rajat. Yliaaltovirtojen kohdalla tilanne on hieman epäselvä, koska standardi SFS-EN 50160 määrittää raja-arvot vain yliaaltojännitteille, mutta siinä ei mainita yliaaltovirtoja. Yliaaltovirroille löytyy kuitenkin eurooppalainen IEC/EN 61000-3-12 standardi, joka määrää suurimmat sallitut virran säröprosentit laitteille joiden nimellinen syöttövirta on 16- 75 A vaihetta kohden. Tämä standardi on kuitenkin vain suositus, eikä varsinaisia määräyksiä ole. (Männistö ym. 2006, 21.)

TAULUKKO 3. Standardin SFS-EN 50160 mukainen harmonisten yliaaltojännitteiden arvot liittymiskohdassa järjestyslukuun 25 asti prosentteina nimellisjännitteestä. (Lähde: Alanen & Hätönen 2006)

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

TAULUKKO 4. Harmonisten yliaaltojännitteiden laatuksiteerit. (Lähde: Alanen & Hätönen 2006)

Jännitteen ominaisuus	Hyvä laatu (Sener)	Normaali laatu (Sener)	SFS-EN 50160:n mukainen laatu
Harmoniset yliaaltojännitteet	$U_{nSh} \leq$ Taulukko 1 arvot ja THD $\leq$ 3 %	$U_{nSh} \leq$ Taulukko 1 arvot ja THD $\leq$ 6 %	95 % $U_{nSh} \leq$ Taulukko 1 arvot ja THD $\leq$ 8 %

Hajautetulle tuotannolle on määritelty tiukemmat rajat kuin tavalliselle jakeluverkolle.

TAULUKKO 5. Hajautetulle tuotannolle sallitut yliaaltovirtapitoisuudet ( $THD \leq 5\%$ ). (Lähde: Alanen & Hätönen 2006)

Yliaallon järjestysluku	Parittomien yliaaltovirtojen $I_{odd}$ osuus referenssivirrasta $I_R$ .	Parillisten yliaaltovirtojen $I_{even}$ osuus referenssivirrasta $I_R$ .
$h < 11$	4,0 %	1,0 %
$11 \leq h < 17$	2,0 %	0,5 %
$17 \leq h < 23$	1,5 %	0,4 %
$23 \leq h < 35$	0,6 %	0,2 %
$35 \leq h < 50$	0,3 %	0,1 %

### 3.4 Yliaaltojen aiheuttajat

Yliaallot ovat yhä yleisempi ongelma elektronisten laitteiden lisääntymisen myötä. Tavallisia yliaaltojen aiheuttajia ovat esimerkiksi moottorin käynnistimet, tasa- ja vaihtosuuntaaja käytöt, nopeussäädetyt käytöt, tietokoneet, elektroniset laitteet ja UPS-laitteistot, sekä vikaantuneiden moottorien ja muuntajien magneettipiirit. Tämän lisäksi loistehon kompensointi saattaa aiheuttaa resonansseja yliaaltojen kanssa, jonka vaikutuksesta yliaallot voimistuvat entisestään. (ABB 2001, 8.)

### 3.5 Yliaaltojen haitat

Yliaaltojen aiheuttamat häiriöt näkyvät sähkölaitteissa esimerkiksi kuormitettavuuden alentumisena, sekä muuntajien, kaapeleiden, moottoreiden ja kondensaattorien ylikuumentumisena. Yliaallot aiheuttavat myös automaatiolaitteissa virhetoimintoja, ja mittalaitteissa virhenäyttämiä sekä elektroniset näytöt saattavat alkaa ”vilkkumaan”. (ABB 2001, 7.)

### 3.5.1 Moottorin ylikuormittuminen

Harmonisten yliaaltojen aiheuttamat magneettikentät kuormittavat moottoreita turhaan, jonka seurauksena moottoreiden kuormitettavuus alenee. Mikäli verkossa esiintyy yliaaltoja saattavat ne aiheuttaa moottoreissa ylimääräistä lämpenemistä, sekä eritaajuisia ääni- ja värähtelyilmiöitä. Moottorien ylikuumentuminen aiheutuu magneettikentistä, jotka harmoniset yliaallot aiheuttavat järjestelmässä. (ABB 2001, 8.) Harmonisille yliaalloille on olemassa taulukko, josta voidaan tarkastaa yliaallon vaikutus moottorille. Kyseisessä taulukossa on esitetty 9 ensimmäistä harmonista yliaaltoa. (Männistö ym. 2006, 34.)

*TAULUKKO 6. taulukossa harmoniset yliaallot luokiteltu symmetrisellä vaihekuormalla, 9 ensimmäistä (Lähde: Alanen & Hätönen 2006, 16).*

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
50	100	150	200	250	300	350	400	450
+	-	0	+	-	0	+	-	0

Jos taulukosta luettaessa saadaan harmoniselle positiivinen arvo, niin siinä tapauksessa magneettikentän pyörimissuunta on eteenpäin, ja moottorissa syntyy lisälämpenemistä. Negatiivinen arvo jarruttaa moottoria koko ajan sen käydessä, ja aiheuttaa näin ollen tehohäviötä. Mikäli harmoniselle saadaan taulukosta arvo 0, siinä tapauksessa sen synnyttämät yliaallot summautuvat nollajohtimeen aiheuttaen siihen ylimääräistä kuormitusta. (Männistö ym. 2006, 35; Alanen & Hätönen 2006,16.)

### 3.5.2 Nollajohtimen ylikuormittuminen

Kun kolmivaihekuorma on kuormitettu symmetrisesti, ei nollajohdin kuormitu lainkaan. Jos kolmivaihekuorman kuormitus muuttuu epäsymmetriseksi, eli vaiheiden kuormitus ei ole tasapainossa, niin tällaisessa tapauksessa alkaa nollajohdin kuormittumaan. Nollajohdin voi



kuormittua korkeintaan samana verran kun eniten kuormitettu vaihejohdin. Harmoniset yliaallot kuormittavat myös nollajohdinta, kuormituksen suuruus riippuu yliaallosta, onko se jaollinen kolmella vai ei. Kolmella jaottomat yliaallot kuormittavat nollajohdinta samalla tavalla kuin virran perusaalto. Kun taas haitallisemmat kolmella jaolliset yliaallot voivat saada aikaan nollajohtimeen tehollisarvoltaan vaihejohtimien virtoja suuremman virran, koska kolmella jaolliset yliaallot summautuvat nollajohtimeen. Toisena haittapuolena on johtimen kuormitettavuuden alentuminen virran taajuuden kasvaessa, tämä johtuu siitä että johtimen vaihtovirtaresistanssi kasvaa samalla. Joissakin tapauksissa nollajohtimen virta voi olla jopa 2-3 kertainen vaihevirtaan nähden, tällaiset tapaukset aiheuttavat ongelmia sähköverkossa. Kuten esimerkiksi tulipalovaaran, koska nollajohtimessa ei ole sulakesuojausta. Määräysten mukaan nollajohtimen minimi poikkipinta-alaksi sallitaan puolet vaihejohtimen poikkipinta-alasta yli  $16\text{mm}^2$  Cu ja  $25\text{mm}^2$  Al johdinpoikkipinta-aloilla (taulukko 7). (Männistö ym. 2006, 32.)

*TAULUKKO 7. Kaapelikoko taulukko (ABB 2000, 3)*

Poikkipinta mm <sup>2</sup>	$U_0 / U$						
	0,6 / 1 kV				6 / 10 kV		12 / 20 kV
	MCMK	MCMK	AMCMK	AMCMK	AXMK	AHXAMK-W	AHXAMK-W
2,5	3x2,2+2,5	4x2,5+2,5S					
6	3x6+6	4x6+6S					
10	3x10+10	4x10+10S					
16	3x16+16	4x16+16S	3x16Al+10Cu		4x16S		
25					4x25S		
35	3x35+35	3x35+16+16S	3x35Al+10Cu	3x35Al+16Al+10CuS	4x35S		
70	3x70+35	3x70+35+35S	3x70Al+21Cu	3x70Al+35Al+21CuS	4x70S		3x70Al+35Cu
120	3x120+70	3x120+70+70S	3x120Al+41Cu	3x120Al+70Al+41CuS	4x120S		3x120Al+35Cu
185	3x185+95	3x185+95+95S	3x185Al+57Cu	3x185Al+95Al+57CuS	4x185S	3x185Al+35Cu	3x185Al+35Cu
240	3x240+120	3x240+120+120S	3x240Al+72Cu	3x240Al+120Al+72CuS	4x240S		3x240Al+70Cu
300					4x300S	3x300Al+35Cu	

### 3.5.3 Muuntajan ylikuormittuminen

Normaalissa tilanteessa kun muuntajaa kuormitetaan sen nimellisarvolla, ovat jännite ja virta sinimuotoisia. Mikäli verkossa esiintyy yliaaltoja, jännite ja virta eivät enää välttämättä ole sinimuotoisia. Tämän seurauksena voi muuntajassa alkaa esiintymään tyhjäkäynti, sekä kuormitushäviöitä. Suurin vaikutus kuormitusvirrassa esiintyvillä yliaalloilla on muuntajan resistansseissa syntyviin lämpöhäviöihin, nämä johtuvat käämeissä syntyvästä resistanssista taajuuden noustessa. Mikäli verkossa esiintyy

paljon yliaaltoja, voidaan muuntajan kuormitusta joutua vähentämään jopa 20-30 % sen nimellisarvosta ylikuumentumisen takia. (Korpinen ym. 2001, 3)

Tämä on otettava huomioon muuntajaa mitoittaessa. Muuntajan mitoittamisessa voidaan käyttää matemaattista kaavaa, jonka perusteella muuntaja on valittava niin ettei kuormitushäviöt ylitä perustaajuisen nimellisvirran  $I_N$  kuormitushäviötä eli kuormitusvirran tehollisarvo  $I$  täyttää ehdon:

$$\frac{I}{I_N} \leq \sqrt{\frac{1 + a_1}{1 + \frac{a_1}{\sum_{n=1}^{\infty} n^2 \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}}}$$

KUVA 3. (Männistö ym. 2006, 34)

missä

$I_1$  = virran perusaalto

$n$  = yliaallon järjestysluku

$I_n$  = n:s yliaaltovirta

$a_1$  = virranahtauksen aiheuttama suhteellinen käämiresistanssin lisäys perusaallolla (50Hz). (Männistö ym. 2006, 34.)

#### 3.5.4 Yliaaltojen haitat kWh-mittauksessa

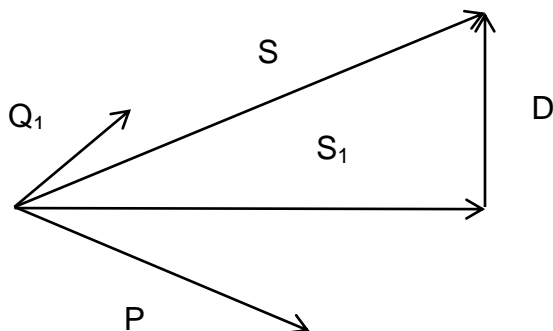
Ongelma esiintyy erityisesti vanhemmilla mekaanisilla induktiomittareilla, joissa yliaallot aiheuttavat mekaanisia ongelmia kuten värähtelyä.

Energianmittauksessa mitataan yleensä energiankulutusta, pätö- sekä loistehoa, verkossa esiintyvät yliaallot aiheuttavat näihin suureisiin muutoksia jotka aiheuttavat mittarin lukemiin vääristymiä. Vääristymiin

vaikuttaa erityisesti yliaaltojen vaihekulma perusaaltoon nähden, pätötehoon nämä eivät juurikaan vaikuta. (Männistö ym. 2006, 31.)

### 3.5.5 Säröteho

Sähköverkossa jossa esiintyy yliaaltoja, esiintyy myös pätö- ja loistehon lisäksi yliaaltojen aiheuttama säröteho  $D$ . Särötehoa ei pystytä kompensoimaan tavallisilla kompensointilaitteilla jotka ovat mitoitettu perustaajuudelle, tämä johtuu siitä että säröteho koostuu harmonisista yliaaltotaajuuksista. (Männistö ym. 2006, 36.)



KUVA 4. Särötehon laskentaesimerkki (Lähde: Männistö ym. 2006, 36)

Esimerkki särötehon käsittelemiseen laskettaessa särötehoa:

$$P = 222 \text{ kW}$$

$$S = 402 \text{ kVA}$$

$$D = 188 \text{ kVA}$$

$$S_1 = 360 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = 284 \text{ kvar}$$

Myös laskettaessa kuorman ottamaa näennäistehoa on säröteho otettava huomioon.

$$S = \sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}$$

Kun yliaaltopitoisesta verkosta mitataan tehokerrointa, on silloin otettava huomioon käytettävän mittalaitteen kyky erottaa perustaajuinen teho kokonaistehosta.

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{222 \text{ kW}}{402 \text{ kVA}} = 0,55$$

$$DPF = \frac{P}{S_1} = \frac{222 \text{ kW}}{360 \text{ kVA}} = 0,62$$

### 3.6 Yliaaltojen suodattamisessa käytettävät ratkaisut

Mikäli laitteessa tai verkossa esiintyy yliaaltoja, voidaan niitä suodattaa useilla erilaisilla ratkaisuilla joko laitekohtaisesti tai keskitetysti (ABB 2001, 7). Käytettävä laite valitaan sen mukaan halutaanko yliaaltoja suodattaa jostain tietyistä laitteesta tai komponentista, vai halutaanko suodattaa keskitetysti koko jakeluverkosta (Männistö ym. 2006, 30-36).

#### 3.6.1 Yliaaltosuodatin

Yleisimmin yliaaltosuodattimia käytetään pien- ja keskijänniteverkossa keskitettynä kompensointina. Yliaaltosuodatin poistaa yliaaltovirtoja verkosta sekä parantaa sähkönlaatua alentamalla jännitesäröä.

Yliaaltosuodatin koostuu normaalisti kolmesta sarjaresonanssipiiristä, jotka on säädetty suodattamaan yleisimmin esiintyviä harmonisia yliaaltoja, joita ovat 5, 7 ja 11 yliaalto. Yliaaltosuodattimen toiminta perustuu kondensaattoreiden kanssa sarjaan kytketystä kuristimista. Suodattimessa olevat kondensaattorit mitoitetaan niin, että niiden tuottamalla loisteholla saavutetaan haluttu kompensointitaso. Suodattimessa olevan kuristimen induktanssi muodostaa yhdessä kondensaattoreiden kanssa yliaaltotaajuudella pieni-impedanssisen sarjaresonanssipiirin, jonka vaikutuksesta suurin osa esiintyvistä yliaalloista kulkeutuu suodattimeen. (Männistö ym. 2006, 55.)

