

SÄHKÖN LAATUMITTAUKSET JALOTERÄSSULATOLLA

Luodonpää Janne

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Janne Luodonpää	Vuosi	2016
Ohjaaja(t)	Ins. (AMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Outokumpu Stainless Oy Kunnossapitoinsinööri Kari Enbuske		
Työn nimi	Sähkön laatumittaukset jaloterässulatolla		
Sivu- ja liitesivumäärä	55 + 2		

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Stainless Oy:n Tornion jaloterässulatolle. Opinnäytetyössä tutkittiin jännitteen ominaisuuksia sekä tehon laatua jaloterässulaton keskuksissa sähkönlaatuanalysointilaitteilla. Mittauksia varten valittiin tehtaalta epälineaarista kuormaa sisältäviä taajuusmuuttajakeskuksia, joihin mittaukset tehtiin.

Työn tarkoitus oli tutustua sähkönlaatu koskevan standardin SFS EN-50160 määräyksiin sähkön laadusta sekä mitata sähkön laatua terässulatolla ja verrata mittaustuloksia standardin määräyksiin. Työssä mitattiin myös tehon määrää ja laatua. Terässulatolla on paljon sähköverkkoon häiriöitä aiheuttavia kuormituksia, kuten esimerkiksi taajuusmuuttajia, jotka ottavat epälineaarista virtaa verkosta ja näin aiheuttavat verkon jännitteessä nimellistajuudesta poikkeavia yliaalloja.

Työn lopputuloksena saatiin selvitys jännitteen ominaisuuksista ja standardin määräyksistä koskien jännitteen ja tehon laatua sekä raportti mittaustuloksista ja mahdollisista ratkaisuksista verkon korjaamiseksi.

Industry and Natural Resources
Electrical Power Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Janne Luodonpää	Year	2016
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, B.Eng		
Commissioned by	Outokumpu Stainless Oy Kari Enbuske, Maintenance Engineer		
Subject of thesis	Power Quality Measurements in Steel Melting Shop		
Number of pages	55 + 2		

The purpose of this thesis was to examine the power quality in steel melting shop at Outokumpu Tornio Works. The measurements were performed with a power quality analyser to the selected switchboards that contains a lot of nonlinear loads such as frequency converters.

One object in this study was to get acquainted with the power quality standard SFS-EN 50160 "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks". The steel melting shop consists of many nonlinear loads which may cause power quality problems. The focus was on the variations in voltage and frequency magnitudes, voltage harmonics and the stability of the loads. Active power, reactive power and currents were also measured.

As a conclusion, in this thesis there are the measurement results and the report on the power quality compared to the instructions in SFS-EN 50160 power quality standard and how to eliminate reactive power and harmonics from the grid.

Key words

power quality, steel melting shop, harmonic, voltage

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	OUTOKUMPU STAINLESS	9
3	JALOTERÄSSULATTO	10
4	SÄHKÖN LAATUSTANDARDI	12
5	HÄIRIÖT SÄHKÖVERKOSSA	13
5.1	Taajuus	13
5.2	Jännitevaihtelut	13
5.2.1	Jännitemuutokset, jännitekuopat ja ylijännitteet	14
5.2.2	Välkyntä	15
5.3	Jännitteen epäsymmetria	15
5.4	Yliaallot	16
5.4.1	Harmoniset yliaallot	16
5.4.2	Harmonisten yliaaltojen syyt ja seuraukset	17
5.4.3	Epäharmoniset yliaallot	19
5.5	Loisteho	19
6	KOMPENSOINTI JA YLIAALTOJEN SUODATUS	21
6.1	Rinnakkaiskondensaattoriparisto	21
6.2	Estokelaparisto	22
6.3	Yliaaltosuodatin	23
6.4	Aktiivisuodatin	24
7	TAAJUUSMUUTTAJAKESKUKSET	25
7.1	JVK1 taajuusmuuttajakeskus K2033	26
7.2	JVK2 taajuusmuuttajakeskus K2109	27
8	MITTAUKSET	29
8.1	Työturvallisuus mittauksien asennuksessa	29
8.1.1	TToSä 011 Sallitut työskentelyetäisyydet	29
8.1.2	TToSä 012 Pelisäännöt jännitetöissä	30
8.2	Mittalaite Fluke 1735 Power Logger	32
8.3	Mittauskytkentä	33
9	JVK1 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI	35

9.1	Taajuus ja jännite.....	35
9.2	Virta ja kuormitus	37
9.3	Yliaallot	39
9.4	Teho.....	41
10	JVK2 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI.....	43
10.1	Taajuus ja jännite	43
10.2	Virta ja kuormitus.....	45
10.3	Yliaallot.....	46
10.4	Teho	49
11	JOHTOPÄÄTÖKSET TULOKSISTA.....	51
12	POHDINTA.....	53
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	55

ALKUSANAT

Haluan lausua kiitokset Outokumpu Stainless Oy:n kunnossapitoinsinööri Kari Enbuskelle mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sekä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni Outokummun jaloterässulatolle. Tahdon kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa Aila Petäjäjärveä arvokkaista neuvoista ja ohjauksesta opinnäytetyöni aikana. Haluan myös kiittää koko terässulatun sähköautomaatio kunnossapidon henkilöstöä sekä erityisesti aluetyönjohtaja Harri Suojärveä korvaamattomasta avusta opinnäytetyöhöni liittyen.

Suuri kiitos kuuluu myös perheelleni ja ystävilleni, jotka jaksoivat tukea ja kannustaa minua opinnäytetyöni aikana.

Oulussa 14.12.2016

Janne Luodonpää

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

JTSU	Jaloterässlatto
CRK	Kromikonvertteri
VKU	Valokaariuuni
AOD	Argon Oxygen Decarburization (AOD-konvertteri)
SA	Senkka-asema
JVK	Jatkuvavalukone
SRR	Siirtorullarata
P_{it}	Välkynnän pitkäaikainen häiritsevyysindeksi
THD	Harmoninen kokonaissärö
INU	Invertteri (vaihtosuuntaaja)
BCU	Jarrukatkoja

1 JOHDANTO

Sähkö on tuote, jota sähköön tuottajat myyvät kuluttajille. Aivan kuten lähes kaikessa kauppatavarassa, myös sähköön laadulle on aseteltu raja-arvot, joiden sisällä sähköön laadun on pysyttävä. Yleisesti sähköön laatu määritellään jakelujännitteestä.

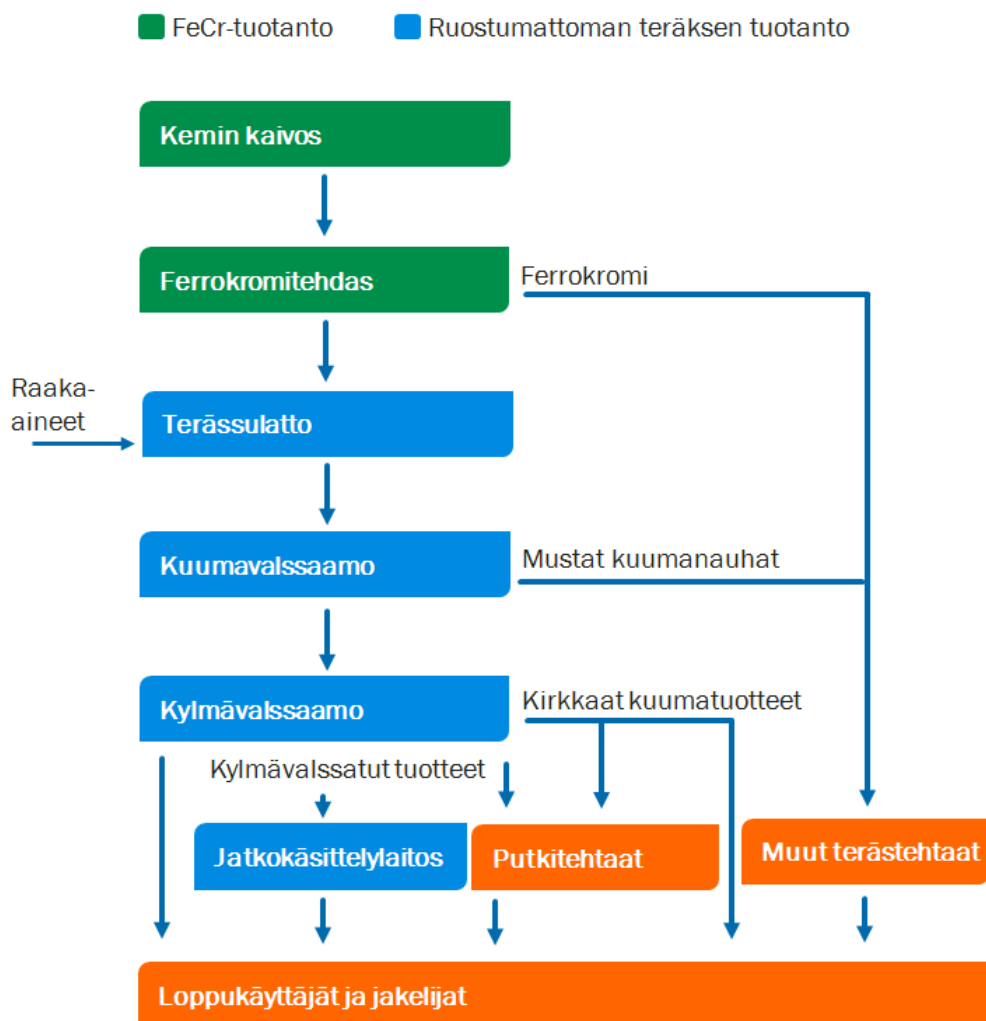
Teollisuuslaitoksissa on paljon epälineaarista kuormaa, joka tuottaa häiriöitä verkkoon. Jännitemuutokset jakelujännitteessä sekä yliaallot ja muut sähköverkon häiriöt altistavat verkkoon liitetyt laitteet vikaantumiselle, lämpenemiselle ja eristysten ennenaikaiselle kulumiselle.

Tässä työssä tarkastellaan sähköön laatua Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaiden jaloterässulatolla ja perehdytään SFS-EN 50160 – standardin määräyksiin sähköön laatukriteereistä. Teoriaosiossa käsitellään yleisimpiä sähköverkon häiriöitä sekä häiriöiden syitä ja vaikutuksia sähköverkossa sekä häiriöiden kompensointia.

Käytännön mittauksissa tarkastellaan taajuusmuuttajakeskusten jännitteen ja tehon laatua eri prosessipaikoilla sähkönlaatuanalysointilaitteilla. Samalla perehdytään myös nykyaikaisen taajuusmuuttajakeskuksen komponentteihin ja rakenteeseen.

2 OUTOKUMPU STAINLESS

Outokumpu Oyj on monikansallinen metalliteollisuusyhtiö, joka toimii yli 30 maassa, sen päätuote on ruostumaton teräs. Outokummun merkittävin tuotantolaitosintegraatti on Tornion tehdas, joka kattaa koko teräksen valmistusprosessin Kemin kromikaivokselta aina kylmävalssaamoon asti. Kaivokselta louhittu kromimalmi tuodaan kuorma-autoilla Tornion ferrokromitehtaalle, jossa se käsitellään ja siirretään terässulatolle. Terässulatolla ferrokromista ja muista raaka-aineista valmistetaan ruostumattomia teräsaihoita. Teräsaihot siirretään kuuma- ja kylmävalssaamoille jatkokäsittelyyn. Kuviossa 1 on esitetty Tornion tehtaiden tuotantoketju. (Outokumpu Oyj 2015.)