### 3.6.2 Aktiivisuodatin

Passiivisten suodattimien lisäksi löytyy myös puolijohdetekniikkaan perustuvat aktiiviyliäältosuodattimet, aktiivisuodatin voidaan asentaa mihin tahansa verkon osaan. Aktiivisuodattimet eroavat passiivista, siinä että ne reagoivat yliaaltotilanteen muutokseen, toisin kuin passiiviset suodattimet jotka suodattavat vain niille ennalta määritellyt yliaallot. Aktiivisuodattimen toiminta perustuu virran yliaaltokomponentin mittaamiseen, jonka kanssa suodatin tuottaa 180°:n vaihesiirrossa olevan virran, jonka vaikutukset alkuperäinen yliaaltovirta kumoutuu. Aktiivisuodattimella on myös muita etuja, sillä sitä ei voi ylikuormittaa. Mikäli yliaaltovirrat ylittävät suodattimen kapasiteetin, jatkaa suodatin toimintaansa normaalistin vain jättämällä kapasiteetin yli menevät yliaaltovirrat suodattamatta. Mikäli halutaan suurempi suodatusteho voidaan tilalle vaihtaa suurempi suodatin, tai kytkeä useampi suodatin rinnan. (Männistö ym. 2006, 62.)

Aktiivisuodattimeen voidaan myös valita useampia suodatettavia taajuuksia, kuin vastaaviin passiivisuodattimiin. Eivätkä ne myöskään tuota loistehoa, eikä niillä ole rinnakkaisresonanssin vaaraa. Aktiivisuodatin kykenee myös poistamaan kolmella jaolliset yliaallot, jotka ovat erityisen haitallisia summautuessaan nolla-johtimeen. Aktiivisuodattimen haittapuolena on, että se on hankintakustannuksiltaan kalliimpi kuin passiivisuodatin. (Männistö ym. 2006, 62.)

### 3.6.3 Estokelaparisto

Estokelaparistoa käytetään yleensä ensi sijaisesti loistehon kompensointiin, mutta sillä on myös yliaaltoja suodattava vaikutus. Estokelaparisto koostuu kondensaattoriyksikön kanssa sarjaan kytketystä estokelakuristimesta. Nämä yhdessä muodostavat sarjaresonanssipiirin, mikä on viritetty pienemmälle taajuudelle, kuin laitteessa tai verkossa esiintyvä pienin harmonisen yliaallon taajuus. Estokelaparisto estää verkkoa joutumasta resonanssitilanteeseen, tällainen tilanne voi syntyä kun kompensoitikonkondensaattorin kapasitanssi ja sähköverkon induktiivinen reaktanssi ovat yhtä suuret. Mikäli verkossa pääsee syntymään

rinnakkaisresonanssitilanne, saattaa viritystaajuuden osuessa jonkin olemassa olevan yliaaltotaajuuden kohdalle, voivat sen kanssa saman taajuiset virrat voimistua jopa 20-kertaisiksi. (Mäkinen & Kallio 2004, 26.)

Estokelan viritystaajuuden valinnalla voidaan vaikuttaa yliaaltojen suodatettavuuteen, yleensä estokelaparisto suodattaa 10-30% viidennen yliaaltovirran määrästä, kun estokela on viritetty 189 Hz taajuudelle. Estokelapariston viritystaajuus valitaan yleensä verkossa eniten esiintyvien yliaaltojen mukaan. Estokelaparistoja voidaan käyttää, joko keskitettyyn kompensoitiin ja yliaaltojen suodatukseen, tai se voidaan kytkeä jonkin yksittäisen laitteen tai laiteryhmän rinnalle. Jolloin se voidaan asentaa kytkeytymään päälle ja pois samanaikaisesti laitteen kanssa, paristoa voidaan myös ohjata ulkoisella ohjausvirralla mikäli sitä halutaan ohjata erikseen päälle ja pois. (Mäkinen ym. 2004, 26; Männistö ym. 2006, 54).

## 4 CASE RAUTE OYJ

Tässä luvussa käsitellään Raute Oyj:n rakentamien koneiden sähkönlaatuun liittyviä mittauksia ja mittaustuloksia, sekä tarkastellaan moottorikeskusten korjauskertoimia saatujen mittaustulosten perusteella. Kyseiset mittaukset on suoritettu huhtikuussa 2016 Suomessa sekä ulkomailla Raute Oyj:n asiakkaiden tehtailla Fluke 435 Power quality analyzer mittalaitteella, joka on sähkölaatu- ja energia-analysaattori.

### 4.1 Sähkönlaadun ja energiankulutuksen mittaukset

Sähkönlaadun ja energiankulutuksen mittaukset suoritettiin Raute Oyj:n asiakkaalleen toimittamista projektin 1 kuivaajasta sekä projektin 2 sorvilinjasta. Mitattavat kohteet olivat kuivaajan moottorikeskukset 300MCC ja 319MCC. Sekä sorvilinjasta mitattiin sorvin moottorikeskukset 200MCC, 230 MCC sekä sorvin jälkeen olevan pinkkaajan moottorikeskus 250MCC.

#### 4.1.1 Mittalaite

Opinnäytetyön mittauksissa mittalaitteena käytettiin Fluken 435 Power quality analyzer mittalaitetta, joka on sähkölaatu- ja energia-analysaattori. Mittarin avulla voidaan sähköverkosta mitata energiankulutusta ja sähkönlaatua. Mittari kytketään mitattavaan kohteeseen, joka voi olla järjestelmältään 3- tai 1-vaiheinen ja maksimi tulojännitteeltään 1000 voltia. Mittalaitteen mittaustoimintoihin kuuluvat perusmittaukset kuten jännite, virta, taajuus, teho, energia sekä käynnistysvirrat.

Jännitemittauksissa mittalaitteen tarkkuus on  $\pm 0,1$  % nimellisjännitteestä, virtamittauksissa  $\pm 0,5\%$  virran arvosta sekä taajuudenmittauksessa  $\pm 0,01$  Hz taajuuden arvosta. Lisäksi mittalaitteen toimintoihin lukeutuu sähkönlaadun mittauksiin liittyviä toimintoja, kuten kuopat ja kohoumat, harmoniset yliaallot, välkyntä, epäsymmetria, transientit sekä verkon signaalijännitteet. (Fluke 2007, 7.)

Mittarin varusteisiin kuuluu 5kpl mittajohtoja sekä hauenleukoja, jännitteen mittaukseen sekä maadoituksen ja nollan kytkemiseen mittariin. Näiden lisäksi varusteisiin kuuluu 4kpl joustavia AC-virtapihtejä, joilla voidaan mitata virtaa 3000 ampeeriin asti. Mittarin mukana tulee myös valmistajan oma FlukeView ja Power log -ohjelmisto, jotka mahdollistavat mittarin tallentaman datan siirron PC:lle jälkianalysointia varten. Mittari sisältää myös oman muistin, johon tietoja voi tallentaa. Muistin rajallisuuden vuoksi, on aikaisemmin mitattu data hyvä siirtää PC:lle ennen pidempää mittausta, ettei mittalaitteen muisti täytyy, joka johtaa mittauksen tallennuksen loppumiseen. (Fluke 2007, 5.)



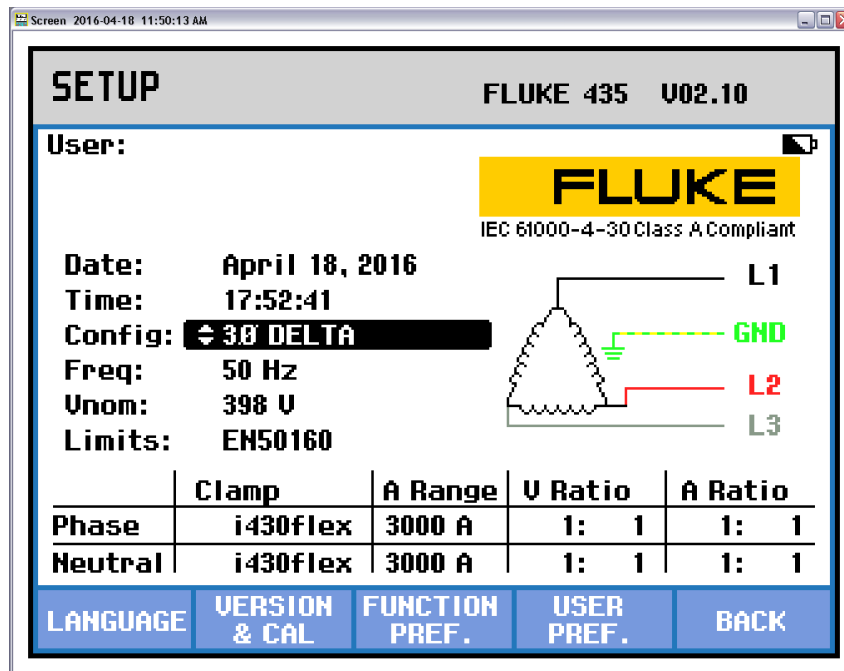
*KUVA 5. Fluke 435 Power quality analyzer (Lähde: Fluke 2016)*

#### 4.1.2 Mittauksen suorittaminen

Ennen mittauksen aloittamista mittausjohtimet ja pihdit kytkettiin mittauskohteeseen ja mittariin määritettiin tarvittavat asetukset. Kun mittari käynnistetään, avautuu siihen ensin aloitusnäyttö. Aloitusnäytössä (kuva

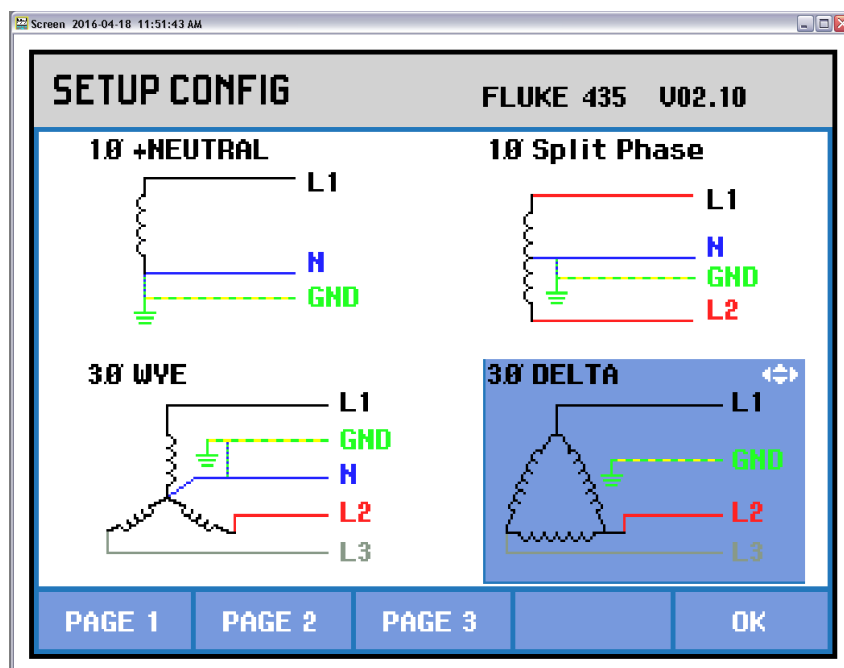


6) määritetään mittauksessa käytettävä kytkentä (kuva 7), nimellistaajuus, nimellisjännite, sekä jännite ja virtapäiden ominaisuudet.



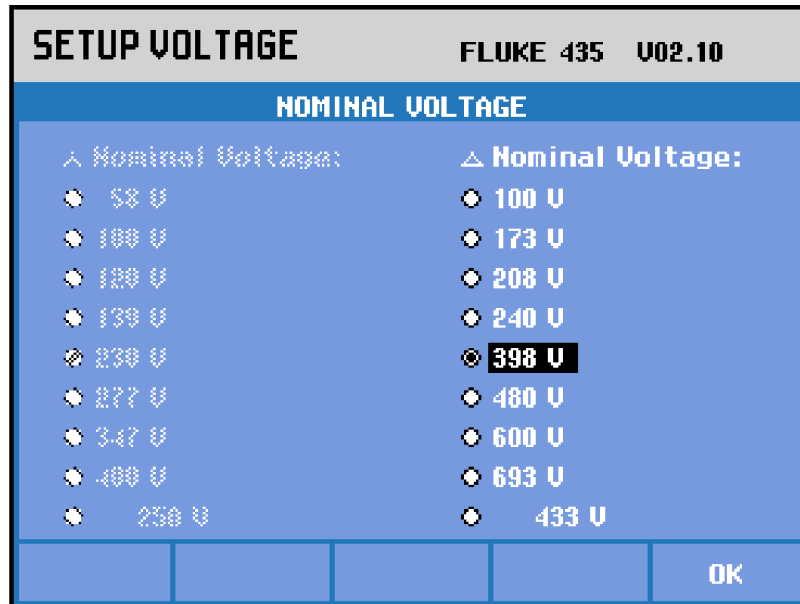
KUVA 6. Fluke Power analyzer alkunäyttö

Alkunäytössä näkyy mittaukseen valitut asetukset, vasemmalla näkyy mittauksessa käytettävä kytkentä, sen alla on verkon taajuus ja verkon nimellisjännite.



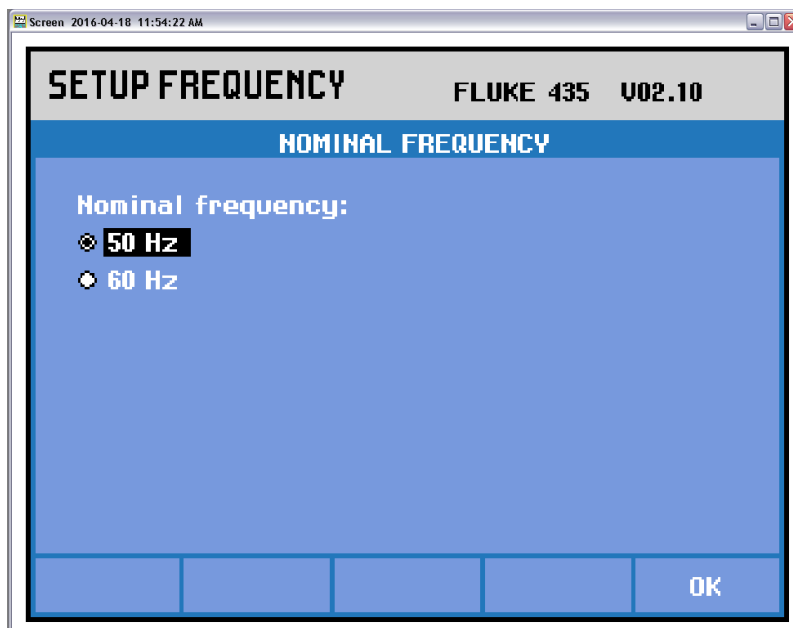
KUVA 7. Mittauksessa käytettävän kytkennän valinta

Mittauksessa käytettäväksi kytkennäksi (kuva 7) valitaan, kolmiotyyppinen 3-vaihe kytkentä, johon ei kuulu nolla-johtimen kytkentää, koska sitä ei mitattavissa moottorikeskuksissa ollut.

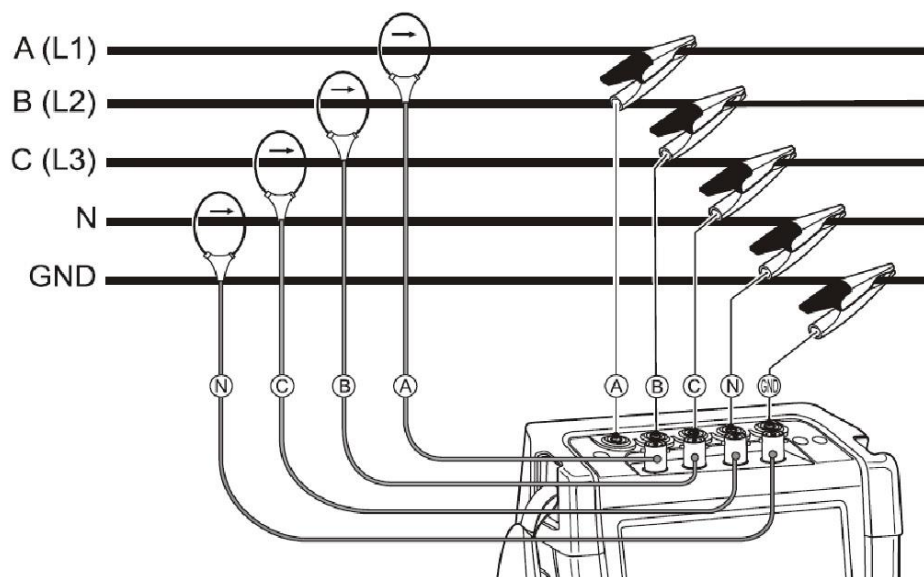


KUVA 8. Mittausjännitteen valinta

Koska mitattava järjestelmä oli 3-vaiheinen järjestelmä, ja nimellisjännite 400V ja taajuus 50Hz, niin mittausjännitteeksi valittiin 398V (kuva 8) ja taajuudeksi 50Hz (kuva 9).



KUVA 9. Mittaustaajuuden valinta



KUVA 10. Mittausjohtimien kytkentä (Lähde: Fluke 2007, 6)

Analysaattorissa on 4 BNC-tuloliitintä virtapihdeille ja 5 banaanituloliitintä jännitteelle. Mittajohtimet tulisi kytkeä aina jännitteettömään järjestelmään jos vain mahdollista, aina se ei kuitenkaan ole mahdollista, esimerkiksi tuotannossa olevan linjan pysäyttäminen ja jännitteettömäksi tekeminen voi olla hankalaa. (Fluke 2007, 6-2.)

Mittajohtimista kytketään ensin virtalenkit eri vaiheiden A (L1), B (L2), C (L3) ja nollajohtimen N, jos järjestelmässä sellainen on (kuva 10). Virtalenkkejä kytkettäessä tulee myös huomioida virran kulkusuunta, lenkit on kytkettävä oikein virran kulkusuunnan mukaan, joka on merkattu lenkkeihin nuolella. Seuraavaksi kytketään jännitteenmittauksen johtimet, ensin kytketään maajohdin ja sen jälkeen vaiheet A (L1), B (L2) ja C (L3). Kytkennässä tulee huomioida että, jännitteenmittauksessa käytettävät hauenleuat saavat kunnon kontaktin ja ovat kunnolla kiinnittyneet mitattavaan kohteeseen. (Fluke 2007, 6-3)

### 4.1.3 Mittauskohteet

Mittauskohteiksi valikoitui projekti 1. Kohteeseen rakennettiin uutta tehdasta, johon Raute Oy on toimittanut useita eri koneita.

Mittauskohteeksi valikoitui kuivaaja, jota käytetään vanerinviilujen kuivaamiseen. Tehtaalla olisi ollut muitakin linjoja, joita olisi voinut mitata, jos vierailu olisi ollut hieman myöhäisemmässä vaiheessa projektia. Koska tässä vaiheessa kuivaaja oli ainoa linja, jolla oli yhtäjaksoista ajoa, ja muut linjat olivat vielä rakennus- ja testausvaiheessa, ja eivät tämän takia olleet käynnissä. Lisäksi mittaukset suoritettiin tällä tehtaalla, sillä niiden tekeminen oli yhdistettävissä työmatkaan joka suuntautui kyseiselle tehtaalle. Mitattavia keskuksia olivat kuivaajan moottorikeskukset, 300MCC ja 319MCC.

Toinen mittauskohde oli myös rakennusvaiheessa oleva LVL-viilupalkkitehdas Suomessa, jonka käyttötarkoitusta ollaan muuttamassa viilupalkkitehtaaksi. Uudet tuotantolinjat rakennetaan vanhoihin tiloihin, joista mittauksia suoritettiin toisessa salissa jossa sijaitti sorvilinja ja kuivaaja. Koska tälläkin tehtaalla rakennustyöt olivat vielä kesken, pääsi mittauksia tekemään sorvilinjalla. Mittauksiin kuului sorvilinjan moottorikeskukset 200 MCC ja 230 MCC, ja sorvinpinkkaajan moottorikeskus 250 MCC.

### 4.2 Mittaustulokset

Mittaustuloksissa on tarkasteltu eri pituisia mittausjaksoja, joihin kuuluu projektin 1 kuivaajan moottorikeskusten tarkkailu käynnistystilanteessa ja sen jälkeen. Sekä projektin 2 sorvilinjan sähkömittauksia. Tarkat tutkimustulokset on esitelty tämän opinnäytetyön mittaustulosten analysointi osiossa. Mittaustulosten analysointi osiossa löytyvät taulukoituna tarkat mittausarvot, sekä graafisena esityksenä jännitteen, virran, harmonisten yliaaltojen sekä taajuuden vaihtelut mittausjakson aikana. Tuloksia on tarkasteltu yhteenvedossa, jossa niitä verrataan esimerkiksi yliaaltoja ja sähkönlaatua koskeviin standardeihin. Sekä mittaustuloksia on verrattu Raute Oy:n käyttämiin moottoriluetteloihin, joista on tarkasteltu voiko esimerkiksi moottoreiden mitoituksessa

käytettävää korjauskerrointa, joka on usein 0.85 mahdollista tarkentaa.

Tuloksia on tarkasteltu ja analysoitu ja niistä on tehty johtopäätökset löytyvät yhteenvedosta, jossa niitä verrataan esimerkiksi yliaaltoja ja sähkönlaatua koskeviin standardeihin. Mittaustuloksia on lisäksi verrattu Raute Oyj:n käyttämiin moottoriluetteluihin, joista on tarkasteltu voiko esimerkiksi moottoreiden mitoituksessa käytettävää korjauskerrointa (0,85 - 0,90) tarkentaa.

#### 4.2.1 Projektin 1 kuivaaja

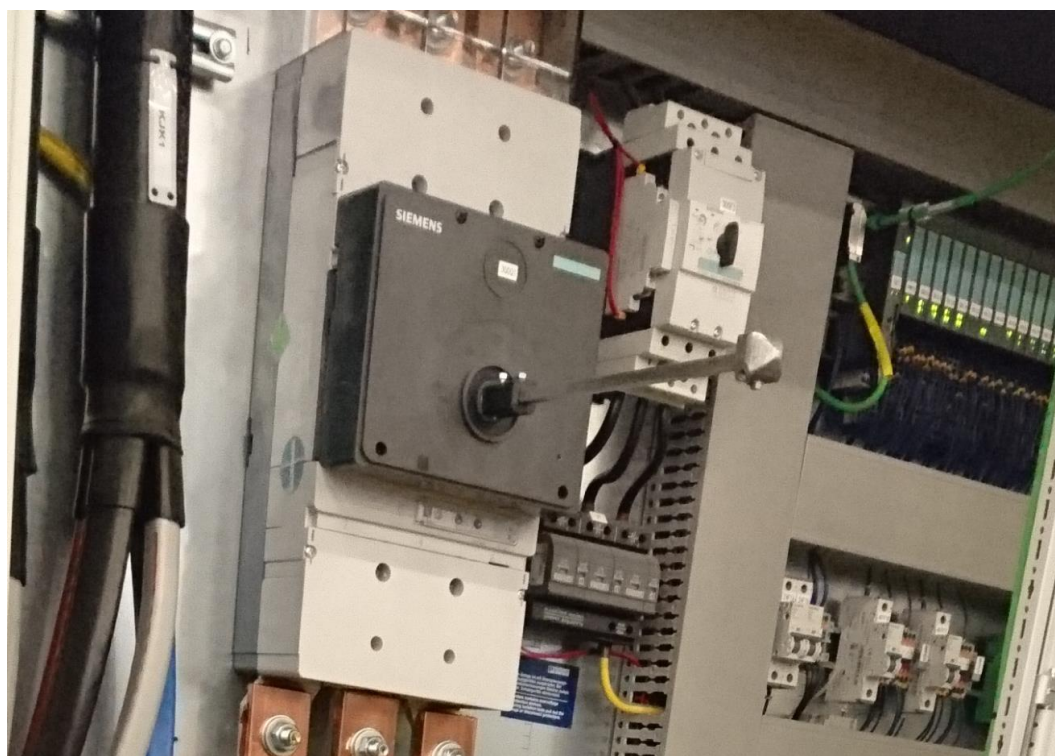
Moottorikeskus 300 MCC:stä (kuva 11) lähtevät kuivaajan alkupään moottorisyötöt, tämän moottorikeskuksen pääjännite oli 400V ja taajuus 50Hz, moottoriluettelossa näkyvä laskennallinen jatkuva kuormitus oli 588,969A. Keskuksen kompaktikatkaisija oli Siemensin 3VL6780-2SB36-0AC1(800A), jonka virta-arvo oli säädetty 640A:iin, laukaisuaika 8 sekuntia ja oikosulkuvirran arvo oli 1600 A. Katkaisijalle tuli kaksi rinnakkaista syöttökaapelia, jotka kummatkin olivat kooltaan 3\*240 Al + 72Cu.



*KUVA 11. Moottorikeskus 300 MCC*

Moottorikeskuksesta 300 MCC (kuva 11) lähti useita suuritehoisia moottorilähtöjä, kuten 6 kappaletta kuumailmapuhaltimia (hot air blower, 321M1,322M1,323M1,324M1,325M1 ja 326M1), joiden sähköteho oli

30kW ja virranarvo 60 A per puhallin, puhaltimien käynnistys oli toteutettu ohjelmallisesti 3 sekunnin porrastuksella. Suurin yksittäinen moottorilähtö oli öljynkierrätyspumppu (hot oil circulation pump, 385M1), jonka sähköteho oli 45kW ja virranarvo 83 A. Käynnistysvaiheen mittauksissa näkyi selkeä hetkellinen jännitteen alenema ja virtapiikki, moottorikeskuksen moottorien käynnistyessä. Edellä mainittujen kuumailmapuhaltimien ja öljynkierrätyspumppun lisäksi keskukseseen oli kytketty useita pienempiä moottoreita, joiden vaikutus näkyy myös mittaustuloksissa, mutta ei kuitenkaan yhtä suurena kuin suuritehoisimpien moottoreiden.



KUVA 12. Siemens 3VL6780-2SB36-0AC1 (800A)



*KUVA 13. Kompaktikatkaisijan säätöarvot, ensimmäinen säätö on kerroin kytkimen kokonaisvirrasta (800A\*0,8), toinen säätö on laukaisuaika (8s) ja kolmas oikosulkuvirran kerroin(12\*800A).*

Mittaus suoritettiin kuivaajan käynnistys hetkellä 1 tunnin ja 23 minuutin pituisena jaksona, eli mittauksen alkuvaiheessa kuivaaja oli kylmä, ja aluksi sitä lämmitetään ennen käynnistystä. Käynnistyksessä suurin hetkellinen sähkötehon arvo oli 276,7 kW, ja suurin virranarvo oli 692 A vaiheella L2. Taajuus vaihteli välillä 49,965 Hz- 50,035 Hz ja jännite vaihteli välillä 371,66V- 392,22V, suurin hetkellinen jännitteen alenema tuli kuumailmapuhaltimien käynnistyessä.

319 MCC, jossa sijaitti kuivaajan loppupään moottorilähdöt, myös tämän keskuksen pääjännite oli 400V, ja taajuus 50 Hz. Keskuksen laskennallinen jatkuva kuormitus oli taulukossa 461,385A ja korjauskertoimena oli käytetty kerrointa 0,9. Keskuksen pääkytkin on Siemensin 3VL5763-2DC36-0AC1 (630A) kompaktikatkaisija (kuva 12), jonka laukaisuvirraksi oli säädetty 500A ja oikosulkuvirran arvoksi 5670 A (kuva 13). Myös tälle keskukselle tuli kaksi syöttökaapelia, jotka olivat kooltaan 3\* 240Al+ 72Cu.



KUVA 14. Siemens 3VL5763-2DC36-0AC1(630A)

Keskukseen kytketyt suurimmat lähdöt olivat 5 kappaletta loppupään kuumailmapuhaltimia (327M1, 328M1, 329M1, 330M1 ja 331M1), jotka olivat sähköteholtaan 30 kW ja niiden virranarvo oli 60 A. Myös näiden puhaltimien käynnistys oli porrastettu ohjelmallisesti 3 sekunnin viiveillä toisiinsa nähden.