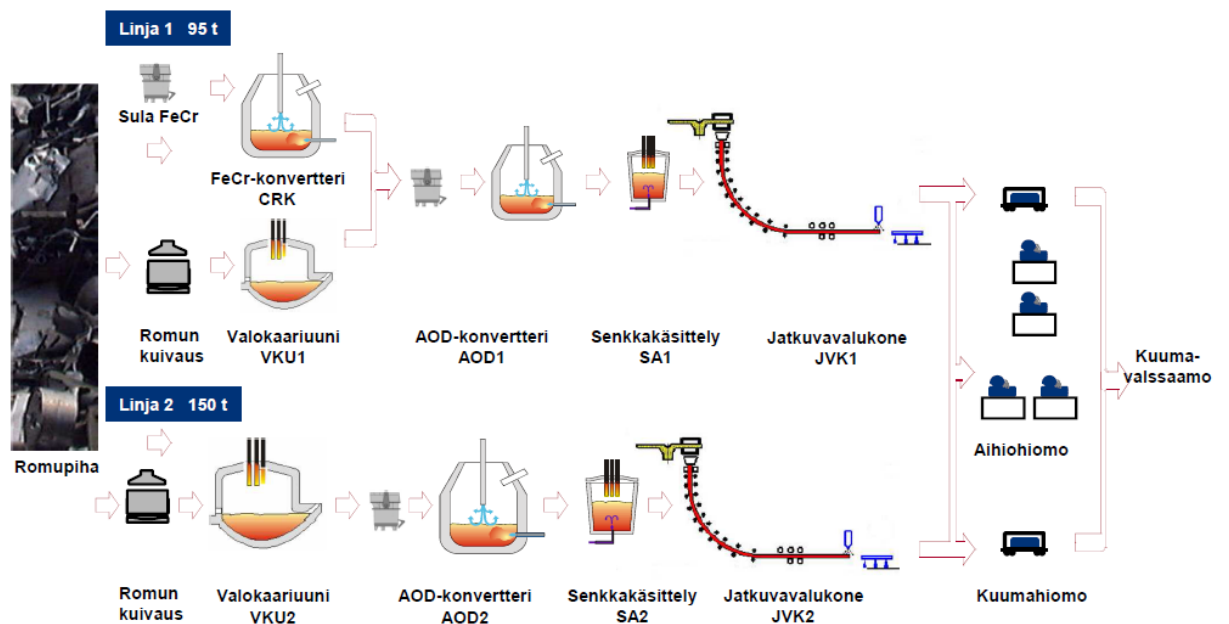


Kuvio 1. Outokumpu Tornion tehtaat ja Kaivos (Outokumpu Oyj 2015.)

3 JALOTERÄSSULATTO

Torniossa jaloterässulatto on toiminut vuodesta 1976 asti, jolloin ensimmäinen sulattolinja käynnistettiin. Vuosien saatossa terässulattoa on modernisoitu ja sen kapasiteettia on nostettu. Suurin laajennus on vuonna 2002 valmistunut toinen tuotantolinja.

Jaloterässulaton prosessi sisältää monta eri vaihetta, jossa teräksen laatua ja koostumusta voidaan tarkastella ja muokata halutunlaiseksi. Terässulaton prosessiin kuuluu ferrokromikonvertteri, valokaariuuni, AOD-konvertteri, senkkasema, jatkuvavalukone ja hiomo. Sulaton tärkeimmät raaka-aineet ovat kierrätysteräs, ferrokromi, nikkeli ja molybdeenioksidi. Kuviossa 2 on esitetty terässulaton prosessikaavio.



Kuvio 2. Jaloterässulaton tuotantokaavio (Outokumpu Oyj 2015.)

Ferrokromitehtaalta sula ferrokromi tuodaan junalla terässulaton ferrokromikonvertteriin, jossa siitä alennetaan happi- ja paineilmapuhalluksen avulla hiili- ja piipitoisuutta.

Valokaariuuniin panostetaan kierrätysteräksen lisäksi muita raaka-aineita kuten nikkeliä, molybdeeniä ja koksia. Valokaariuunissa panos sulatetaan noin 1600 asteiseksi sulaksi sähköenergiaa hyödyntäen.

Kromikonvertterin sula ferrokromi sekä valokaariuunin sulatettu terässula panostetaan AOD-konvertteriin, jossa sulan hiilipitoisuutta voidaan säätää sulaan puhallettavan argon-happiseoksen avulla. AOD:lla terässulan koostumukseen voidaan vaikuttaa eri seostuksilla teräslajista riippuen.

AOD-konvertterin jälkeen sulapanos siirretään senkka-asemalle, jossa sulan lämpöä ja koostumusta voidaan säätää halutun teräslajin mukaiseksi. Kun sula on seostettu halutuksi, se siirretään valua varten jatkuvavalukoneelle.

JVK:lla sula teräs muutetaan kiinteäksi teräsaihioksi. Teräsaihio on terässulaton lopputuote, jonka pituus on noin 14 metriä, paksuus 167-185 mm, leveys 1000-1620 mm ja paino 16-26 tonnia. Terässulaton aihionhiomossa voidaan poistaa valun aikana teräsaihioon syntyneitä pintavikoja.

4 SÄHKÖN LAATUSTANDARDI

Sähkömarkkinalaki velvoittaa hyvälaatuisen sähkön toimittamiseen osana verkon kehittämisvelvollisuutta. Hyvällä sähkön laadulla parannetaan sähköverkon käyttövarmuutta, liitettävien laitteiden toimivuutta sekä turvallisuutta. Erityisesti teollisuudessa ja tuotantolaitoksissa sähkönlaadulla on suuri merkitys tuotantoprosessin toimivuuden kannalta. Heikko sähkönlaatu voi näkyä yrityksellä laatuvirheinä mutta pahimmassa tapauksessa jopa koko tuotannon keskeytyksenä. (ABB TTT-käsikirja 2000, 1.)

SFS-EN 50160:2010 ”Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet” on standardi, joka määrittelee jakelujännitteen pääominaisuudet verkon käyttäjän liittymiskohdassa yleisessä pien-, keski- ja suurjännitteisessä vaihtosähköjakeluverkossa. (SFS-EN 50160 2010, 4.)

Standardi jakaa määriteltävät ominaisuudet kahteen ryhmään:

- Jatkuvat ilmiöt ovat poikkeamia nimellisarvosta, ne esiintyvät jatkuvasti. Nämä poikkeamat aiheutuvat yleensä pääasiallisesti tietyn kuormitustyypin vaikutuksesta, kuormitusten vaihteluista tai epälineaarista kuormista.
- Jännitehäiriöt ovat jännitteen käyrämuodon äkillisiä ja merkittäviä poikkeamia tavallisista tai tavoitelluista käyrämuodoista. Jännitehäiriöt sattuvat tavallisesti ei ennalta-ennustettavissa olevien tapahtumien seurauksena (viat) tai ulkoisten tekijöiden aiheuttamina (sääolosuhteet, kolmannen osapuolen aiheuttamat).

Joillekin jatkuville ilmiöille voidaan määritellä sallitut raja-arvot mutta jännitehäiriöille voidaan antaa vain suuntaa-antavat arvot. Jatkuvat ominaisuudet ovat muunmuassa verkkotaajuus, jännitetason vaihtelut, nopeat jännitemuutokset, välkyntä, epäsymmetria sekä yliaallot. Jännitehäiriöitä ovat muunmuassa käyttökeskeytykset, jännitekuopat/ylijännitteet sekä transientti-ylijännitteet. (SFS-EN 50160 2010, 10.)

5 HÄIRIÖT SÄHKÖVERKOSSA

Sähköverkon häiriöt määritellään yleisesti jakelujännitteestä.

5.1 Taajuus

Jakelujännitteen nimellistaajuus on Suomessa 50 Hz. Normaaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvon 10 sekunnin aikaväliltä mitattuna yhteiskäyttöverkoissa tulee olla:

- | | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|
| - 50 Hz ± 1 % | (49,5 Hz – 50,5 Hz) | 99,5 % vuodesta |
| - 50 Hz ± 4 % / -6 % | (47 Hz – 52 Hz) | 100 % ajasta |

Erillisverkoissa kuten tietyillä saarilla, taajuuden täytyy pysyä 50 Hz ± 2 % tasossa 95 % viikosta mutta aina vähintään 50 Hz ± 15 % rajan sisällä. (SFS-EN 50160 2010, 11.)

Suomessa taajuuspoikkeamat ovat melko harvinaisia. Yleensä niitä esiintyy verkon saarekekäytössä, varavoimakonekäytöissä ja pienillä jakelualueilla kuten esimerkiksi saarilla. Taajuuspoikkeamat johtuvat pääasiassa nopeista kuormitusmuutoksista yksittäisillä generaattoreilla, huonoista generaattorin ohjaus- ja säätölaitteista. Myös epästabili ja ylikuormitettu maaseutuverkko voi aiheuttaa taajuuspoikkeamia. (ABB TTT-käsikirja 2000, 2.)

5.2 Jännitevaihtelut

SFS-EN 50160 – standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa jännitetason vaihtelut eivät saa ylittää ±10 % nimellisjännitteestä. Jos jakeluverkkoa ei ole liitetty yleiseen siirtoverkkoon tai erityisillä syrjäseuduilla verkon jännitevaihteluiden ei tulisi ylittää +10 % / -15 % nimellisjännitteestä. Jännitevaihtelut voidaan todeta normaalisti mittaamalla. Viikon pituisen mittausjakson aikana, jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin jaksoilla mitatuista keskiarvoista 95 % tulee olla välillä $U_n \pm 10 \%$ sekä kaikkien

jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvolla mitattuna tulee olla välillä $U_n + 10 \% / -15 \%$ (Taulukko 1). (SFS-EN 50160 2010, 11.)

Taulukko 1. Jännitteen laatukriteerit (ABB TTT-käsikirja Sähkön laatu 2000, 8)

Hyvä laatu:	$U_n \pm 4 \%$ ja keskiarvo $U_n \pm 2,5 \%$.
Normaalilaatu:	$U_n \pm 10 \%$
Standardilaatu:	95 % välillä $U_n \pm 10 \%$
Mittaus:	10 min jaksoina viikon ajan

5.2.1 Jännitemuutokset, jännitekuopat ja ylijännitteet

Nopeat jännitemuutokset johtuvat yleensä verkossa tapahtuvista nopeista kuormitusmuutoksista, kytkennöistä tai vioista. Jos jännitteen muutos ylittää standardin SFS-EN 50160 määrittelemän jännitekuopan tai ylijännitteen havahtumiskynnyksen, tapahtuma luokitellaan jännitekuopaksi tai ylijännitteeksi nopean jännitemuutoksen sijaan. (SFS-EN 50160 2010, 11.)

Jännitekuopan havahtumispiste on tavanomaisesti 90 % nimellisjännitteestä ja ylijännitteen havahtumispiste 110 % nimellisjännitteestä. (SFS-EN 50160 2010, 14.)

SFS-EN 50160 -standardi antaa jännitekuopille ainoastaan viitteelliset arvot, joita ei voida pitää sähkömarkkina-lain mukaisena virherajana. Standardin mukaan jännitekuoppien ja ylijännitteiden arviointi tulee tehdä standardin EN 61000-4-30 mukaisesti. (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 18.)

Yleisessä jakeluverkossa jännitekuopat aiheutuvat yleensä jakeluverkossa tapahtuvista tai verkonkäyttäjän aiheuttamista vioista. Ylijännitteet aiheutuvat tyypillisesti kytkentätoimenpiteistä tai kuormien erottamisista. Molemmat ilmiöt ovat hyvin satunnaisia ja odottamattomia. (SFS-EN 50160 2010, 13.)

Pienjänniteverkossa vertailujännitteenä käytetään nelijohtimisen kolmivaihejärjestelmän vaiheen ja nollan välistä jännitettä tai kolmijohtimisen kolmivaihejärjestelmän vaiheiden välistä jännitettä. (SFS-EN 50160 2010, 14.)

5.2.2 Välkyntä

Useat peräkkäin tapahtuvat nopeat jännitteen muutokset aiheuttavat lamppujen luminanssin muutoksia, jotka voivat näkyä lamppujen välkyntänä. Normaaleissa käyttöolosuhteissa, minkä tahansa viikon pituisen mittausjakson aikana, jännitevaihtelun aiheuttaman välkyntän pitkäaikaisen häiritsevyyssindeksin P_{ft} tulisi olla 95 % ajasta enintään 1 ($P_{ft} \leq 1$). (SFS-EN 50160 2010, 12.)

5.3 Jännitteen epäsymmetria

SFS-EN 50160 mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana, jokaisen perustaajuisen jakelujännitteen vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvon keskiarvosta 95 % täytyy olla 0-2 % perustaajuisesta myötäkomponentista (Taulukko 2). (SFS-EN 50160 2010, 12.)

Taulukko 2. Jännitteen epäsymmetrian kriteerit (ABB TTT-käsikirja 2000, 8.)

Hyvä laatu:	Kaikki u_{nSh} -arvot ≤ 2 %.
Normaalilaatu:	Kaikki u_{nSh} -arvot ≤ 2 %.
Standardilaatu:	Mitatuista u_{nSh} -arvot ≤ 2 %.
Mittaus:	95 % vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvosta tulisi olla 0...2 % myötäkomponentista.
Laskenta:	$u_n = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$, missä $\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2}$ u_{nSh} = näytteistä laskettu 10 minuutin arvo u_n = epäsymmetria. β = jännitekerroin U_{12} = jännite vaiheiden L1 - L2 välillä U_{23} = jännite vaiheiden L2 - L3 välillä U_{31} = jännite vaiheiden L3 - L1 välillä

Standardin IEEE 141:n mukaan epäsymmetrian ylittäessä 2 % on moottorien ylikuumenemisvaara, jos moottoria kuormitetaan täydellä kuormalla. (ABB TTT-käsikirja 2000, 8.)

5.4 Yliaallot

Yliaallot voidaan jakaa kahteen ryhmään, harmonisiin yliaaltoihin sekä epäharmonisiin yliaaltoihin.

5.4.1 Harmoniset yliaallot

Harmoninen yliaaltojännite on sinimuotoinen jännitekomponentti, jonka taajuus on jakelujännitteen perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna (esim. 3. yliaalto = 150 Hz, 5. yliaalto = 250 Hz). Harmonisia yliaaltojännitteitä voidaan arvioida yksittäin niiden suhteellisella suuruudella verrattuna perustaajuiseen jännitteeseen U_1 tai yhdessä jännitteen harmonisella kokonaissäröllä THD (Total Harmonic Distortion). (Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori & Wilén 2006, 13.)

SFS-EN 50160 – standardi määrittelee, että jakelujännitteen kokonaissärökertoimen THD tulee olla maksimissaan 8 % (mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot 40. yliaaltoon saakka). Normaaleissa olosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana 95 % kunkin yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin keskiarvolla mitatun tehollisarvon tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 3 annetun arvon. (SFS-EN 50160 2010, 12.)

Taulukko 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot prosentteina perustajuisesta jännitteestä (SFS-EN 50160 2010, 12.)

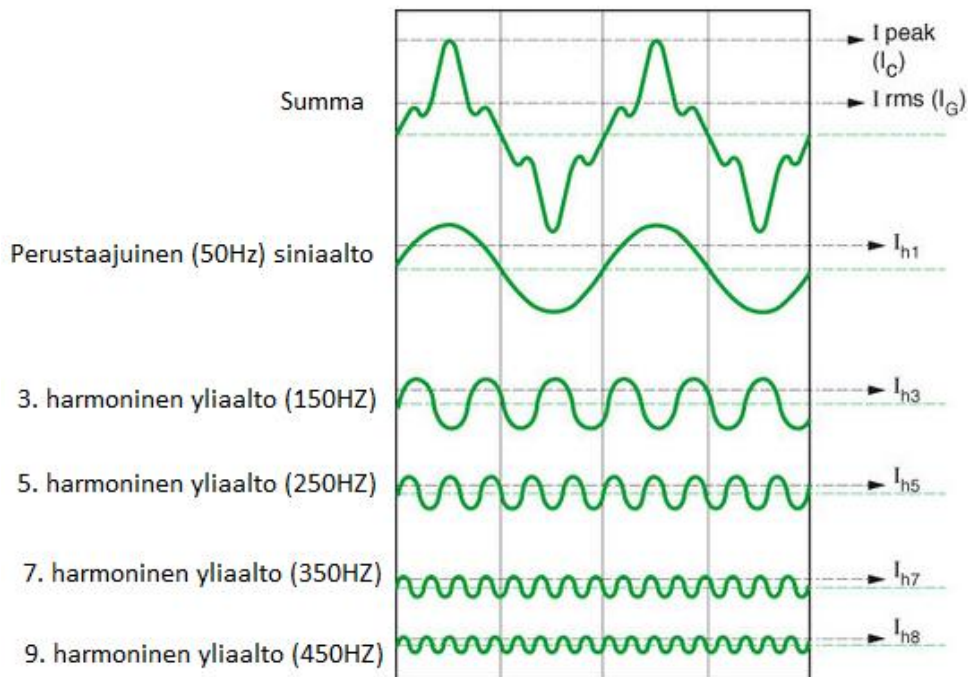
Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_n)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_n)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_n)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0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

Järjestysluvultaan yli 25 harmonisille yliaalloille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssilanteiden takia. (SFS-EN 50160 2010, 12.)

5.4.2 Harmonisten yliaaltojen syyt ja seuraukset

Harmonisia yliaaltojännitteitä synnyttävät esimerkiksi ylikuormitetut muuntajat, epäsymmetriset kuormitukset, hakkuritehonlähteet, tasasuuntaajat, taajuusmuuttajat ja tyristorikäytöt. Varsinkin teollisuudessa lisääntyneet taajuusmuuttajat ja muut säädettävät käytöt lisäävät harmonisten yliaaltojen esiintymistä. Taajuusmuuttajien synnyttämät harmoniset yliaallot pysyvät lähes samansuuruisina kuormitettavan moottorin kuormitusasteesta riippumatta. (ABB TTT-käsikirja 2000, 4.)

Harmoniset yliaallot aiheuttavat vaihtojännitteen ja – virran käyrämuodon säröytymistä, eli käyrämuoto ei ole enää täysin sinimuotoinen. Verkkojännite säröytyy, koska perustajuisesta sinikäyrästä poikkeavat virrat aiheuttavat verkon impedansseissa jännitehäviöitä. Kuviossa 3 on esitetty perustajuisen siniaalto, harmoniset yliaallot sekä säröytynyt siniaalto. (Männistö ym. 2006, 26.)



Kuvio 3. Perustaajuinen siniaalto sekä 3,5,7, 9. yliaalto ja näiden summa

Käytännössä yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat häviöiden kasvu sähköverkoissa sekä eri laitteiden kuormitettavuuden alentuminen. Yliaallot voivat aiheuttaa mittareiden virheellisiä näyttämiä sekä automaatio- ja suojalaitteiden virhetoimintoja. Yksivaihekuormilla erityisen haitallinen on 3. yliaalto ja sen kerrannaiset, jotka summautuvat vaihejohtimista nollajohtimeen ja voivat aiheuttaa nollajohtimeen tehollisarvoltaan vaihejohtimien virtoja suuremman virran. (Männistö ym. 2006, 30-31.)

Kolmivaiheiset kuormitukset aiheuttavat parittomia yliaaltotaajuuksia. Pienitaajuiset yliaallot aiheuttavat ongelmia sähköverkon komponenttien ja laitteiden lämpenemisen kannalta. Suuritaajuiset yliaallot aiheuttavat ääni- ja radiotaajuisia häiriöjännitteitä. (Männistö ym. 2006, 30-32.)

Lisäksi harmoniset yliaaltojännitteet aiheuttavat mm. moottoreille epätahtimomenteja, joista seuraa mekaanisia rasituksia moottoreiden laakeroinneille ja rakenteille. (Viitala 2006, 1.)

5.4.3 Epäharmoniset yliaallot

Epäharmoninen yliaaltotaajuus on taajuus, joka ei ole perusaallon taajuuden monikerta. Epäharmoniset yliaallot ovat lisääntymässä taajuusmuuttajien sekä muiden verkkoon kytkettävien säätölaitteiden kasvavan määrän vuoksi. Epäharmoniset yliaaltojännitteet saattavat aiheuttaa välkyntää, jos ne ovat lähellä perustaajuutta. SFS-EN 50160 ei tällä hetkellä määrittele epäharmonisille yliaalloille vaatimustasoja, mutta vaatimustasot voivat tulevaisuudessa olla ajankohtaisia. (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 18.)

5.5 Loisteho

Loisteho on reaktiivista tehoa, joka sykkii edestakaisin sähkölähteen ja sähköön kulutuskojeen välillä. Moottorit, muuntajat, purkauslamput yms. tarvitsevat toimiakseen loistehoa. Loisteho voi olla induktiivista tai kapasitiivista, tehokerroin ($\cos\varphi$) ilmaisee laitteen loistehon tarpeen. Resistiivisellä kuormalla tehokerroin on 1, tällöin kuorma ei ota verkosta loistehoa. Erilaisten kuormitusten tehokertoimia on esitetty taulukossa 4. (ABB TTT-käsikirja 2000, 1.)

Teollisuuden näkökulmasta suuret magnetointienergiat induktiomoottoreissa ja muuntajissa tuottavat induktiivista loistehoa, puhutaan, että laitteet kuluttavat loistehoa. Tätä kulutettua induktiivista loistehoa voidaan kompensoida samansuuruisella kapasitiivisella loisteholla, jota voidaan tuottaa kondensaattoreilla.

Taulukko 4. Kuormitusten tyypillisiä tehokertoimia (ABB TTT-käsikirja 2000, 1.)

Kuorma	$\cos\varphi$ tehokerroin (W / VA)	$\tan\varphi$ loistehon tarve (VAr / W)
Moottorit	0,7 ... 0,85	1,0 ... 0,62
Loisteputkivalaisimet		
-kompensoitamattomat	0,5	2
-kompensoidut	0,9	0,5
Tyristorikäytöt	0,4 ... 0,75	2,3 ... 0,9
Resistiivinen kuorma	1	0

Loisteho kuormittaa siirtoverkkoja ja näin vähentää pätötehon siirtokykyä ja lisää kaapeleiden ja muuntajien jännite-, teho-, ja energiahäviöitä. Sähköyhtiöt perivät loistehomaksun verkosta otetusta loistehosta ja siksi erityisesti teollisuudessa loisteho on taloudellisempaa tuottaa lähellä loistehoa tarvitsevia laitteita. Tavallisella sähkönkäyttäjällä loistehot ovat yleensä niin pieniä, etteivät sähköyhtiöt peri heiltä loistehomaksuja. Yksittäiselle sähkön käyttäjälle loistehon otto saattaa silti kasvattaa pääsulakekokoa ja näin lisätä liittymismaksuja. (Männistö ym. 2006, 20.)

6 KOMPENSOINTI JA YLIAALTOJEN SUODATUS

Loistehoa voidaan kompensoida kolmella eri tavalla. Laitekohtaisella kompensoinnilla voidaan kompensoida yksittäinen sähkölaite esimerkiksi oikosulkumoottori. Ryhmäkompensoinnilla voidaan kompensoida koko ryhmäkeskuksen kaikki sähkölaitteet ja pääkeskukseen sijoitetulla keskitetyllä kompensoinnilla voidaan kompensoida koko sähköliittymä.