Mittaus suoritettiin 1 tunnin mittaisena jaksena kuivaajan jo käydessä, joten käynnistyksessä esiintyviä virtapiikkejä ei mittaustuloksissa esiinny. Mittausjakson aikana kuivaajalla ja sen jälkeen olevalla pinkkaajalla tuli ruuhkatilanteita, jolloin kuivaaja ja pinkkaaja jouduttiin hetkellisesti pysäyttämään. Niiden uudelleen käynnistyminen näkyy mittaus tuloksissa selkeinä jännitteen ja virran muutoksina. Jännite vaihteli mittausjakson aikana välillä 385,02V- 378,78V, ja virta vaihteli välillä 286 A- 258 A. Myös taajuuden arvo vaihteli mittausjakson aikana välillä 50,025 Hz- 49,969 Hz.

#### 4.2.2 Projektin 2 sorvilinja

Projektin 8168 sorvin moottorikeskus 200 MCC, keskuksella suoritettiin n. yhden tunnin mittainen mittausjakso, sorvilinjan ollessa käynnissä. Kekuksen pääjännite oli 400V, ja taajuus 50 Hz, keskusta syötti kaksi rinnakkaista 3\*185+57Cu alumiinikaapelia. Keskuksen mitoituksessa käytetty korjauskerroin on 0,85, joka tarkoittaa että keskukseen kytkettyjen moottoreiden yhteen lasketut virrat on kerrottu arvolla 0,85, tällä on saatu



laskennallisesti jatkuvan kuormituksen arvoksi 409 A. Keskukseen oli kytketty useita hydrauliiikan pumppuja sekä voitelupumppuja, näistä suurin yksittäinen moottori oli tukilaitteen (backup device) hydraulimoottori joka oli teholtaan 37 kW ja virran arvolta 68 A. Mittausjakson aikana jännitteen arvo vaihteli välillä 397,72- 410,56 V, ja virta- arvo vaihteli välillä 22- 523 A. Mittausjakson aikana myös taajuudessa näkyi pieniä vaihteluita välillä 49,954- 50,091 Hz.



*KUVA 15. 200 MCC, kompaktikatkaisija Siemens 3VL5763-2DC36-0AC1 (630A), laukaisuvirta 500A ja oikosulkuvirta 3150A.*

Projektin 2 sorvin moottorikeskus 230 MCC, pääkäytön keskuksella suoritettiin 2 tunnin ja 5 minuutin mittainen mittausjakso, myös tämä mittaus suoritettiin kesken ajon. Keskuksen pääjännite oli 400V, taajuus 50 Hz ja korjauskerroin 0,85, jolla laskennalliseksi jatkuvan kuormituksen arvoksi oli saatu 675 A. Tähän keskukseen oli kytketty sorvin pääkäytön moottorit (Master main drive left side ja slave main drive right side), moottorit olivat teholtaan 252 kW ja virran arvo oli 600 A. Jännitteen vaihtelut tapahtuivat välillä 411,56- 388,04 V ja virta-arvo vaihteli välillä 0- 659 A, taajuus vaihteli mittausjakson aikana 49,943- 50,109 Hz välillä.



*KUVA 16. 230 MCC, kompaktikatkaisija Siemens 3VL6780-2SB36-0AC1 (800A), laukaisuvirta 640A, laukaisuaika 10 s ja oikosulkuvirta 3200A.*

Projektin 2 sorvin pinkkaajan moottorikeskus 250 MCC, tällä pinkkaajan keskuksella suoritettiin n. 5 minuutin mittainen mittausjakso, koska keskukseseen on kytketty lähinnä puhallinmoottoreita, niiden käynnistyttyä ei jännitteen- ja virranarvoissa tapahdu enää merkittäviä muutoksia. Näiden lisäksi keskukseseen oli kytketty myös muutaman kuljetin- ja hydraulikka moottorin. Mittaus suoritettiin niin, että käynnistysvaiheen jännitteen- ja virranvaihtelut saatiin tallennettua. Keskuksen pääjännite oli 400V, taajuus 50 Hz ja korjauskerroin 0,85. Laskennallinen jatkuva kuormitus oli moottoriluettelon mukaan 420 A, ja suurin yksittäinen lähtö 25 kW ja 50 A, joka oli leikkurin syöttö (Rotary veneer clipper, power supply). Keskukseseen oli kytketty useita puhallinmoottoreita jotka olivat teholtaan 18,5 kW, näiden lisäksi oli nostolavojen hydraulikka moottoreita, sekä kuljetin moottoreita. Jännite vaihtelut olivat välillä 410,72- 403,18V, ja virran arvo vaihteli mittausjakson aikana välillä 8- 541 A, taajuuden vaihtelut tapahtuivat välillä 49,95- 50,012 Hz.



KUVA 17. 250 MCC, kompaktikatkaisija Siemens 3VL5763-2DC36-0AC1 (630A), laukaisuvirta 500A ja oikosulkuvirta 3150A.

## 5 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa tarkastellaan mittaustuloksia keskuskohtaisesti, ja tarkastellaan niitä esimerkiksi sähkönlaatustandardin SFS-EN 50160 näkökulmasta. Lisäksi perehdytään moottorikeskusten mitoituksessa käytetyn korjauskertoimen tarkentamiseen.

Mittaustuloksissa jännitteen arvo näkyy PowerLog ohjelmiston piirtämässä kuvaajissa mitatun vaiheen ja nollan väliltä L1N, L2N ja L3N.

Todellisuudessa jännitteenmittaus on suoritettu vaiheiden L12, L23 ja L31 väliltä, jolloin on saatu vaiheiden välinen jännitearvo (400V). Asiaa on tarkasteltu Raute Oyj:n opinnäytetyönvalvojan kanssa, ja todettu mittaustulokset oikeiksi otsikkovirheestä huolimatta. Asia on myös varmistettu Fluken teknisestä tuesta, josta vahvistettiin mittausravot ja todettiin kuvaajassa olevan virheen johtuvan todennäköisesti vanhasta ohjelmistoversiosta. Fluken tekninen tuki kehotti päivittämään mittarin- ja powerlog-ohjelmiston uusimpaan versioon, tätä en kuitenkaan tehnyt mittaustietojen säilymisen kannalta, ja koska mittauksessa saadut tulokset olivat kuitenkin todellisia arvoja.

### 5.1 Projekti 1 kuivaaja

300 MCC, keskuksen kytketyn kuormituksen arvo 654 A, on kerrottu korjauskertoimella 0,9 jolla on saatu jatkuvankuormituksen arvoksi n. 589 A (taulukko 5).

Main data for MCC and power supply:		
Voltage:	3x400V, 50Hz	
Equalisation:	0,9	
Continuous load [A]:	588,969	
The largest output [kW]:	45	
Supply cable section / [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x240+120)	
or Supply cable section Al [mm <sup>2</sup> ]:	2x3x300+300	
Main switch [A]:	3VL6780-2SB36-0AC1(800A)	
Max. Short circuit breaking capacity [kA]:	50	kA
Type 2 co-ordination (IEC 947-4-1) up to [kA]	50	kA
Star-Delta starting for motors ≥ [kW]	132	kW
Connected load [kW]:	329	kW
Connected load [A]:	654	A

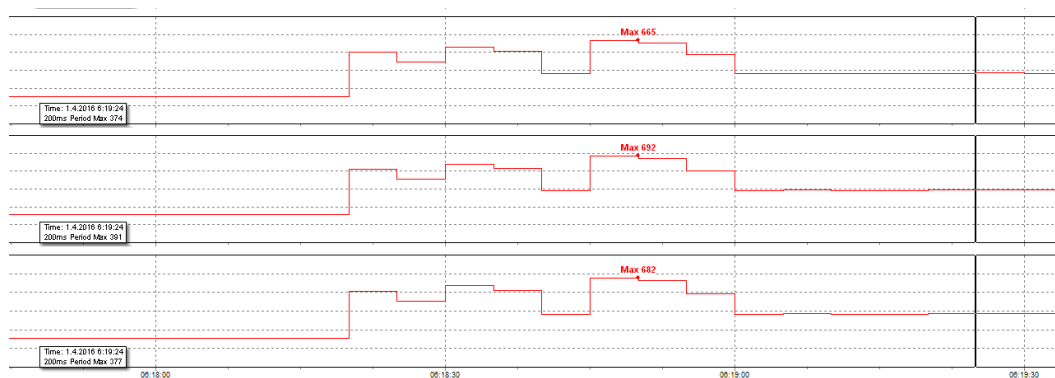
TAULUKKO 5. 300MCC moottoriluettelon yhteenveto (Lähde: Raute 2016c)

Käynnistysvaiheessa suurin virtapiikki tapahtui puhaltimien käynnistyessä, jolloin L1 huippuvirta oli 665 A, L2 huippuvirta 692 A ja L3 huippuvirta 682 A (kuva 18). Tämän jälkeen kun puhaltimet olivat käynnistyneet, asettui tasaisenkuormituksen virta noin L1 370-, L2 390 - ja L3 380 A (kuva 18). Mielestäni tässä tapauksessa korjauskerrointa voisi laskea 0,75 tai 0,8:aan, joka tarkoittaisi jatkuvankuormituksen arvona 490,5-523,2 A. Koska nykyinen arvo 588,969 A on 66,3% suurempi kuin mitattu todellinen arvo. Korjauskertoimen arvossa on myös otettava huomioon kuormitusarvon vaikutus valittaviin syöttökaapeleihin, kyseisestä keskusta syöttää kaksi rinnakkaista 3\*300+300 alumiinikaapelia (taulukko 5). Joiden sallittu maksimikuormitus on vapaasti ilmaan asennettuna 404 A ja maahan asennettuna 430 A johdinta kohden, käyttölämpötilan ollessa alle 70°C (liite 1).

Mikäli käynnistysvaiheen virtapiikkiä olisi mahdollista pienentää, esimerkiksi pidemmällä puhaltimien välisellä porrastuksella, tai pehmokäynnistimellä. Siinä tapauksessa myös syöttökaapelin kokoa olisi mahdollista pienentää esimerkiksi 3\*240mm<sup>2</sup> poikkipinta-alaltaan olevaan alumiinikaapeliin, jonka suurin johdin kohtainen kuormitus saa olla vapaasti ilmaan asennettuna 350 A ja maahan asennettuna 375 A. Tasaisenkäynnin vaiheessa kuormituksen virta-arvo ei käy yli 400 A, mutta käynnistysvaiheen suuresta virtapiikistä joka oli parhaimmillaan 692 A, pitää myös päästä ylitse ilman turvalaitteiden laukeamista. Tässä tapauksessa esimerkiksi kompaktikytkimen pienentäminen seuraavaan pienempään kokoon joka on 630 A ei onnistu, koska käynnistysvaiheessa tulee lähes 700 A virtapiikki.

#### TAULUKKO 6. Fluke power log, käynnistysvaiheen huippuvirta

1.4.2016 6:18:49 984msec	Voltage	382,58 V	384,38 V	381,12 V	
1.4.2016 6:18:49 984msec	Current	665 A	692 A	682 A	
1.4.2016 6:18:49 984msec	Active Power				283,3 kW
1.4.2016 6:18:49 984msec	Apparent Power				437,3 kVA
1.4.2016 6:18:49 984msec	Reactive Power				333 kvar
1.4.2016 6:18:49 984msec	Power Factor				0,86
1.4.2016 6:18:49 984msec	Frequency				50,012 Hz
1.4.2016 6:18:49 984msec	THD V	1,54%	1,73%	1,72%	
1.4.2016 6:18:49 984msec	THD A	3,54%	2,91%	3,66%	
1.4.2016 6:18:49 984msec	THD W	0,13%	0,11%	0,1%	
1.4.2016 6:18:49 984msec	Unbalance Vn				0,7%
1.4.2016 6:18:49 984msec	Unbalance An				2,55%

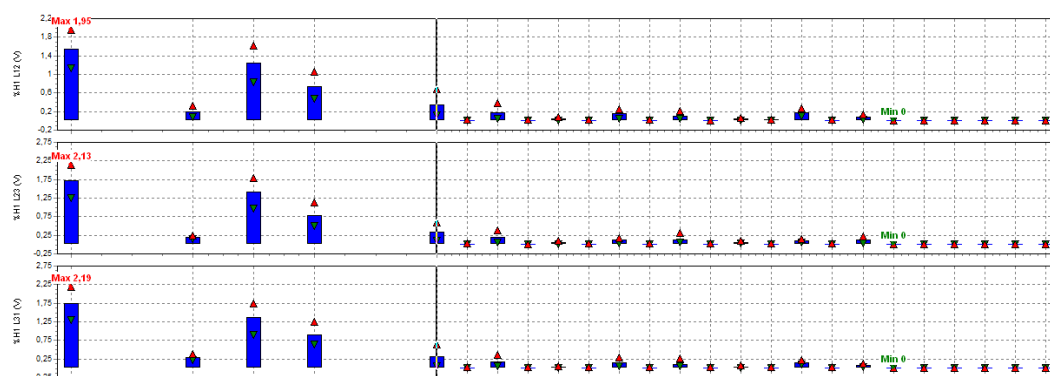


KUVA 18. 300 MCC, käynnistys vaiheen suurimmat virtapiikit (A)



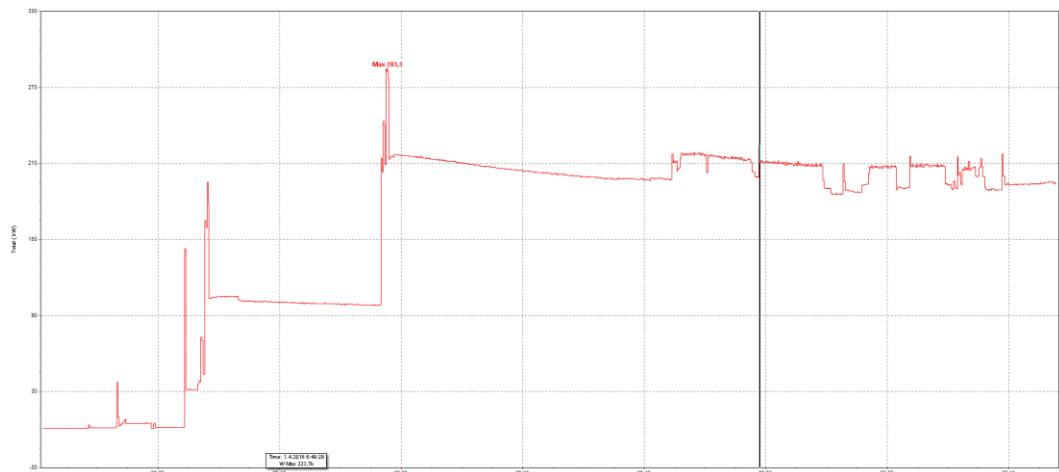
KUVA 19. 300 MCC, jännitteen vaihtelu välillä L12 371,66-392,22V, L23 373,6-393,66V ja L31 369,34-390,64V.