Loistehon kompensointia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon verkon yliaaltojen vaikutus. Kompensointikondensaattorin kapasitanssi ja verkon induktanssit voivat synnyttää rinnakkaisresonanssipiirin ja sen taajuuden osuessa jonkin verkossa esiintyvän yliaaltotaajuuden kohdalle voivat sen taajuuden yliaaltovirrat vahvistua jopa 20-kertaisiksi. Yliaaltopitoisessa verkossa loistehon kompensointi täytyy siksi toteuttaa suodattamalla samalla yliaaltoja resonanssin estämiseksi. (Männistö ym. 2006, 52.)

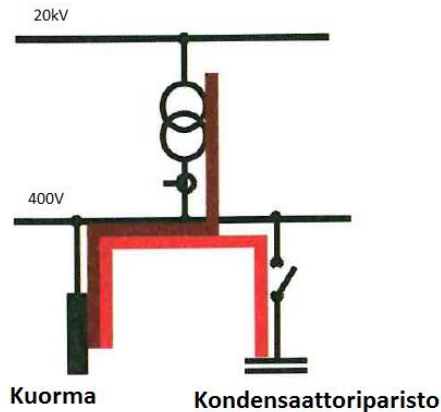
Yliaaltoja voidaan hallita minimoimalla yliaaltojen synty, ylimitoittamalla verkko tai suodattamalla yliaallot erillisillä yliaaltosuotimilla ja paristoilla. Suodatuksessa käytettävä tekniikka vaihtelee verkon laitteiden ja verkon yliaaltopitoisuuden mukaan (esim. passiivi/aktiivi, sarja- tai rinnankytketyt paristot). (Männistö ym. 2006, 48.)

6.1 Rinnakkaiskondensaattoriparisto

Rinnakkaiskondensaattoriparisto kytketään nimensä mukaisesti rinnan kompensoitavan kuorman kanssa. Rinnakkaiskondensaattoriparistoja käytetään kiinteinä sekä säädettävänä loistehon kompensointiin. Kiinteä kondensaattoriparisto ei sisällä säätöä ja se mitoitetaan halutulle loisteholle.

Säädettävää kondensaattoriparistoa eli automatiikkaparistoa säädetään yleensä portaittain loistehonsäätäjällä. Automatiikkaparistoon asetellaan havahtumisrajat sekä induktiiviselle että kapasitiiviselle osalle. Automatiikka mittaa kuorman loistehon tarvetta ja kytkee kondensaattoriportaita verkkoon tai verkosta pois. (Männistö ym. 2006, 49-51.)

Kuviossa 4 rinnakkaiskondensaattoripariston toimintaperiaate.



Kuvio 4. Rinnakkaiskompensointi, punainen viiva kuvaa loistehon kulkua, ruskea viiva pätötehoa. (Männistö ym. 2006, 50.)

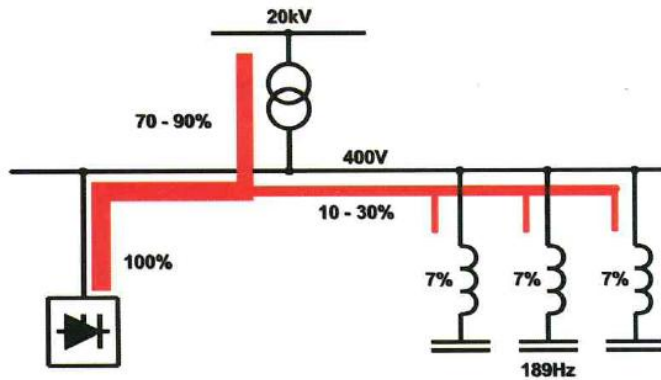
Rinnakkaiskondensaattoreita käytetään keskitetyssä kompensoinnissa ryhmä- ja pääkeskuksissa sekä laitekohtaisessa kompensoinnissa. Rinnakkaiskondensaattoriparistoja suositellaan käytettäväksi kohteissa, joissa ei ole merkittävästi yliaaltoja.

6.2 Estokelaparisto

Estokelaparistoja käytetään yliaaltopitoisissa verkoissa sekä pien- että keskijännitteellä keskitetyssä kompensoinnissa. Sen käyttöä suositellaan, kun jännitteen kokonaissärö (THD %) on yli 3 %. Estokelaparistossa jokainen porrassisältää kondensaattorin ja kuristimen sarjakytkennän. Kondensaattorin ja estokelakuristimen sarjakytkentä muodostaa sarjaresonanssiipiirin. Portaiden säätö tapahtuu loistehonsäätimillä loistehontarpeen mukaan.

Estokelapariston suodattavuuteen voidaan vaikuttaa sarjaresonanssiipiirin viritystaajuuden valinnalla. Viritystaajuus valitaan verkossa ilmenevien haitallisimpien yliaaltojen mukaan. Yleisimmät Suomessa käytettävät viritystaajuudet ovat 189 Hz, 141 Hz ja 134 Hz. Viritystaajuuden alapuolella paristo tuottaa loistehoa mutta noustaessa viritystaajuuden yläpuolelle paristo on induktiivinen eikä näin vahvista yliaaltoja tyypillisillä yliaaltotaajuuksilla. (Männistö ym. 2006, 52-54.)

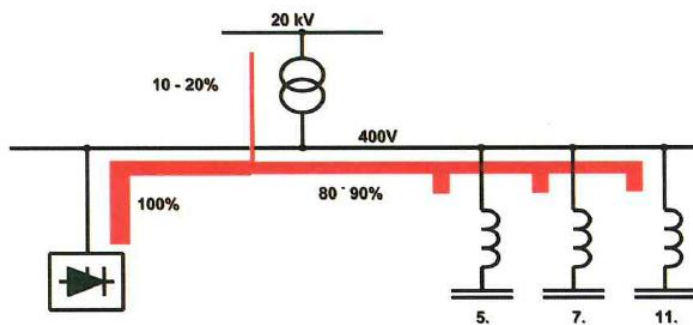
Kuviossa 5 on kuvattu estokelapariston toimintaperiaate.



Kuvio 5. Estokelapariston suodatus (Männistö ym. 2006, 54.)

6.3 Yliaaltosuodatin

Yliaaltosuodattimia käytetään verkoissa, joissa yliaaltopitoisuus on suuri, yleensä THD yli 5 %. Myös yliaaltosuodattimen toiminta perustuu kondensaattoreiden ja kuristimien sarjakytkennän muodostamaan hyvin pieni-impedanssiseen sarjaresonanssiin eli ns. imupiiriin. Kuviossa 6 on esitetty yliaaltosuodattimen toimintaperiaate. Sarjaresonanssiirit viritetään yleisimmille yliaaltotaajuuksille (5., 7. ja 11. yliaalto). Jokaiselle suodatettavalle yliaallolle täytyy olla oma sarjaresonanssiipiiri. Kuten estokelaparisto, myös yliaaltosuodatin toimii pien- ja keskijänniteverkoissa keskitettynä kompensointina. (Männistö ym. 2006, 55.)



Kuvio 6. Yliaaltosuodattimen toimintaperiaate (Männistö ym. 2006, 56)

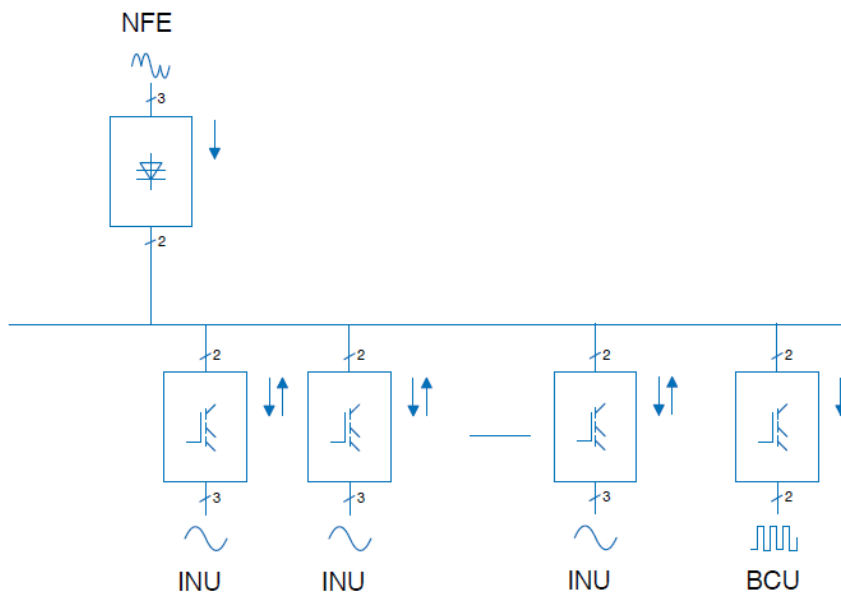
6.4 Aktiivisuodatin

Toisin kuin passiiviset suodattimet, aktiivinen suodatin osaa reagoida verkon yliaaltojen muutokseen ja säätää suodatusta verkon sen hetkisen tilanteen mukaan. Aktiivisuodatin on yliaaltogeneraattori, joka mittaa virran yliaaltokomponentit ja tuottaa niiden kanssa 180° vaihesiirrossa olevan virran, joka kumoaa alkuperäisen yliaaltovirran. Aktiivisuodatin ei ylikuormitu vaan kapasiteetin loppuessa suodatin jättää kapasiteettinsa ylittävän osan yliaaltovirroista kompensoimatta. Aktiivisuodattimen mitoitusperiaatteena on yleensä kokonaisjännitesärön pienentäminen 8 %:sta 4 %:iin. (Viitala 2006, 3.)

Aktiivisen suodattimen etuja passiivisiin suodattimiin on mm. mahdollisuus valita useampia suodatettavia taajuuksia, mahdollisuus suodatukseen ilman loistehon tuotantoa, rinnakkaisresonanssivaaran välttäminen sekä pienempi tilan tarve. Aktiivisuodatin pystyy kompensoimaan myös epäharmonisia yliaaltoja toisin kuin passiivinen kompensointi. Aktiivisuodatin voidaan asentaa mihin tahansa verkon pisteeseen. Verkon impedanssi ja jännitteen laatu eivät vaikuta suodattimen toimintaan. (Männistö ym. 2006, 62.)

7 TAAJUUSMUUTTAJAKESKUKSET

Mittauskohteiksi valikoitui 2 linjakäyttöistä rullaratakeskusta. Keskukset valikoituivat mittauskohteiksi, koska ne sisältävät paljon taajuusmuuttajia, jotka aiheuttavat verkkoon häiriöitä ja poikkeamia. Rullaratakeskukset ovat lähes identtisiä keskenään, joten oli myös mielenkiintoista verrata tuloksia näiden kahden keskuksen välillä.



Kuvio 7. Vacon Common DC bus –laitteiston rakenne (Vacon PLC 2016.)

Kuviossa 7 on esitetty Common DC bus – laitteiston rakenne. Rullaratakeskukset K2109 sekä K2033 ovat VEO:n valmistamia ns. Common DC bus – laitteistoja, joissa on yhteinen NFE-syöttöyksikkö, joka muuntaa verkosta tulevan vaihtovirran ja – jännitteen tasajännitteeksi ja – virraksi yhteiseen DC-kiskostoon. Yhteiseen kiskostoon on kytketty inverttereitä (INU) eli vaihtosuuntaajia, jotka suuntaavat tasajännitteen takaisin kuormalle sopivaksi vaihtojännitteeksi. DC - kiskostoon on kytketty myös jarrukatkoja (BCU), jonka tehtävä on purkaa jarruttavien inverttereiden ylimääräinen energia kiskostosta jarruvastuksiin. JVK1 K2033 on nimellisjännitteeltään 690 V ja valmistunut vuonna 2011 kun JVK2 K2109 nimellisjännite on 400 V ja valmistumisvuosi 2015.

7.1 JVK1 taajuusmuuttajakeskus K2033

Keskus K2033 (Kuva 1) ohjaa JVK1:n jälkeisiä rullaratoja aina SRR1-kuljettimelle saakka. Keskukseen perässä on 16 kpl 5,5 kW ja 32 kpl 7,7 kW rullaratamoottoria. Taulukossa 5 on ilmoitettu keskuksen nimellisarvot.



Kuva 1. JVK1 rullaratakäyttöjen taajuusmuuttajakeskus K2033

Taulukko 5. Rullaratakeskus K2033 nimellisarvot

JVK2 K2033			
Kojeistotyyppi		Veda 5000	
Un	690V	Kotelointi	IP21
Fn	50Hz	I _{th} (1s)	32kA
In	630A	I _{dyn}	63kA

Kokoonpano sisältää:

- Invertterit 48 kpl Vacon NXI00276A2T0CSVA1A300D6C5
690V/27A FR6
- NFE-syöttöyksikkö Vacon NXN06506X0T0SSV0000000000
690V/650A FI9
- Jarrukatkoja NXB00276A2T08SVA1A300D6C5
690V/27A FR6

Rullat 1-16 on varustettu invertterin jälkeisellä sinisuotimella. Tämä johtuu siitä, että rullaradan alkupään rullia pyörittävät Bauerin valmistamat 5,5 kW:n vaihdemoottorit, joiden F – luokan eristys ei kestä nopeaa virran nousua ja sitä pitää näin ollen rajoittaa kuristimella.

K2033 syöttö saadaan rullaratojen pääkeskuslähdestä K203.0301, joka sijaitsee samassa sähkötilassa. Liitteessä 1 on esitetty taajuusmuuttajakeskuksen pääpiirikaavio.

7.2 JVK2 taajuusmuuttajakeskus K2109

Taajuusmuuttajakeskus K2109 (Kuva 2) on rakennettu vuonna 2015 ja se korvaa vanhan ryhmäkäyttökeskuksen.



Kuva 2. JVK2 rullaratakäyttöjen taajuusmuuttajakeskus K2109

K2109 kokoonpano sisältää:

- Invertterit 43kpl Vacon NXI00315A2T0CSVA1A300D6C5 FR6
400V/31A FR6
- NFE- syöttöyksikkö Vacon NXN06506X0T0SSV0000000000
400V/650A FI9

- Jarrukatkoja Vacon NXB00315A2T08SVA1A300D6C5
400V/31A FR6

Keskus syöttää JVK2:n jälkeisiä rullaratoja: lähestymispöytä 1, lähestymispöytä 2, polttoleikkauspöytä, purkupöytä 1. Rullaratamoottorit ovat Bauerin valmistamia 5,5 kW:n vaihde moottoreita. Tulevaisuudessa Bauerit on tarkoitus korvata VEM:n valmistamilla tappivaihdemoottoreilla, joita on jo asennettu muutamia koekäyttöön.

Taulukossa 6 on esitetty keskuksen nimellisarvot.

Taulukko 6. Rullaratakeskus K2109 nimellisarvot

JVK2 K2109			
Kojeistotyyppi		Veda 5000	
Un	400V	Kotelointi	IP21
Fn	50Hz	I _{th} (1s)	32kA
In	630A	I _{dyn}	63kA

Keskusta syötetään samassa sähkötilassa olevasta pääkeskuksen lähdöstä K210.0703. Liitteessä 2 on esitetty taajuusmuuttajakeskuksen pääpiirikaavio.

8 MITTAUKSET

Mittauksia asentaessa on noudatettava erityistä varovaisuutta jännitteisen keskuksen läheisyydessä työskenneltäessä.

8.1 Työturvallisuus mittauksien asennuksessa

Outokumpu Tornion tehtaille on luotu erilliset työohjeet jännitteisten osien läheisyydessä tai jännitetyöalueella työskentelyä varten (TToSä 011 Sallitut työskentelyetäisyydet sekä TToSä 012 Pelisäännöt jännitetöissä). Ohjeet on luotu SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus – standardin pohjalta.

SFS 6002 –standardin mukaan jännitetyö on työtä, jossa työn tekijä tarkoituksellisesti koskettaa jännitteistä osaa tai ulottuu jännitetyöalueelle joko kehonsa osilla tai käsiteltävillä työkaluilla, varusteilla tai laitteilla. Esimerkiksi mittauksia, jännitteen koettamisia, sulakkeen vaihtoa, releiden kuittausta jännitteisen osan läheisyydessä tai riviliittimen kiristystä ei pidetä standardissa tarkoitettuna jännitetyönä. (SFS-EN 6002 2005, 46.)

Tässä työssä jännitteen ja virran mittaus asennettiin jännitteiseen kojeistoon. Mittauksien kytkennän aikana kaikki paljaat jännitteiset osat olivat koteloinnilla kosketussuojattu eikä jännitteisen osan koskettamisvaaraa ollut. Kojeston suuren 630A etusulakkeen takia mittauksien asennuksessa käytettiin silti jännitetöihin tarkoitettuja suojavälineitä, jännitetyöhanskoja, suojakypärää visiirillä sekä eristävää mattoa.

8.1.1 TToSä 011 Sallitut työskentelyetäisyydet

TToSä 011 – ohje määrittelee sallitut työskentelyetäisyydet, se jakaa työskentelyn kolmeen erilaiseen käytäntöön: työskentely jännitteettömänä, työskentely jännitteisten osien läheisyydessä ja jännitetyö. Jos työtä ei voida tehdä jännitteettömänä, niin työ täytyy suorittaa työskentely jännitteisten osien läheisyydessä -menetelmää tai jännitetyömenetelmää käyttäen. (Rantajarvi 2015,1.)

Ohjeessa määritellään etäisyydet jännitetyöalueelle sekä lähialueelle SFS6002-standardin liitteiden Y ja Z mukaan. ”Jännitetyöalue on paljasta jännitteistä osaa ympäröivä alue, jossa eristystaso ei ole ilman suojaustoimenpiteitä riittävä sähköisen vaaran torjumiseksi. Lähialue on rajoitettu tila, joka ympäröi jännitetyöaluetta.” (Rantajarvi 2015,1.)

8.1.2 TToSä 012 Pelisäännöt jännitetöissä

TToSä 012 Pelisäännöt jännitetöissä on ohje, jota noudatetaan Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaalla tehtaan oman henkilökunnan suorittamissa töissä. Outokumpu Stainless Oy:n tehtaalla henkilökunta ei saa tehdä jännitetöitä muualla kuin Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaalla laitteistoissa oman työnjohdon alaisina ilman tuotanto-osaston työstä vastaavan henkilön kirjallista lupaa. Jännitetyöt suoritetaan sähkötyöturvallisuusstandardin SFS-6002 kohdan 6.3 mukaisesti, jossa jännitetyöalueen etäisyydeksi on pienjännitteellä määritelty 20 cm. Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaalla voidaan noudattaa pienjännitteellä seuraavia jännitetyöalueen etäisyyksiä.

- 230/400 V DL = min. työskentelyetäisyys 5 cm.
- 500-690 V DL = min. työskentelyetäisyys 10 cm.

Kosketussuojaamattomissa keskuksissa pääpiirien osalta tulee noudattaa 20 cm:n etäisyyttä. (Pesola 2007, 1.)

TToSä 012 - ohjeen mukaan ennen jännitetöihin ryhtymistä on tarkistettava aina mm. seuraavat asiat:

- jännitetyön suorittamisen välttämättömyyden arviointi ja tarvittavien lupien tarkistus
- työryhmän koon määrittäminen
- ilmoittaminen työstä tuotannosta vastaaville henkilöille

- työvaiheittaisen ohjeen tarkastus

- tarvittavien sähköisten asettelujen muutosten tekeminen, esimerkiksi jälleenkytkentöjen ja automaattisten varasyöttöjen estäminen, releasettelujen muutokset ja mahdollisen valokaarisuojauksen käyttöön ottaminen

- varmistuminen niiden osien jännitteettömyydestä, joiden jännitteettömyyttä työmenetelmä edellyttää

- osien tekeminen jännitteettömäksi ja jännitteettömänä säilymisen varmistaminen

- tarvittavien varoituskilpien ja mekaanisten lukitusten asettaminen

- valokaarivaaran arviointi, kuten esimerkiksi, voiko ruuvien tai muiden esineiden irtoaminen tai työkalun lipsahtaminen aiheuttaa valokaaren, oikosulun todennäköinen voimakkuus

- rakenteiden arviointi, esimerkiksi työn kohteena olevien laitteiden hankala sijainti, laitteiden kiinnitys pulteilla tai muuten siten, että niiden irrottaminen on vaikeaa

- varmistautuminen siitä, että työkohde voidaan tarvittaessa tehdä nopeasti jännitteettömäksi ja arvioidaan mitä jännitteettömäksi tekeminen aiheuttaa tuotannolle. Mikäli tähän käytettävä kytkin ei ole samassa tilassa kuin työkohde, kytkimen luona tai ohjauspaikassa on oltava käyttöön opastettu henkilö, johon pidetään yhteyttä. Matkapuhelinta tai muuta puhelinta, joka voi olla varattu, ei voi käyttää tähän tarkoitukseen. Jännitteettömäksi tekemisen varmistautumista ei kuitenkaan vaadita töissä, joissa työkohdetta suojaavan ylivirtasuojan nimellisvirta on enintään 16 A

- jännitetyön suorittamisen aikana tehtävien kytkentämuutosten vaikutusten arviointi, esimerkiksi onko käytetty ketjutusta, onko lukituspiirejä, onko piirissä virtamuuntaja
- toimenpiteet, jotka tehdään työn suorittamisen jälkeen. Työkohteelle suoritetaan koestukset ja tarvittaessa käyttöönottotarkastus. Työkohteeseen saatetaan turvalliseen tilaan, poistetaan tilapäissuojukset, jännitetyössä tarvittavat varoituskilvet ja vastaavat. Työ valmistuttua siitä ilmoitetaan tuotannosta vastaaville henkilöille ja työstä vastaavalle henkilölle
- jos työ joudutaan keskeyttämään, saatetaan laitteisto turvalliseen tilaan ja ilmoitetaan keskeytyksestä käytöstä vastaavalle henkilölle ja työstä vastaavalle henkilölle. Arvioidaan mitä työn keskeyttäminen aiheuttaa laitteiston käytölle. (Pesola 2007, 2-3.)

8.2 Mittalaite Fluke 1735 Power Logger

Kuvassa 3 on Fluke 1735 kolmivaiheinen sähkönlaadun tiedonkeruulaite, joka soveltuu sähkönlaadun perusparametrien seurantaan. Mukana toimitettavien lenkivirtapihtien ja erilaisten mittapäiden ansiosta mittauskytkentöjen teko on helppoa.