Koska jännite on mitattu vaiheiden L12, L23 ja L31 väliltä, on saatu pääjännite joka on sähköjakelu verkossa 400V (kuva 19). Jakamalla mittaustulokset  $\sqrt{3}$  :lla saadaan standardissa SFS-EN 50160 määritelty pienjännite  $U_n$ . Mitatut arvot olivat 214,2-226,5V, 215,7-227,3V ja 213,2-225,5V, mitatut arvot täyttävät standardissa määritellyn normaalin jännitteen laadun raja-arvot (taulukko 2).



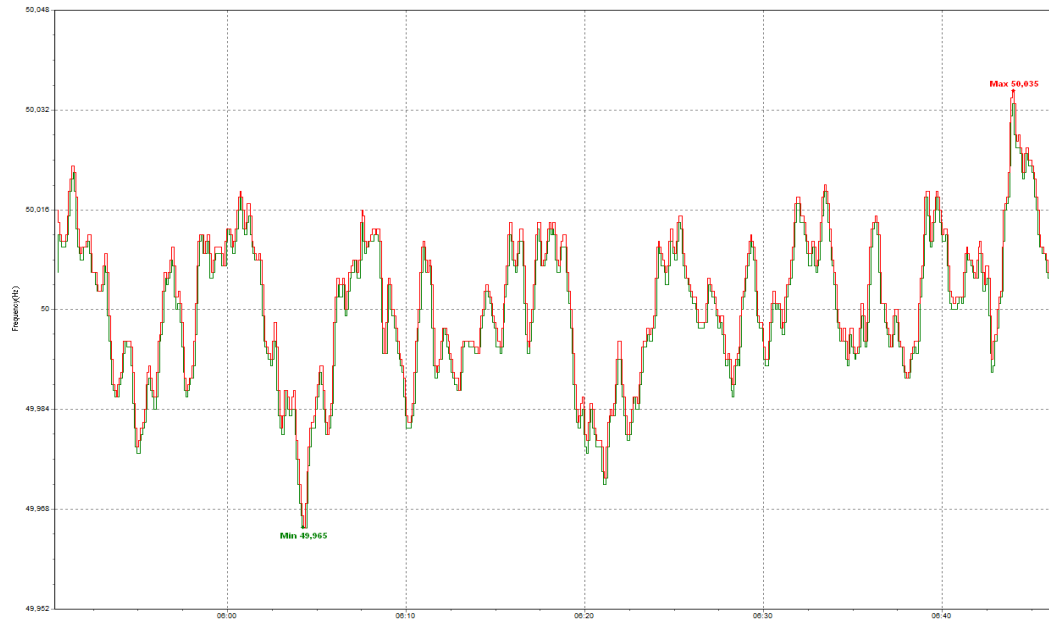
KUVA 20. 300MCC, harmoniset jänniteylläallot

Harmonisissa yliaaltojänniteissä näkyy havaittuja arvoja aina 25:een yliaaltoon asti, jonka mitatut arvot ovat L12 0,13-, L23 0,21- ja L31 0,13% nimellisjännitteestä (kuva 20). Suurin yksittäinen mitattu yliaallon arvo, on 5:llä yliaallolla jonka arvo on L12 1,61-, L23 1,78- ja L31 1,75% nimellisjännitteestä (kuva 20). Nämä mitatut arvot täyttävä standardin SFS-EN 50160, määrittämät raja-arvot harmonisille yliaaltojännitteille. Raja-arvot ovat 25:nen yliaallon kohdalla 1,5% nimellisjännitteestä, ja 5:nen yliaallon kohdalla 6% nimellisjännitteestä (TAULUKKO 3). Jännitteen kokonaissärö prosentti THD:n mitatut arvot ovat L12 1,95- L23 2,13- ja L31 2,19% nimellisjännitteestä. Myös nämä mitatut arvot täyttävät standardin SFS-EN 50160 määritelmän harmonisten yliaaltojännitteiden hyvästä laadusta (TAULUKKO 4).



*KUVA 21. 300 MCC, sähköteho kW*

Suurin hetkellinen sähkötehon arvo 282,3 kW, ja käynnistys vaiheen jälkeen sähkötehon keskiarvo on n.220 kW.



*KUVA 22. 300 MCC, taajuus vaihtelu välillä 49,965- 50,035 Hz.*

Mittausjakson aikana taajuus vaihteli välillä 49,965- 50,035 Hz, mikä täyttää standardissa SFS-EN 50160 määritellyn hyvän laadun joka on 50 Hz  $\pm$  1% (taulukko 1).

319 MCC, keskuksen kytketyn kuormituksen arvo 513 A, on kerrottu korjauskertoimella 0,9, jolla on saatu jatkuvankuormituksen arvoksi 461 A (taulukko 7).

Main data for MCC and power supply:		
Voltage:	3x400V, 50Hz	
Equalisation:	0,9	
Continuous load [A]:	461,385	
The largest output [kW]:	30	
Supply cable section / [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x150+70)	
or Supply cable section Al [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x240Al+72Cu)	
Main switch [A]:	3VL5763-2DC36-0AC1(630A)	
Max. Short circuit breaking capacity [kA]:	50	kA
Type 2 co-ordination (IEC 947-4-1) up to [kA]	50	kA
Star-Delta starting for motors $\geq$ [kW]	132	kW
Connected load [kW]:	254	kW
Connected load [A]:	513	A

*TAULUKKO 7. 319 MCC, moottoriluettelon yhteenveto (Raute 2016c)*

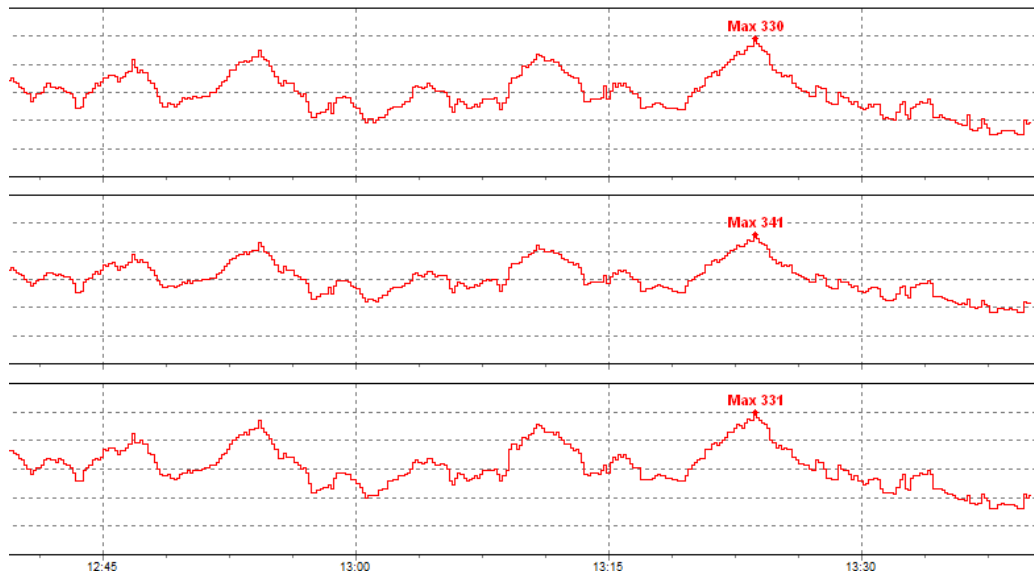
Mittaus suoritettiin linjan jo käydessä, joten käynnistysvaiheen virtapiikkejä ei näy tallennetuissa mittaustuloksissa. Tasaisen käynnin vaiheessa suurimmat virran arvot ovat L1 330-, L2 341- ja L3 331 A (kuva 23). Tässä



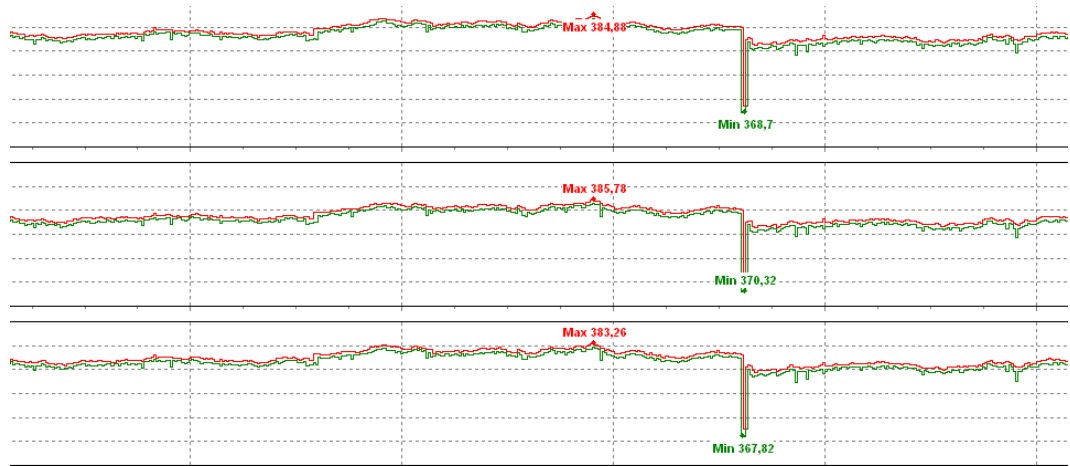
tapauksessa moottoriluettelon jatkuvankuormituksen arvoksi oli arvioitu 461,385 A, kertoimella 0,9 (taulukko 7) joka on 73,9% suurempi kuin todellinen mitattu jatkuvankuormituksen arvo. Korjauskerrointa olisi mielestäni vara laskea arvoon 0,78-0,83, jolloin jatkuvankuormituksen arvoksi tulisi 400-425 A. Tarkan arvon määrittämiseksi olisi kuitenkin tehtävä lisämittauksia, joissa esiintyisi myös käynnistys vaiheessa esiintyvät virtapiikit. Pääkytkimen kokoa ei voi nykyisestä pienentää, koska seuraava pienempi koko on 400 A, oletettavasti käynnistyksessä esiintyvä virtapiikki on tätä suurempi.

**TAULUKKO 8. 319 MCC, spreadsheet virran huippuarvosta.**

1.4.2016 13:23:42 119msec	Voltage	380,62 V	381,48 V	379,12 V	
1.4.2016 13:23:42 119msec	Current	330 A	341 A	331 A	
1.4.2016 13:23:42 119msec	Active Power				188,4 kW
1.4.2016 13:23:42 119msec	Apparent Power				219,9 kVA
1.4.2016 13:23:42 119msec	Power Factor				0,86
1.4.2016 13:23:42 119msec	Frequency				49,987 Hz
1.4.2016 13:23:42 119msec	THD V	2,2%	2,36%	2,37%	
1.4.2016 13:23:42 119msec	THD A	5,98%	5,79%	5,91%	
1.4.2016 13:23:42 119msec	THD W	0,08%	0,1%	0,08%	
1.4.2016 13:23:42 119msec	Unbalance Vn				0,38%
1.4.2016 13:23:42 119msec	Unbalance An				1,87%

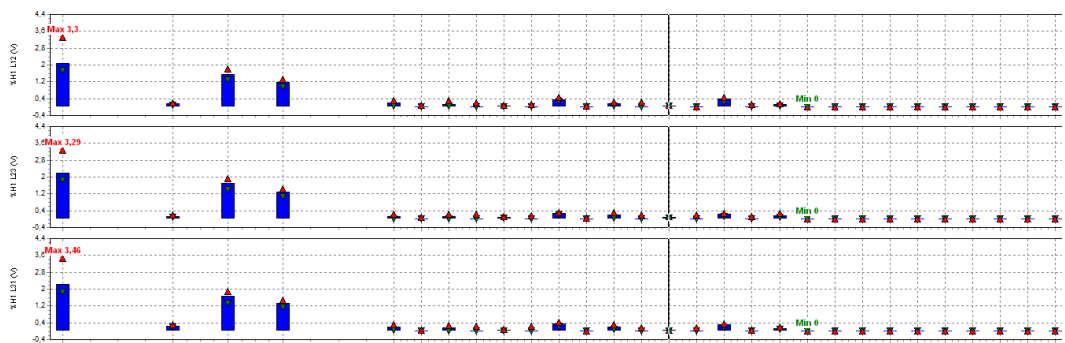


**KUVA 23. 319 MCC, huippu virta-arvot tasaisen käynnin vaiheessa.**



KUVA 24. 319 MCC, jännitteen vaihtelut välillä L12 367,7-384,88V, L23 370,32-385,78V ja L31 367,82-383,26V.

Koska jännite on mitattu vaiheiden L12, L23 ja L31 väliltä, on saatu pääjännite joka on sähköjakelu verkossa 400V (kuva 24). Jakamalla mittaustulokset  $\sqrt{3}$ :lla, saadaan standardissa SFS-EN 50160 määritelty pienjännite  $U_n$ . Mitatut arvot olivat 212,3-222,2V, 213,8-222,7V ja 212,4-221,3V, nämä mitatut arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160 määritellyn jännitteen normaalin laadun raja-arvot (taulukko 2).

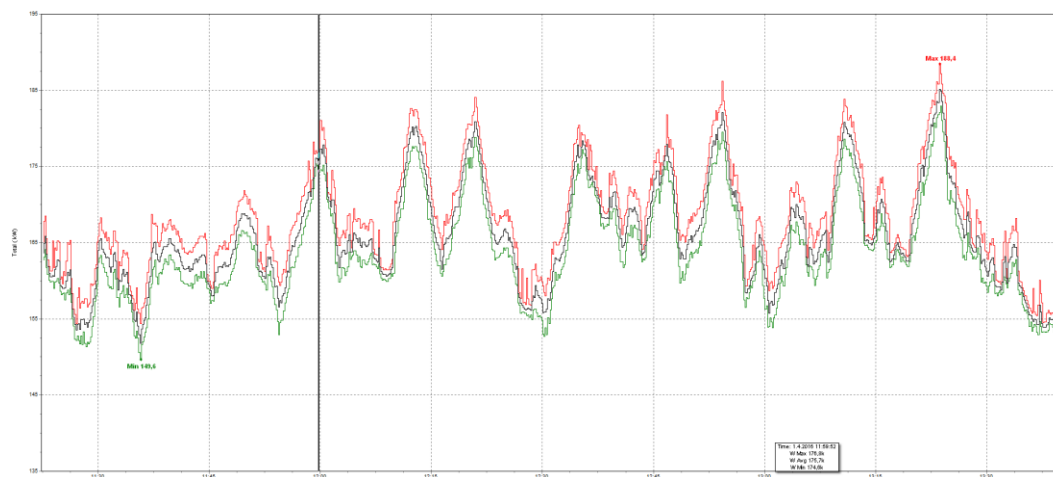


KUVA 25. 319 MCC, harmoniset jänniteylliaallot.

Harmonisissa jänniteylliaalloissa näkyy havaittuja arvoja 25:een yliaaltoon asti, jonka mitatut arvot ovat L12 0,45-, L23 0,27- ja L31 0,36% nimellisjännitteestä. Suurin yksittäinen mitattu yliaalto on 5:s yliaalto, jonka mitattu arvo on L12 1,8-, L23 1,94- ja L31 1,89% nimellisjännitteestä, mitatut yliaaltojännitteet täyttävät standardin SFS-EN 50160 määrittämät suurimmat raja-arvot yliaaltojännitteille (TAULUKKO 3).

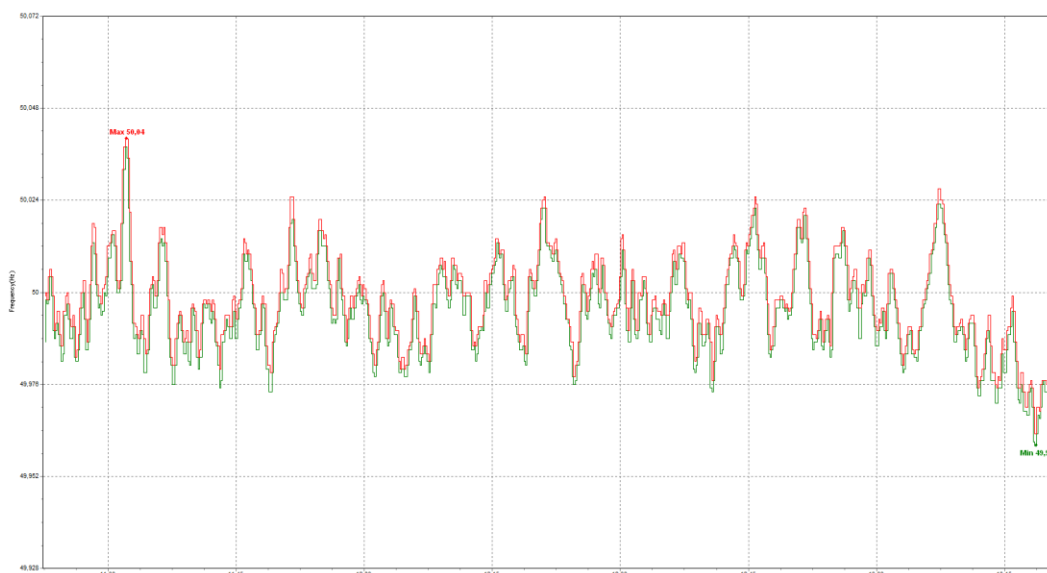
Yliaaltojännitteiden kokonaissärö prosentti THD on L12 3,3-, L23 3,29- ja

L31 3,46% nimellisjännitteestä. Mikä menee hieman yli standardin SFS-EN 50160 määrittämästä yliaaltojännitteiden hyvästä laadusta, hyvä laatu määrittää yliaaltojännitteen THD arvoksi  $\leq 3\%$ . Mitattu arvo on kuitenkin standardin määritelmän mukaan normaali laatuista, joka on yliaaltojännitteiden osalta  $\leq 6\%$  nimellisjännitteestä (TAULUKKO 4).



KUVA 26. 319 MCC, sähköteho kW

Suurin hetkellinen sähkötehon arvo on 188,4 kW, ja keskiarvo mittausjakson ajalta 171,0 kW.

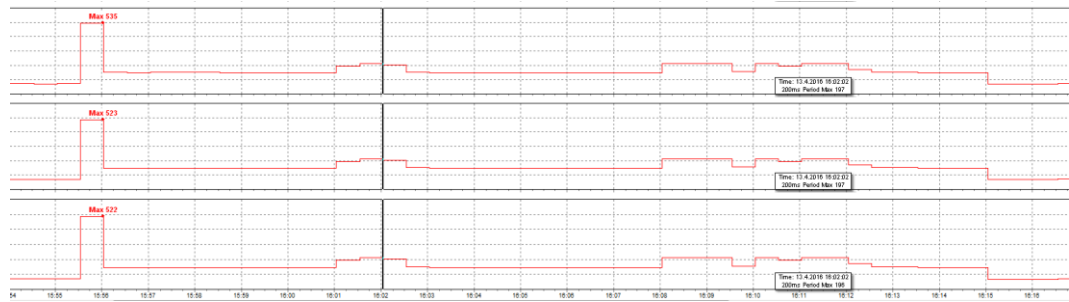


KUVA 27. 319 MCC, taajuus vaihtelu välillä 49,96- 50,04 Hz.

Mittausjakson aikana taajuus vaihteli välillä 49,96- 50,04 Hz, mitatut arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160 määritellyn taajuuden hyvän laadun joka on  $50 \text{ Hz} \pm 1\%$  (taulukko 1).

## 5.2 Projekti 2 sorviliinja

Moottorikeskuksen 200 MCC mittaus suoritettiin linjan käydessä, mutta tässä tapauksessa se ei juurikaan vaikuttanut mittaustuloksiin, koska linjalla ei ajettu täydellä teholla ja siinä tuli pysäytyksiä aika-ajoin. Pysäytys vaiheessa keskukseseen kytketyt hydraulikka- ja kuljetinmoottorit eivät kuormittaneet keskusta, ja vaihe kohtaiset virrat olivat n.20 A.



*KUVA 28. 200 MCC, virta-arvot*

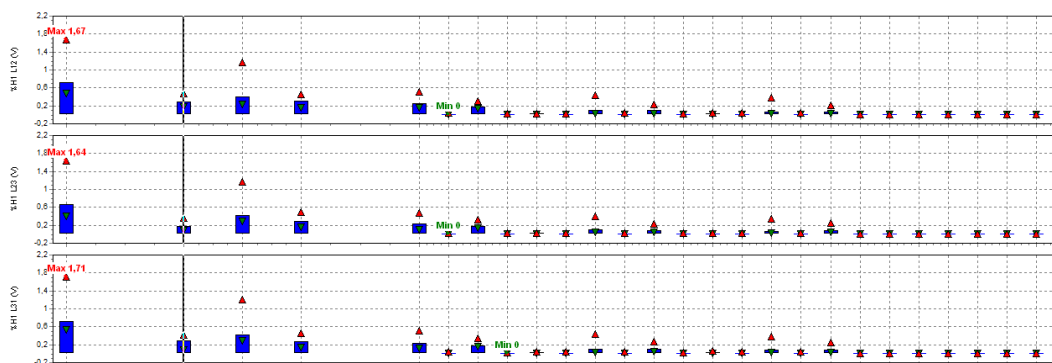
Suurimmat virtapiikit tuliva hydraulikka moottoreiden käynnistyessä, joita olivat spindle hydraulics 30 kW, roller hydraulics 37 kW ja backup device 37 kW. Suurimmat virran-arvot olivat L1 535 A, L2 523 A ja L3 522 A, näiden käynnistys piikien jälkeen suurimmat vaihekohtaiset virran-arvot olivat L1 197 A, L2 197 A ja L3 196 A (kuva 28).

Moottoriluettelossa jatkuvankuormituksen arvo on 409 A, ja kytketyнкуormituksen 481 A korjauskertoimen ollessa 0,85 (taulukko 9). Korjauskertoimen arvoa olisi vara laskea, 0,75-0,8:aan, jolloin jatkuvan virran arvoksi tulisi 360,8- 384,8Ampeeria. Kertoimessa on otettava myös huomioon mittausjakson aikana esiintyneet suuret virtapiikit, joista on myös päästävä ylitse ilman suojalaitteiden laukeamista. Nykyistä pääkytkintä joka on virta-arvoltaan 630 A (taulukko 9), ei ole varaa pienentää koska seuraava pienempi koko olisi 400 A joka olisi liian pieni virta-arvoltaan. Nykyisissä syöttökaapeleissa joita on 2 kappaletta koltaan 3\*185Al+57Cu, sallittu kuormitettavuus on vapaasti ilmaan asennettuna 297 A ja maahan asennettuna 330 A johdinta kohden (liite 1). Tästä seuraava pienempi koko olisi 3\*150Al+41Cu, jonka kuormitettavuus olisi vapaasti ilmaan asennettuna 260 A ja maahan asennettuna 280 A johdinta

kohden (liite 1). Kyseinen 3\*150Al kaapeli olisi liian pieni kuormitettavuudeltaan, käynnistyksen virtapiikkien nähden.

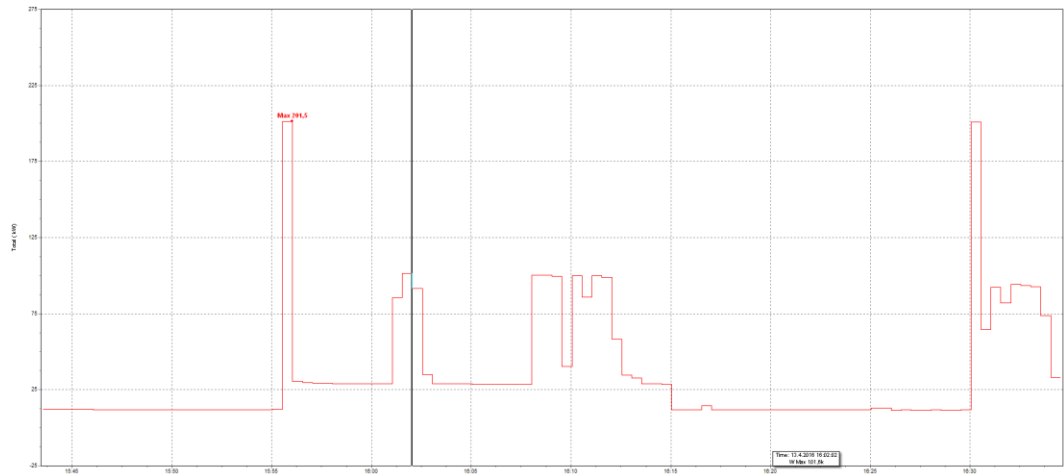
TAULUKKO 10. 200 MCC, moottoriluettelo (Raute 2016c)

Main data for MCC and power supply:		
Voltage:	3x400V, 50Hz	
Equalisation:	0,85	
Continuous load [A]:	409	
The largest output [kW]:	37	
Supply cable section / [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x120+70)	
or Supply cable section Al [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x185Al+57Cu)	
Main switch [A]:	3VL5763-2DC36-0AC1(630A)	
Max. Short circuit breaking capacity [kA]:	50	kA
Type 2 co-ordination (IEC 947-4-1) up to [kA]	50	kA
Star-Delta starting for motors ≥ [kW]	132	kW
Connected load [kW]:	240	kW
Connected load [A]:	481	A



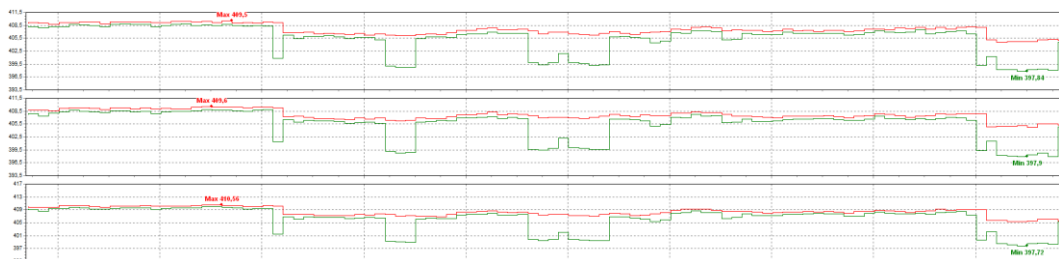
KUVA 29. 200MCC, harmoniset yliaallot

Mittauksessa havaittiin yliaaltojännitteitä 25:een yliaaltoon asti, suurin yksittäinen mitattu jänniteyliaalto on 5:s yliaalto jonka mitatut arvot ovat L12 1,16-, L23 1,17- ja L31 1,21% nimellisjännitteestä (kuva 29). Mitattu yliaaltojännitteiden kokonaissärö prosentti on L12 1,67-, L23 1,64- ja L31 1,71% nimellisjännitteestä (kuva 29). Suurin yksittäinen jänniteyliaalto sekä kokonaissärö prosentti täyttävät standardissa SFS-EN 50160 määritellyt sallitut rajat yliaaltojännitteille, myös kokonaissärö prosentti täyttää standardissa olevan yliaaltojännitteiden hyvän laadun(TAULUKKO 1 ja 2)



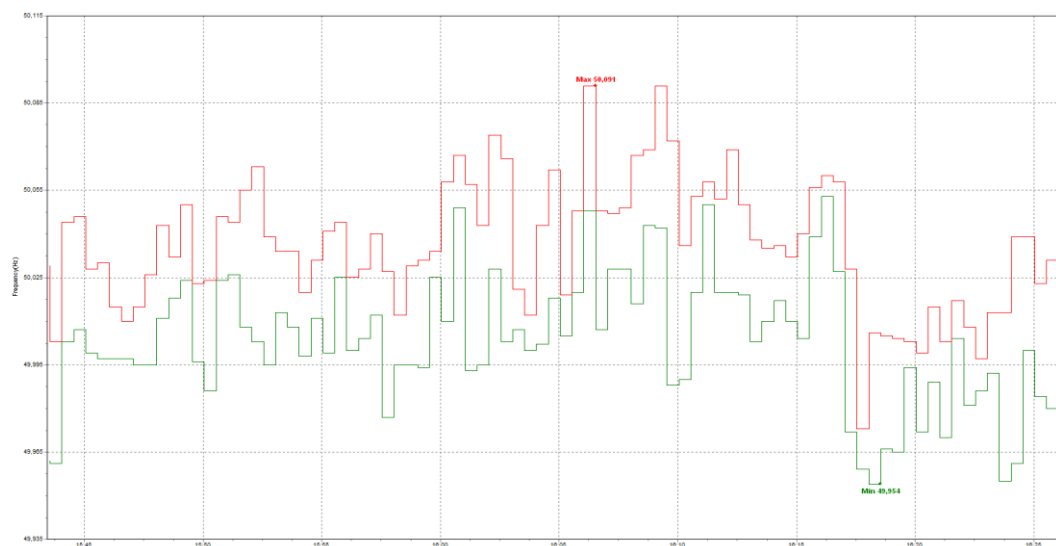
*KUVA 30. 200 MCC, sähköteho kW*

Moottoreiden käynnistyessä suurin hetkellinen sähkötehon arvo on 201,5 kW, keskiarvo työsyklin ajalta on noin 59 kW.