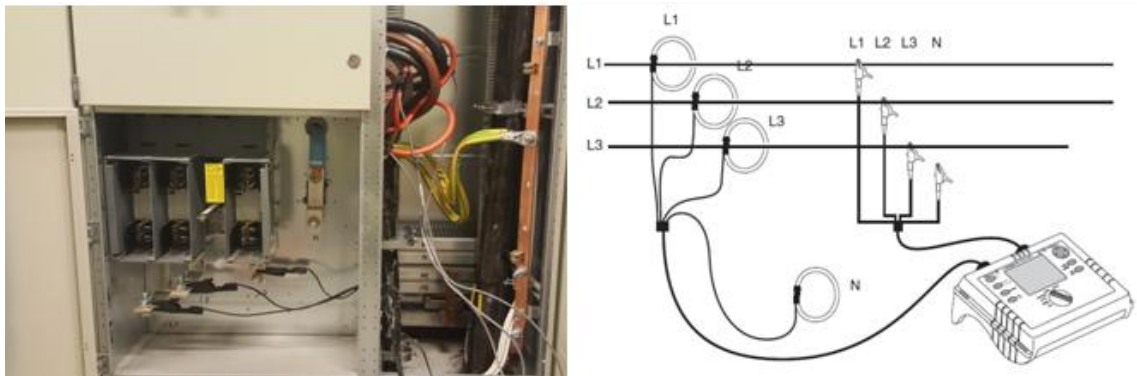
Kuva 3. Fluke 1735 – tiedonkeruulaite

Laitteella pystytään tallentamaan harmoniset yliaallot, yleisimmät sähkömittausten tehoparametrit sekä jännitehäiriöt, se sisältää mm seuraavat sovellukset:

- Kuormitustutkimukset
- Energiakulutusselvitykset
- Harmonisten yliaaltojen mittaus
- Jännitehäiriöiden tallennus.

8.3 Mittauskytkentä

Mittaukset suoritetaan taajuusmuuttajakeskuksia syöttävien pääkytkimien takaa. Mittauskytkennät tehdään jännitteeseen kojeistoon, jolloin pitää noudattaa erityistä varovaisuutta. Mittauskytkentää tehtäessä tulee noudattaa tehtaan omaa jännitetyöohjeistusta ja käyttää asiaan kuuluvia suojarusteita, joita ovat mm. jännitetyöhanskat, suojakypärä visiirillä ja eristysmatto. Jännitemittausleuat asennetaan varalähdön pääkytkimen taakse, mikä mahdollistaa jännitteettömän kytkennän jännitemittauksille. JVK2 mittauskytkentä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. K2109 mittauskytkentä

Fluken käyttöoppaassa huomautetaan, että sähköiskun vaaran välttämiseksi ennen virtalenkkien ja jännitemittauksen kytkemistä mitattavaan kohteeseen, on syytä kiinnittää mittajohtimet ensin mittariin kiinni. Virranmittauslenkit on merkitty kullekin vaiheelle A(L1), B(L2) sekä C(L3). Virtalenkkien asennuksessa

täytyy varmistaa, että kaikki lenkit asennetaan oikeaan suuntaan, eli tässä tapauksessa mittaussuunta kuormaan päin. Jännitemittauksessa käytettävät mittausleuat on myös numeroitu L1, L2 sekä L3. Mittausleuat tulee kiinnittää huolellisesti niin, että ne saavat kunnon kontaktin mitattavaan kohteeseen ja että ne myös pysyvät tiukasti kiinni koko mittausjakson ajan.

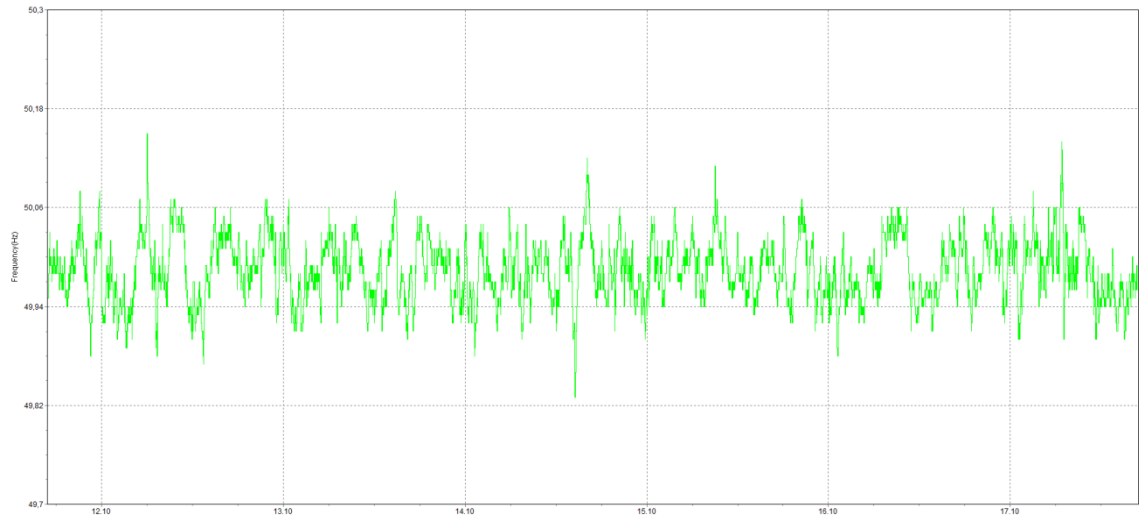
Mittariin asetellaan nimellisjännite ja taajuus sekä virtapihtien virta-alue. Koska mitattavat kohteet olivat riippuvaisia prosessin kulusta, mittarin logger-toimintoon aseteltiin 2 minuutin keskiarvot ja 6 vuorokauden mittausjakso. Pitkällä mittausjaksolla pyritään varmistamaan tulosten oikeellisuus ja paikkansapitävyys. Tehoa mitattiin eripituisina jaksoina useampana eri päivänä.

9 JVK1 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI

Mittauksia tarkasteltiin Fluke Powerlog Classic -ohjelmistolla. Alla on esitetty tulokset mittauksista.

9.1 Taajuus ja jännite

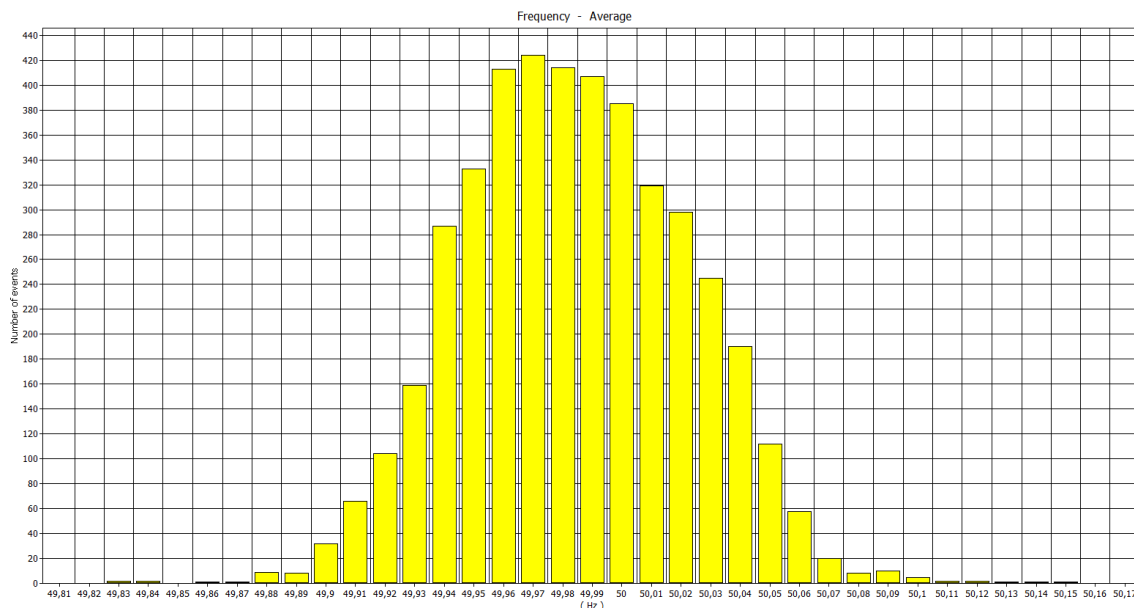
Kuviossa 8 on esitetty keskuksen K2033 taajuusvaihtelut mittausjakson aikana.



Kuvio 8. K2033 keskuksen taajuuden keskiarvo mittausaikana

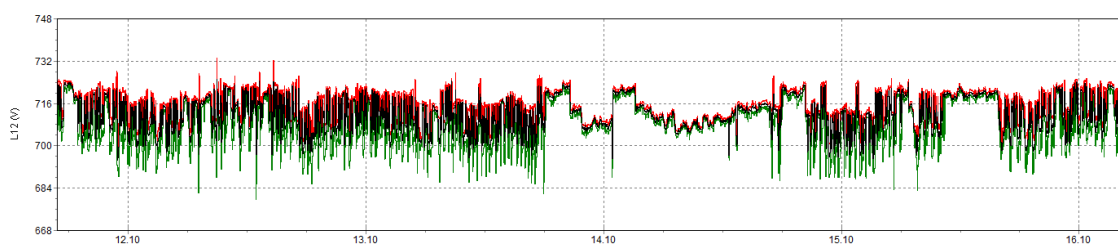
Mittausjakson aikana keskuksen K2033 taajuus vaihteli 49,56 Hz:n - 50,26 Hz:n välillä. Keskiarvo taajuudelle oli mittauksien aikana 49,98 Hz, joten suurista taajuusvaihteluista ei voida puhua, SFS-EN 50160 standardin määräykset toteutuvat.

Kuvio 9 kuvaa taajuuden keskiarvon hajontaa mittauksen aikana. Tuloksista huomataan, että suurimmat taajuuden vaihtelut tapahtuvat alle nimellistaajuuden mutta ero on niin pieni, ettei sillä ole mitään käytännön merkitystä.



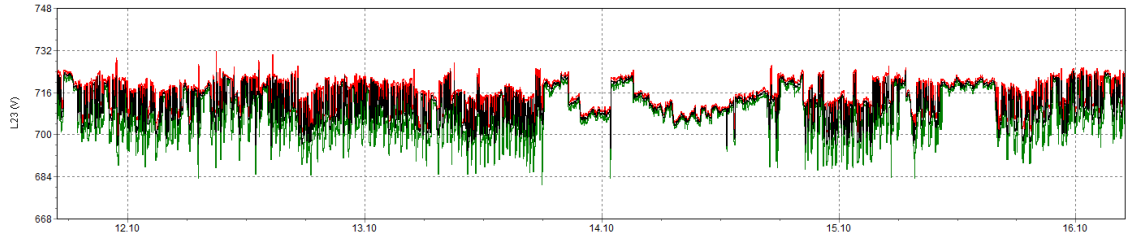
Kuvio 9. Taajuuden keskiarvon hajonta mittauksen aikana

Kuvioissa 10-12 taajuusmuuttajakeskuksen K2033 jännitevaihteluiden kuvaajat, keskuksen nimellijännite on 690 V. Kuvaajista erottuu selvästi ajanjakso, jolloin jännitteen vaihtelut ovat joka vaiheella huomattavasti pienemmät. Tuona aikana valut ovat olleet normaalisti käynnissä ja rullarata on ollut normaalisti toiminnassa. Syytä tähän ilmiöön ei ole toistaiseksi löydetty.



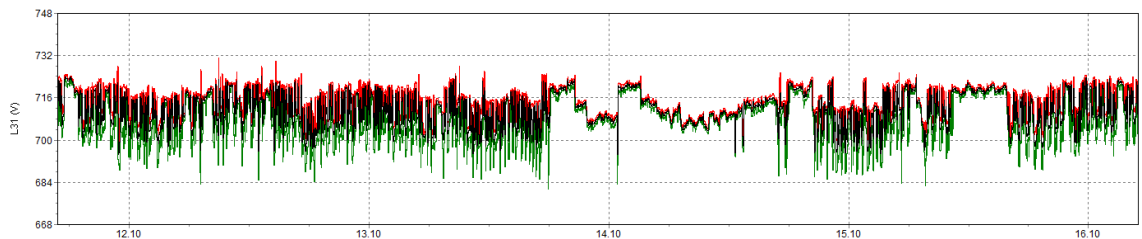
Kuvio 10. L12 jännitevaihtelut, max 733,84 V

Mittaustuloksien mukaan mittausaikana suurin jännite L1-L2-vaiheiden välillä oli 733,84 V, mikä tarkoittaa noin 6,4 %:n ylitystä nimellijännitteeseen. Pienin arvo mittausaikana oli 679,75 V, joka on noin -1,5 % nimellijännitteestä. 95 %:n keskiarvo mittausaikana on 721,8 V.