*KUVA 31. 200 MCC, jännitteen vaihtelu välillä L12 397,84-409,5V, L23 397,9-409,6V ja L31 397,72-410,56V.*

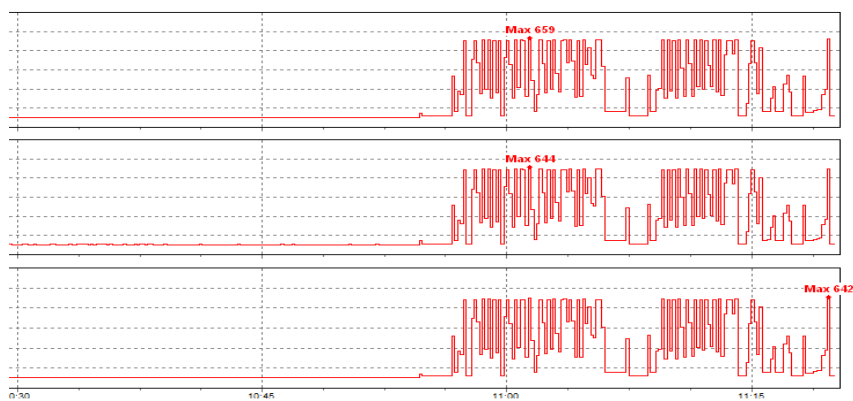
Koska jännite on mitattu vaiheiden L12, L23 ja L31 väliltä, on saatu pääjännite joka on sähköjakelu verkossa 400V (kuva 31). Jakamalla mittaustulokset  $\sqrt{3}$  :lla, saadaan standardissa SFS-EN 50160 määritelty pienjännite  $U_n$ . Mitatut arvot olivat 229,7-236,4V, 229,7-236,5V ja 229,6-237V. Mitatut jännitteen arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160 määritellyn normaalinjännitteen laadun (taulukko 2).



*KUVA 32. 200 MCC, taajuus vaihtelu välillä 49,954- 50,091 Hz.*

Mittausjakson aikana taajuus vaihteli välillä 49,954- 50,091 Hz, mitatut arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160 taajuudelle määritellyt hyvän laadun rajat (taulukko 1).

230 MCC, tähän moottorikeskukseen oli kytketty pääkäyttömootorit (main drive master left ja main drive slave right) sekä niiden jäähdytys puhaltimet. Moottoreiden käydessä virran huippuarvot olivat L1 659 A, L2 644 A ja L3 642 A (kuva 33). Moottoreiden käydessä kuormitus käy vaihteittain koko jakson ajan lähes huippuarvossa (KUVA 23).



*KUVA 33. 230 MCC, virta-arvot*

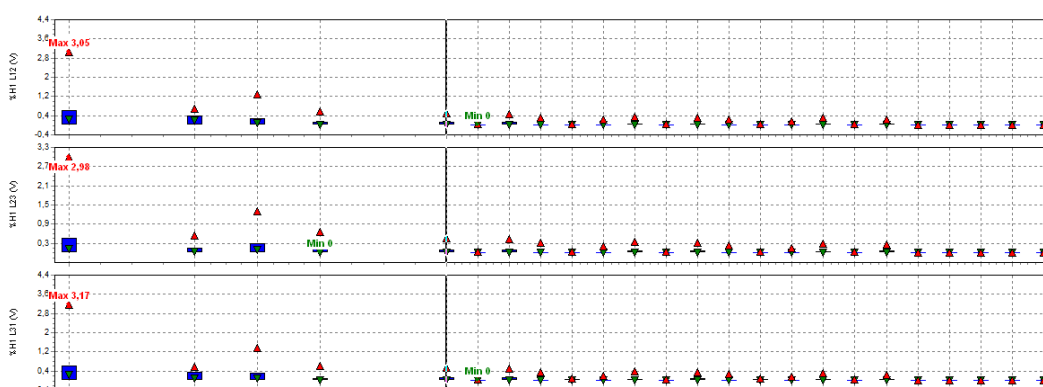
Moottoriluettelossa kytketynkuormituksen arvo on 794 A, ja jatkuvankuormituksen arvo 675 A, joka on saatu korjauskertoimella 0,85 (taulukko 11). Tässä kyseisessä keskuksessa, moottoreiden ottama

kuormitusvirta käy toistuvasti huippuarvon tuntumassa, joka on varsin lähellä jatkuvankuormituksen arvoa 675 A (taulukko 11 ja kuva 33).

Mielestäni tässä tapauksessa nykyinen korjauskertoimen 0,85, on varsin hyvä ja paikkaansa pitävä.

Main data for MCC and power supply:		
Voltage:	3x400V, 50Hz	
Equalisation:	0,85	
Continuous load [A]:	675	
The largest output [kW]:	252	
Supply cable section / [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x300+150)	
or Supply cable section AI [mm <sup>2</sup> ]:	2x3x300+300	
Main switch [A]:	3VL6780-2SB36-0AC1(800A)	
Max. Short circuit breaking capacity [kA]:	50	kA
Type 2 co-ordination (IEC 947-4-1) up to [kA]	50	kA
Star-Delta starting for motors $\geq$ [kW]	132	kW
Connected load [kW]:	305	kW
Connected load [A]:	794	A

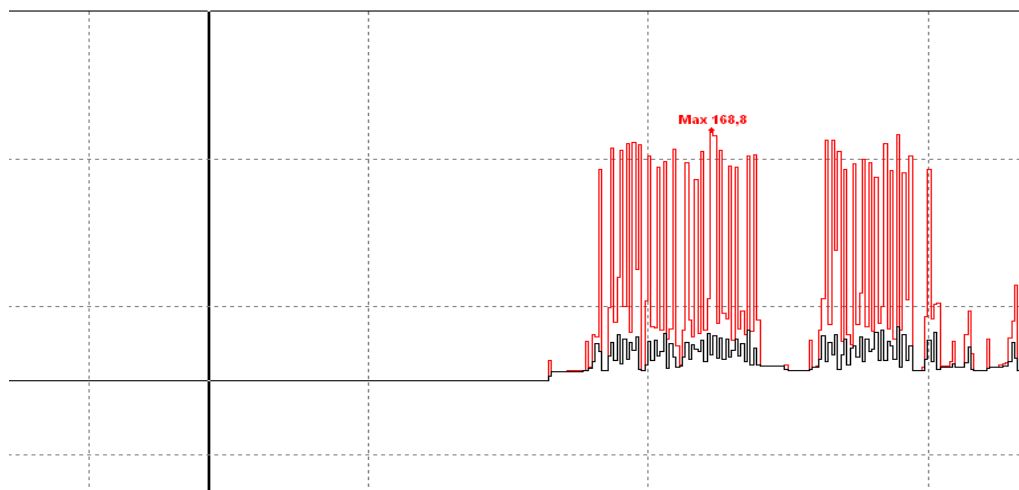
TAULUKKO 11. 230 MCC, moottoriluettelon yhteenveto (Raute 2016c)



KUVA 34. 230 MCC, harmoniset jänniteyliaallot

Yliaaltojänniteiden mittauksessa suurin yksittäinen mitattu yliaalto oli myös tässä keskuksessa 5:s yliaalto, jonka mitatut arvot ovat L12 1,28-, L23 1,29- ja L31 1,38% nimellisjänniteestä (kuva 34). Yliaaltojännitteen kokonaissärön THD:n mittausarvot ovat L12 3,05-, L23 2,98- ja L31 3,17% nimellisjänniteestä (kuva 34), mitatut yliaaltojännitteet täyttävät standardin SFS-EN 50160 määrittämät normaalin laadun raja-arvot yliaaltojännitteille joka on THD:n osalta  $\leq 6\%$  (taulukko 3 ja 4).





KUVA 35. 230 MCC, sähköteho kW

Suurin hetkellinen sähkötehon arvo on työsyklin aikana 168,8 kW, tehon keskiarvo mittausjakson ajalta on 89,5 kW.

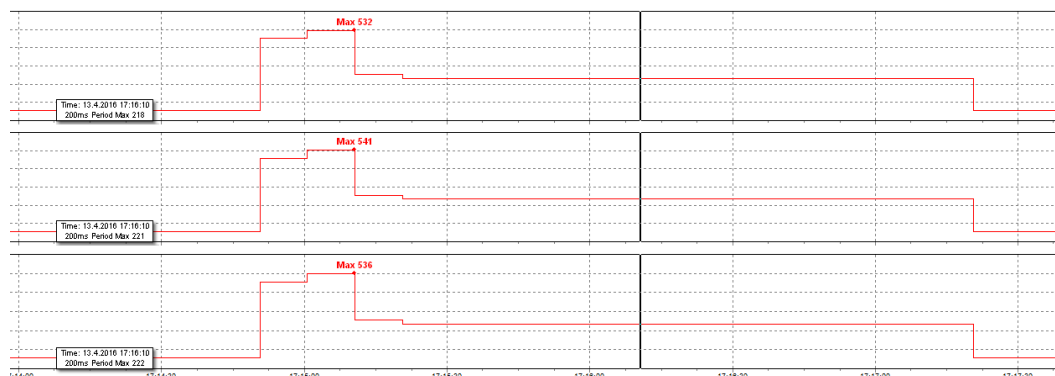


KUVA 36. 230 MCC, jännitteen vaihtelu välillä L12 388,34-410,26V, L23 388,66-410,36V ja L31 388,04-411,56V.

Koska jännite on mitattu vaiheiden L12, L23 ja L31 väliltä, on saatu pääjännite joka on sähköjakelu verkossa 400V (kuva 36). Jakamalla mittaustulokset  $\sqrt{3}$  :lla, saadaan standardissa SFS-EN 50160 määritelty pienjännite  $U_n$ . Mitatut arvot olivat 224,2-236,9V, 224,4-236,9V ja 224,0-237,6V. Mitatut arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160, jännitteelle määritellyn normaalinjänniteen laadun (taulukko 2).

250 MCC, tässä keskuksessa suurin kuormitus tuli pinkkaajan puhallinmoottoreista joita on 10 kappaletta, teholtaan 18,5 kW per puhallin. Mittaustuloksissa näkyy selvä virtapiikki puhaltimien

käynnistyessä, tässä vaiheessa vaihe kohtaiset virrat ovat L1 532 A, L2 541 A ja L3 536 A. Käynnistys vaiheen jälkeen virta-arvot asettuivat arvoihin L1 219-, L2 222- ja L3 222 A (KUVA 37).

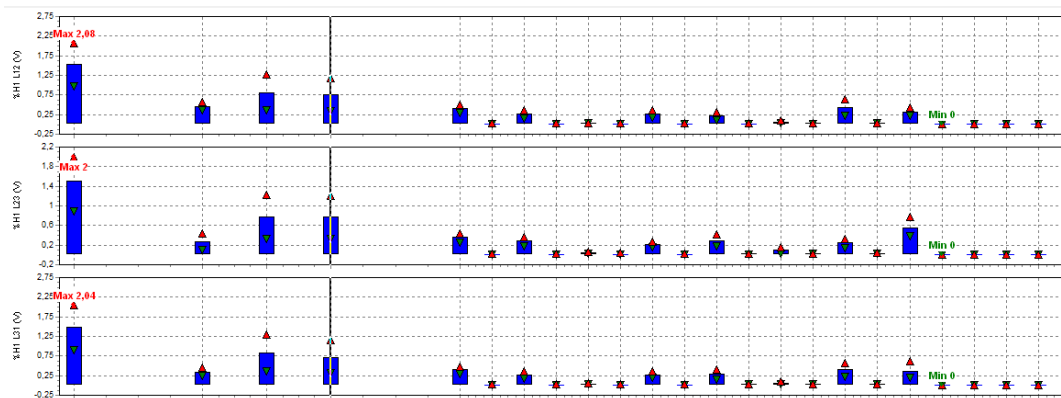


*KUVA 37. 250 MCC, virta-arvot*

Moottoriluettelossa kytketynkuormituksen arvo on 495 A, ja jatkuvankuormituksen arvo 420 A, joka on saatu korjauskertoimella 0,85 (taulukko 12). Mittausjakson aikana pinkkaajaa ajettiin tyhjänä, puhaltimien ja hihnakuljettimien käydessä normaalisti. Vaikka ketjukuljettimet eivät olleet käynnissä, ei niillä ole mielestäni niin suurta vaikutusta virta-arvoon etteikö korjauskerronta voisi laskea. Korjauskertoimen arvoilla 0,7-0,75, jatkuvankuormituksen arvoksi tulisi 346,5-371,3 A, joka olisi vielä turvallisella puolella. Käynnistysvaiheen virtapiikin takia nykyinen 630 A pääkytkin on sopiva, koska seuraava pienempi pääkytkin joka on virta-arvoltaan 400 A olisi liian pieni. Mikäli käynnistykseen virtapiikkiä saisi pienemmäksi esimerkiksi puhaltimien käynnistykseen pidemmällä porrastuksella, tai pehmokäynnistimellä. Olisi nykyisiä syöttökaapeleita varaa pienentää, nykyiset  $2 \cdot (3 \cdot 240 \text{Al} + 72 \text{Cu})$  ovat kuormitukseltaan vapaasti ilmaan asennettuna 350 A ja maahan asennettuna 375 A johdinta kohden (liite 1). Siitä seuraava pienempi koko on  $3 \cdot 185 \text{Al} + 57 \text{Cu}$  kaapeli, jonka kuormitettavuus on vapaasti ilmaan asennettuna 297 A ja maahan asennettuna 330 A johdinta kohden alle 70°C käyttölämpötilassa (liite 1). Kyseinen kaapeli olisi kuormitettavuudeltaan myös mahdollinen vaihtoehto.