Kuvio 11. L23 jännitevaihtelut, max 732,34 V

L2-L3-vaiheiden välisen jännitteen maksimi oli mittausaikana 732,34 V, joka on +6,1 % nimellisjännitteestä. Jännitteen minimiarvo 679,83 V, on noin -1,5 % nimellisjännitteeseen verrattuna. 95 %:n keskiarvo mittausaikana on 721,6 V.



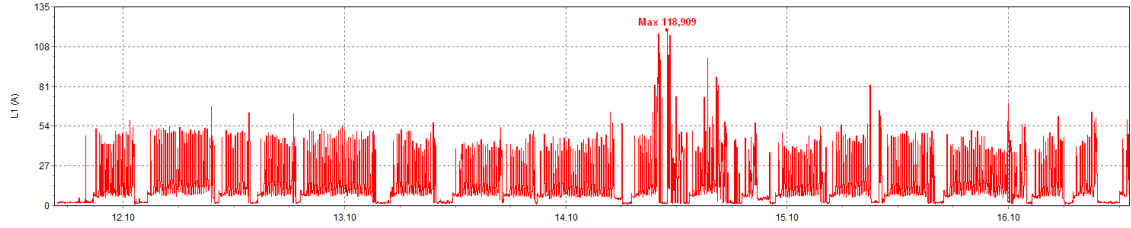
Kuvio 12. L31 jännitevaihtelut, max 732,03 V

L3-L1 välinen jännite vaihteli maksimiarvosta 732,03 V (+6 %) minimiarvoon 681,33 V (-1,3 %) kun 95 %:n keskiarvo oli 721,1 V.

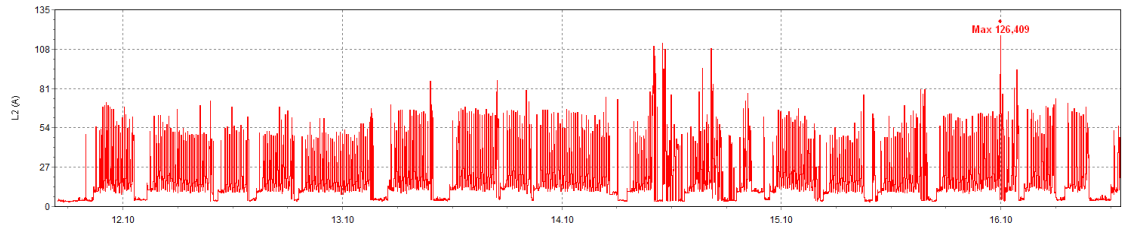
Jännitemittauksien perusteella voidaan todeta, että jännite täyttää taulukon 1 standardilaatuisen jännitteen rajat, eikä aiheuta toimenpiteitä. Jännitteessä ei näy kuoppia eikä suurempia ylijännitteitä.

9.2 Virta ja kuormitus

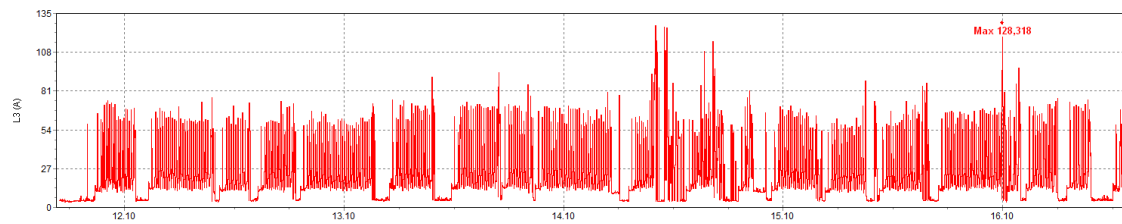
Keskuksen K2033 oikosulku- ja ylikuormitussuojana toimivat nimellisvirraltaan 630 ampeerin kahvasulakkeet. Rullaratakäytössä näin suurta kuormitusvirtaa ei todellisuudessa tule juuri ikinä, sillä kun teräsaihio tulee rullaradalle, ainoastaan muutaman rullan taajuusmuuttajat ottavat virtaa kerrallaan eikä taajuusmuuttajien ottama kuormitusvirta nouse aina nimellisarvoonsa. Kuvioissa 13–15 kuvaajat kunkin vaiheen kuormitusvirroista.



Kuvio 13. L1-vaiheen kuormitusvirta, max 118,9A



Kuvio 14. L2-vaiheen kuormitusvirta, max 126,4A



Kuvio 15. L3-vaiheen kuormitusvirta, max 128,3A

Kuvioista voimme todeta, että vaihevirrät ovat varsin tasaiset eikä suuria poikkeamia vaiheiden kesken voida havaita. Rullaradan maksimivaihevirrät mittaussjakson aikana vaihtelivat vaiheesta riippuen 118,9 ampeerin sekä 128,3 ampeerin välillä.

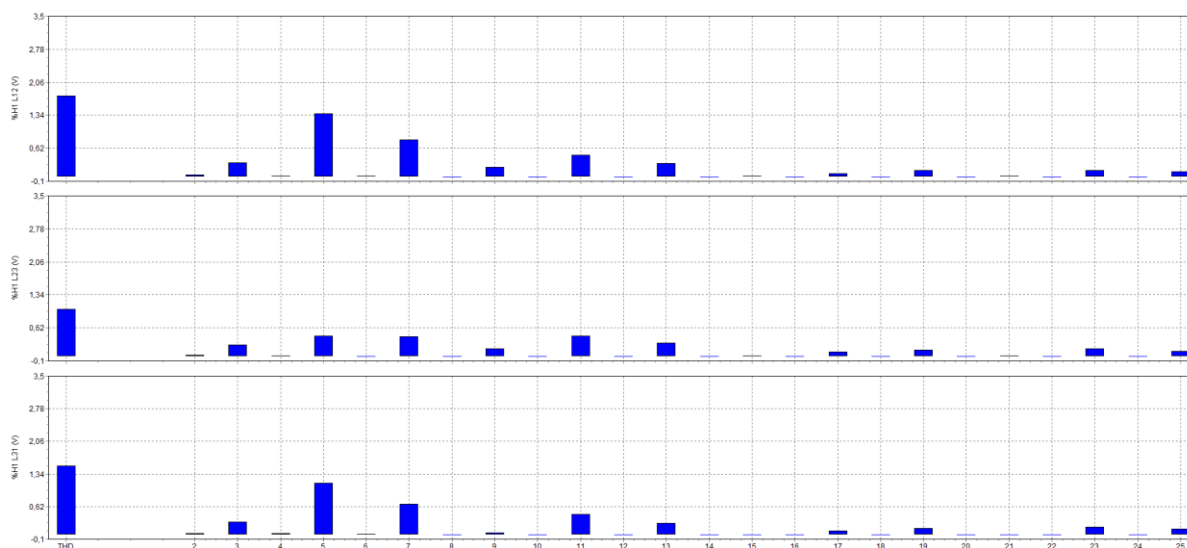
L1-vaiheen maksimivirta ajoittuu valun lopetusvaiheeseen, jolloin aihion päästä leikataan ylijäävä osa eli ns. lopetuspää pois. Lopetuspään leikkausvaiheessa rullarataa ajetaan käsin ja aihio liikkuu rullaradalla myös taaksepäin. Virtapiikki voi johtua siitä, että taakseajovaiheessa käyristynyt aihio on päässyt hakkaamaan rullarataa vasten, myös muiden vaiheiden virrat olivat tällä hetkellä selvästi normaalia suurempia.

Kuvioista 14 ja 15 nähdään myös toinen virtapiikki vaiheiden L2 ja L3 virtakäyrissä. Tämä piikki ajoittuu valun väliin, jolloin aloitusketjua ajetaan sisään valukoneeseen. Aloitusketju on mitä luultavimmin ahdistanut kaarelle

ajovaiheessa ja rullarata on kuormittunut ajon aikana normaalia enemmän ja tästä syystä kuormitusvirta on noussut. Syy, miksi vaiheen L1 kuormitusvirta ei ole yhtä suuri missään aloitusketjun ajovaiheessa, jäi toistaiseksi epäselväksi.

9.3 Yliaallot

Kuviossa 16 harmoniset yliaaltojännitteet 25. yliaaltoon asti sekä kokonaissärön THD (Total Harmonic Distortion) kuvaaja. Tarkastellessa tuloksia, huomataan, etteivät harmoniset yliaallot nouse häiritsevälle tasolle mittausjakson aikana. Suurimmat yliaaltojännitteet esiintyvät 5. ja 7. yliaaltotaajuudella, muiden yliaaltotaajuuksien arvot jäävät alle prosenttiin perustaajuuden jännitteestä.



Kuvio 16. Harmoniset yliaaltojännitteet prosentteina perustaajuisesta jännitteestä.

Taulukon 3 mukaan standardi SFS-EN 50160 määrittelee tyypillisesti suurimmille yliaalloille (3,5,7,11) hieman muita korkeammat raja-arvot. Tarkasteltaessa näitä yleisesti eniten esiintyviä yliaaltoja, huomataan, että myös nämä jäävät alle raja-arvojen.

Standardi määrittelee 3. yliaallolle suurimman raja-arvon 5 % perustaajuisesta jännitteestä. Mittaustulosten mukaan mittauksien aikana 3. yliaaltotaajuus vaihteli vaiheesta riippuen 0,484 %:n - 0,553 %:n välillä. Tulokset ovat selvästi alle standardin määräämän ylärajan.

5. yliaalto on selvästi erottuvin ja prosentuaalisesti suurin esiintyvä yliaalto, sen arvo vaihteli 1,00 %:n - 1,96 %:n välillä, jääden kuitenkin selvästi alle standardin 6 %:n ylärajan. Keskiarvollisesti 7. yliaaltoa esiintyi toiseksi eniten, se vaihteli välillä 1,00 %:n - 1,38 %:n, jääden helposti standardin määräämästä ylärajasta, joka on 5 %.

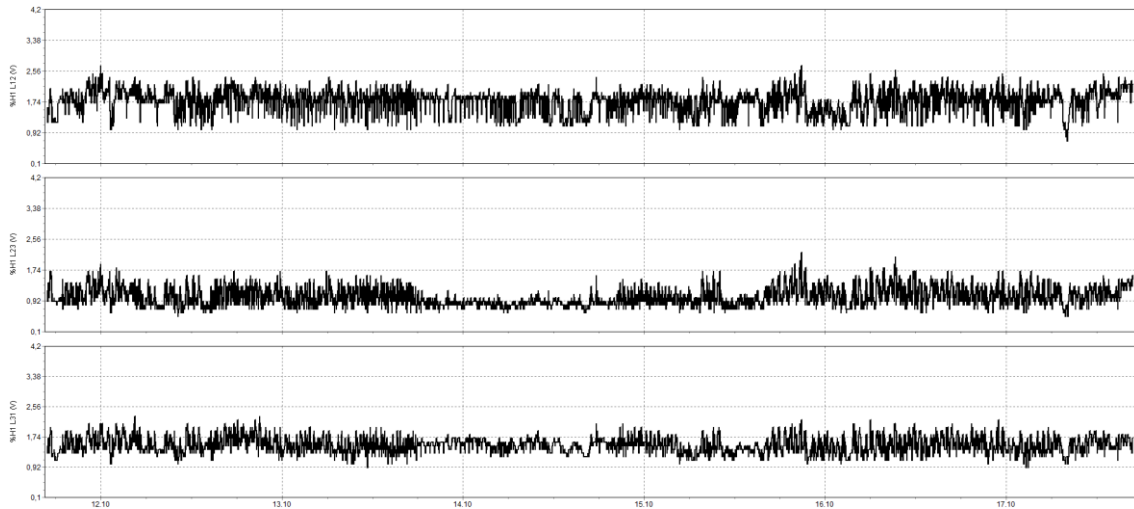
11. yliaallon maksimiarvot vaihtelivat 1,41 %:n - 1,53 %:n välillä, mutta myös sen vaikutukset jäävät vähäisiksi keskiarvon ollessa alle 0,5 %. Standardi määrittelee ylärajaksi 3,5 %, joten mittaustulos alittaa sen.