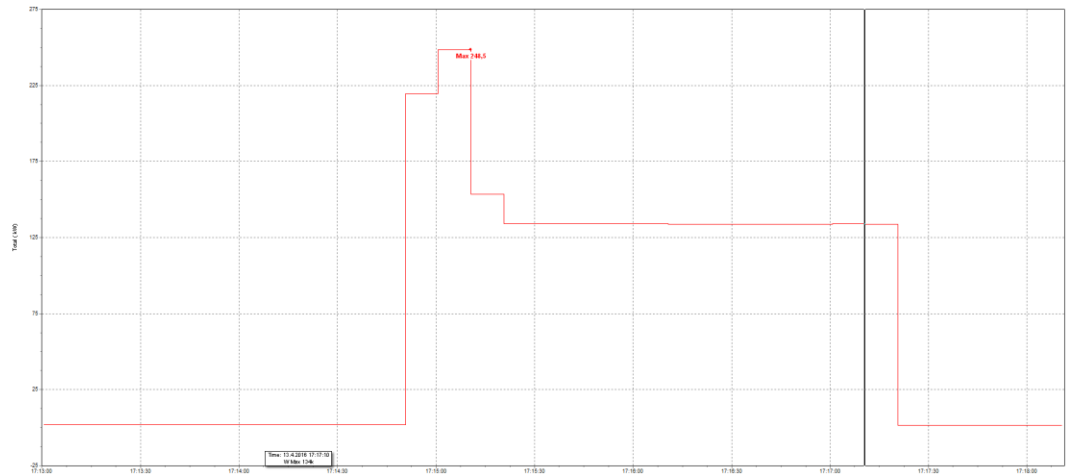
TAULUKKO 12. 250 MCC, moottoriluettelo (Raute 2016c)

Main data for MCC and power supply:		
Voltage:	3x400V, 50Hz	
Equalisation:	0,85	
Continuous load [A]:	420	
The largest output [kW]:	25	
Supply cable section / [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x150+70)	
or Supply cable section Al [mm <sup>2</sup> ]:	2x(3x240Al+72Cu)	
Main switch [A]:	3VL5763-2DC36-0AC1(630A)	
Max. Short circuit breaking capacity [kA]:	50	kA
Type 2 co-ordination (IEC 947-4-1) up to [kA]	50	kA
Star-Delta starting for motors $\geq$ [kW]	132	kW
Connected load [kW]:	256	kW
Connected load [A]:	495	A



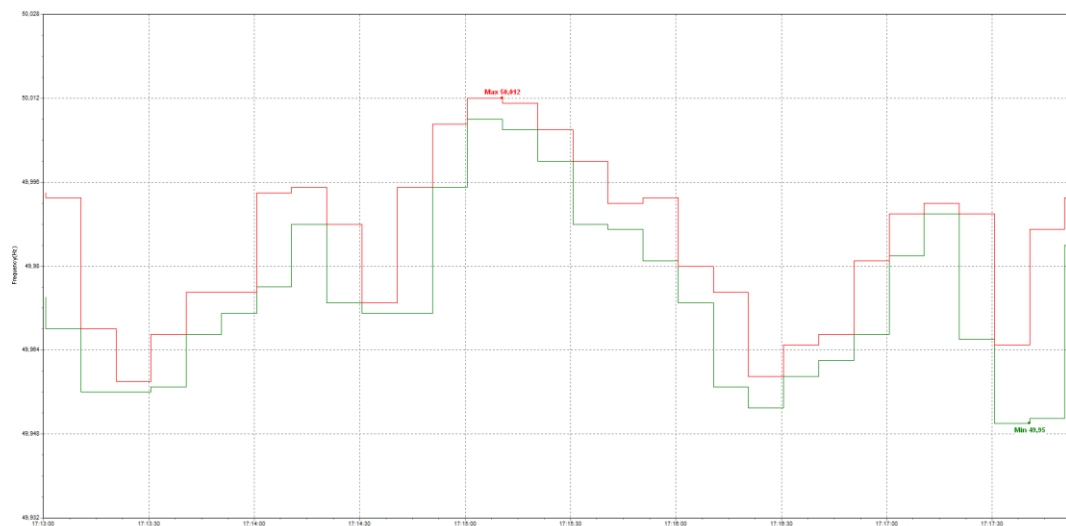
KUVA 38. 250 MCC, harmoniset jänniteyliaallot.

Myös tämän keskuksen osalta yliaaltojännitteet täyttävät standardissa SFS-EN määritetyt rajat yliaaltojännitteille. Suurimmat mitatut yliaallot ovat 5:s ja 7:s yliaalto jotka ovat arvoiltaan lähellä toisiaan, viidennen ollessa hieman suurempi. 5:n yliaallon mitatut arvot ovat L12 1,27-, L23 1,22- ja L31 1,3% nimellisjännitteestä (kuva 38). Harmonisen yliaaltojännitteen kokonaissärö prosentti on L12 2,08-, L23 2,0- ja L31 2,04% nimellisjännitteestä (kuva 38). Kaikki mitatut arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160, määritellyt harmonisten yliaaltojännitteiden hyvän laadun rajan (taulukko 3 ja 4).



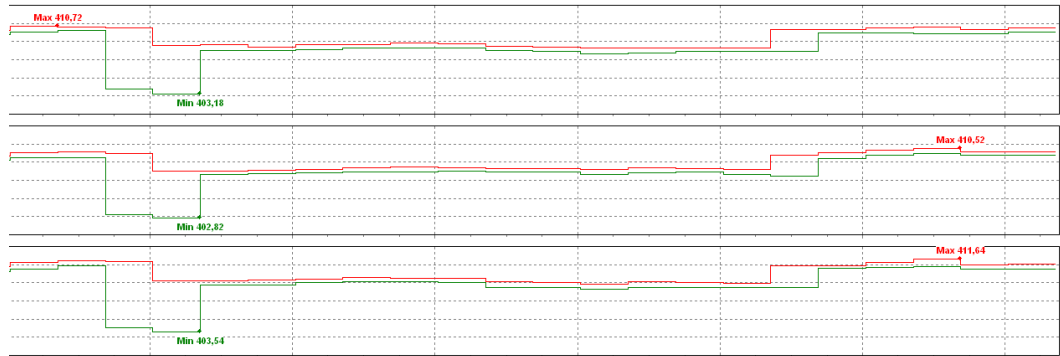
*KUVA 39. 250 MCC, sähköteho*

Suurin hetkellinen sähköteho on käynnistys vaiheessa ilmenevä 248,5 kW, ja keskiarvo mittaus ajalta 131,3 kW



*KUVA 40. 250 MCC, taajuus vaihtelu välillä 49,95- 50,012 Hz.*

Mittausjakson aikana taajuus vaihteli välillä 49,95- 50,012 Hz, mikä täyttää standardissa SFS-EN 50160 taajuudelle määritellyn hyvän laadun raja-arvot jotka ovat 50 Hz $\pm$ 1% (taulukko 1).



KUVA 41. 250 MCC, jännitteen vaihtelu välillä L12 403,18-410,72V, L23 402,82-410,52 ja L31 403,54-411,64V.

Koska jännite on mitattu vaiheiden L12, L23 ja L31 väliltä, on saatu pääjännite joka on sähköjakelu verkossa 400V (kuva 41). Jakamalla mittaustulokset  $\sqrt{3}$  :lla, saadaan standardissa SFS-EN 50160 määritelty pienjännite  $U_n$ . Mitatut arvot olivat 232,8-237,1V, 232,6-237,0V ja 233,0-237,7V. Mitatut arvot täyttävät standardissa SFS-EN 50160, jännitteelle määritellyn normaalinjännitteen raja arvot (taulukko 2).

### 5.3 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti

Tutkimuksen reliabiliteetti oli suurelta osin riippuvainen mittalaisteesta, sekä mitattavista kohteista. Mittalaitteen osalta reliabiliteettiin vaikutti viimeisin kalibrointi, ja ennen mittausta tehtyjen asetusten oikeellisuus. Mitattavissa kohteissa, erityisesti puhallinmootoreiden mitta-arvoihin vaikutti ilmanlämpötila, koska kylmä ilma on raskaampaa kuin lämmin ilma.

Tutkimuksen tulosten perusteella mittauksista saatiin tuloksia jotka vaikuttavat oikeilta, mistä voidaan todeta että mittaasetukset olivat oikein ja saadut mittaustulokset ovat valideja. Koska kumpiakin mitattavia koneita oli vain yksi kappale, niin validiteettia ei voida täysin todeta eivätkä tulokset ole yleistettäviä. Yleistettävien tulosten saamiseksi pitäisi mittauksia suorittaa useammassa samanlaisessa koneessa.

## 6 YHTEENVETO

Tutkimuksia suoritetaan yleensä kun siihen on tarvetta, tässä tutkimuksessa on haluttu selvittää onko moottorikeskusten mitoituksessa käytettävää korjauskerrointa mahdollista tarkentaa, sekä tutkia sähkönlaatuun vaikuttavia tekijöitä.

Sähkönlaatuun vaikuttavat tekijät kuten harmoniset yliaallot, jännitteen vaihtelut sekä taajuudet vaihtelut, täyttävät mitatuilla koneilla standardissa SFS-EN 50160 määritellyt sähkönlaadulle määritellyt raja-arvot. Yksittäiset harmoniset yliaallot olivat kaikki standardin määrittämien raja-arvojen alapuolella ja harmonisen yliaaltojännitteen kokonaissärö täytti kaikissa mitatuissa kohteissa hyvän- tai normaalilaadun raja-arvot. Myös taajuuden ja jännitteen osalta mitatut arvot olivat hyviä ja täyttivät niille asetetut sallitun vaihtelun raja-arvon joka on taajuudelle  $50 \text{ Hz} \pm 1\%$  ja jännitteen normaalille laadulle  $+6/ -10\%$ . Joten niiden osalta tässä tutkimuksessa mitatuilla koneilla ei ole tarvetta toimenpiteisiin, kuten esimerkiksi yliaaltosuodattimien asentamiseen tai jännitteen- ja taajuudenlaadun selvittämiseen.

Tutkimustulosten perusteella moottorikeskusten mitoituksessa käytettävää korjauskerrointa on mahdollista tarkentaa, varsinkin puhallinmoottoreita sisältävissä keskuksissa. Mittaustulosten perusteella suurin ongelma korjauskertoimen pienentämisessä on käynnistysvaiheessa tuleva suuri virtapiikki. Mikäli suurta virtapiikkiä olisi mahdollista pienentää, olisi myös korjauskertoimen pienentäminen helpompaa. Vaihtoehtoja olisi esimerkiksi muuttamalla moottoreiden käynnistyksen porrastusta pidemmäksi, toinen vaihtoehto olisi myös pehmokäynnistimen lisääminen puhallinlähtöihin, joka pienentäisi virtapiikkiä pidemmällä käynnistys rampilla. Tässä tutkimuksessa oleva otanta on sen verran suppea, ettei saatuja tuloksia voi vielä yleistää tulevaisuudessa rakennettavien koneiden kannalta. Tarkkoihin arvoihin pääseminen vaatisi mielestäni kuitenkin vielä lisämittauksia, joissa tarkasteltaisiin useampia eri linjoja pidemmillä mittausjaksoilla. Mutta kuten tutkimuksen tuloksista selviää, tähän asiaan

kannattaa panostaa tulevaisuudessakin, koska joidenkin keskusten korjauskertoimissa on selkeästi varaa tarkentaa.





[http://energia.fi/sites/default/files/sahkon\\_laatu\\_ja\\_toimitustapavirheen\\_sovellusohje\\_2014.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf).

Raute 2016a. Tietoa Rautesta. [Viitattu 9.5.2016]. Saatavissa:

<http://www.raute.fi/tietoa-rautesta>

Raute 2016b. Raute Arvoketjussa. [Viitattu 9.5.2016]. Saatavissa:

<http://www.raute.fi/raute-arvoketjussa>

Raute 2016c. Projektikansio moottoriluettelot. Rauten sisäinenverkko. [Viitattu 2.5.2016].

Draka, AMCMK kaapelin kuormitettavuustaulukko.[Viitattu 5.5.2016].

Saatavissa: <http://sahkonumerot.fi/0600344/id/89078/doc/brochure/>

## LIITTEET

### LIITE 1. AMCMK voimakaapeleiden kuormitustaulukko (Draka)

Johtimien lukumäärä ja poikkipinta n x mm <sup>2</sup>	Kuormitettavuus		Suurin sallittu terminen 1s oikosulkuvirta	
	Maassa 3) johdin 70°C A	Vapaasti ilmassa 4) johdin 70°C A	sisäjohtin 5) kA	konsentrinen johdin kA
AMCMK 3x16/10 AN	78	65	1,2	1,7
AMCMK 3x25/16 AN	100	83	1,8	2,7
AMCMK 3x35/16 AN	125	102	2,6	2,7
AMCMK 3x50/15 AN	150	124	3,6	2,6
AMCMK 3x70/21 AN	185	159	5,1	3,7
AMCMK 3x95/29 AN	220	194	6,9	4,6
AMCMK 3x120/41 AN	255	225	8,7	6,7
AMCMK 3x150/41 AN	280	260	10,8	6,7
AMCMK 3x185/57 AN	330	297	13,3	8,8
AMCMK 3x240/72 AN	375	350	17,3	11,4
AMCMK 3x300/88 AN	430	404	21,6	13,9
AMCMK 4x16/10 AN	78	65	1,2	1,7
AMCMK 4x25/16 AN	100	83	1,8	2,7
AMCMK 4x35/16 AN	125	102	2,6	2,7
AMCMK 4x50/16 AN	150	124	3,6	2,7
AMCMK 4x70/21 AN	185	159	5,1	3,7
AMCMK 4x95/29 AN	220	194	6,9	4,6
AMCMK 4x120/41 AN	255	225	8,7	6,7
AMCMK 4x150/41 AN	280	260	10,8	6,7
AMCMK 4x185/57 AN	330	297	13,3	8,8
AMCMK 4x240/72 AN	375	350	17,3	11,4
AMCMK 4x300/88 AN	430	404	21,6	13,9