Mittaustuloksissa huomionarvoista on se, että L23-jännitteen yliaaltopitoisuudet olivat muita jännitteitä alemmalla tasolla. Erityisesti yleiset 5. ja 7. yliaalto olivat selvästi muita vaihejännitteitä alhaisemmat. Taulukossa 7 on esitetty K2033 keskuksen jänniteyliaallot raja-arvoineen 25. yliaaltoon asti.

Taulukko 7. Harmoniset yliaaltojen mittaustulokset

Harmonisten jänniteyliaaltojen tulokset		
Yliaalto	EN 50160 raja-arvo [%]	Havaittu max.arvo [%]
2.	2,00	0,17
3.	5,00	0,55
4.	1,00	0,29
5.	6,00	1,96
6.	0,50	0,43
7.	5,00	1,38
8.	0,50	0,14
9.	1,50	0,44
10.	0,50	0,14
11.	3,50	1,53
12.	0,50	0,12
13.	3,00	0,98
14.	0,50	0,14
15.	0,50	0,07
16.	0,50	0,14
17.	2,00	0,42
18.	0,50	0,13
19.	1,50	0,36
20.	0,50	0,15
21.	0,50	0,14
22.	0,50	0,14
23.	1,50	0,76
24.	0,50	0,14
25.	1,50	0,52
THD	8,00	2,70

Jännitteen kokonaissärö mittausjakson aikana vaihteli 2,2 %:n ja 2,7 %:n välillä. SFS-EN 50160 standardin mukaan standardilaatuisessa jännitteessä harmoninen kokonaissärö saa olla suurimmillaan 8 %. Mittaustulos täyttää hyvän laadun rajan, joka on THD ≤ 3 %. Kuviossa 17 harmonisen kokonaissärön kuvaaja.



Kuvio 17. Harmoninen kokonaissärö THD (prosentteina perustajaisesta jännitteestä)

Harmonisen kokonaissärön kuvaajasta huomataan sama toistuvuus ajanjaksolla 13.10 klo. ~18.00 – 14.10 klo. ~20.40, mitä pohdittiin myös jännitemittauksien kohdalla. L23 ja L31 –vaiheiden kokonaisjännitesärö on huomattavasti pienempi kuin L12 –jännitteellä.

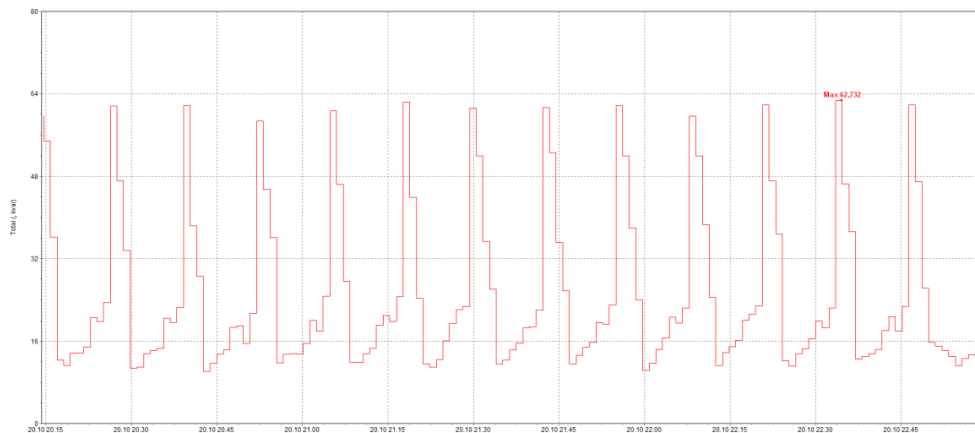
9.4 Teho

Kuten kuvion 18 kuvaajasta voimme todeta, keskuksessa K2033 loistehoa esiintyi suurimmillaan noin 60 kVar:n piikkeinä rullaradan ajon mukaan.



Kuvio 18. K2033 loistehon huippuarvon vaihtelut mittausjakson aikana

Suurin arvo mittausaikana on 75 kVar. Koko mittausjakson aikana loistehon keskiarvo vaihteli 2 kVar:n – 50 kVar:n välillä. Pätötehoa kuorma otti suurimmillaan 63 kW ja keskimäärin päteho vaihteli 1,5 kW:n – 36 kW:n välillä.



Kuvio 19. Loistehon esiintyminen ajon aikana

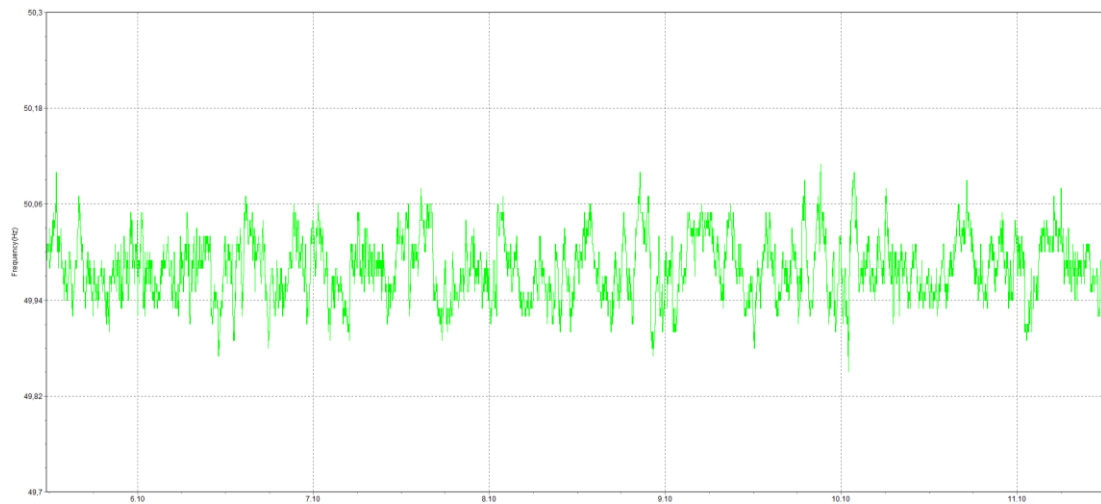
Rullaradan kuormitus vaihtelee paljon prosessin ajon mukaan ja se näkyy myös loistehon kulutuksessa. Kuviossa 19 loistehopiikkejä esiintyy noin kymmenen minuutin välein. Tämä vastaa aika hyvin prosessin kulkua, kun aihio liikkuu rullaradalla kuormittuvat moottorit jaksoittain sitä mukaa kun aihio etenee rullaradalla. Tasaista loistehokuormitusta keskuksella ei juuri esiinny. Kuvioista 18 voidaan todeta, että kun rullarataa ei ajeta, loistehon kulutus on suurimmillaan 4 kVar:n tasolla. Päteho on tällöin noin 2 kW.

10 JVK2 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI

Kuten on aiemmin todettu, JVK2:n taajuusmuuttajakeskus K2109 on hieman uudempi kuin JVK1:n vastaava. Alla on esitetty tulokset K2109 keskuksen mittauksista.

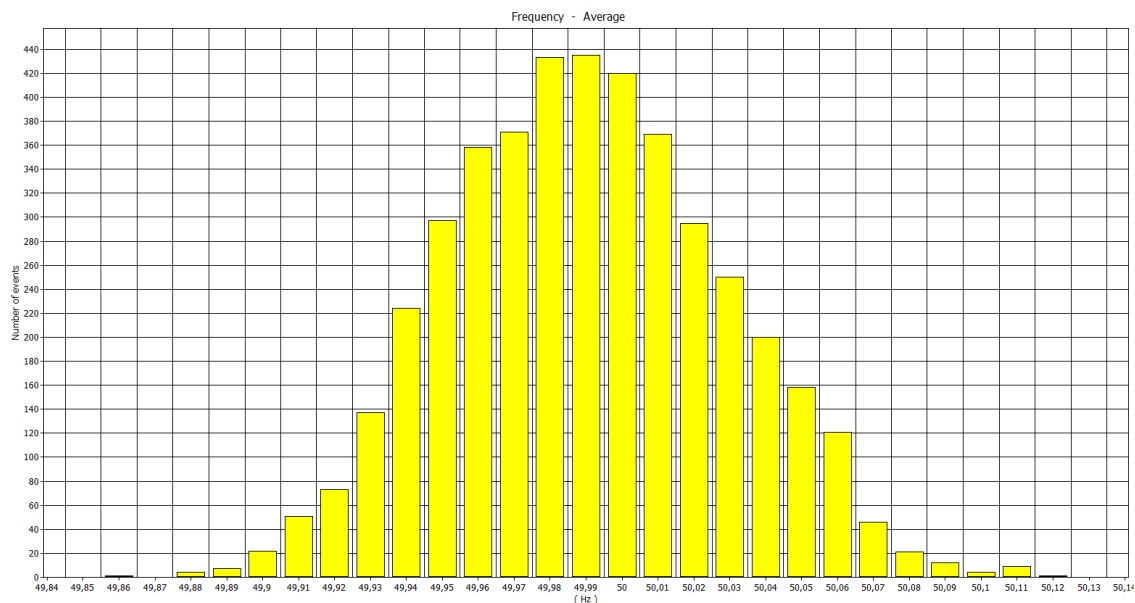
10.1 Taajuus ja jännite

Kuviossa 20 JVK2 keskuksen K2109 taajuusvaihtelut mittausjakson aikana.



Kuvio 20. K2109 keskuksen taajuuden keskiarvo mittausaikana

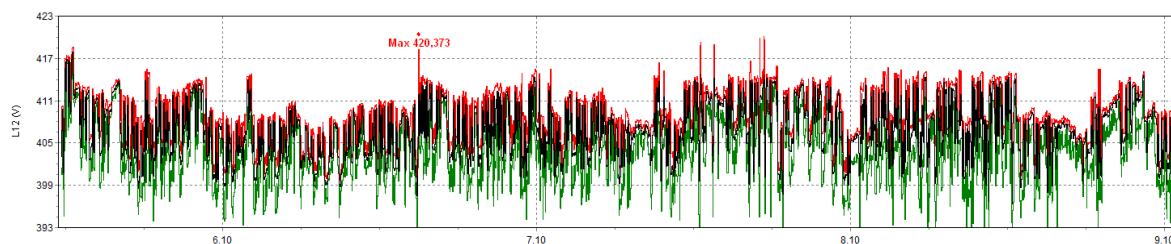
Mittauksen aikana jännitteen taajuus vaihteli välillä 49,62 Hz - 50,32 Hz. Keskiarvo mittausaikana oli 49,98 Hz eli se täyttää standardissa SFS-EN 50160 määritellyn rajan $50 \text{ Hz} \pm 1\%$. Kuviossa 21 on esitetty taajuuden keskiarvon hajonta mittausjakson aikana.



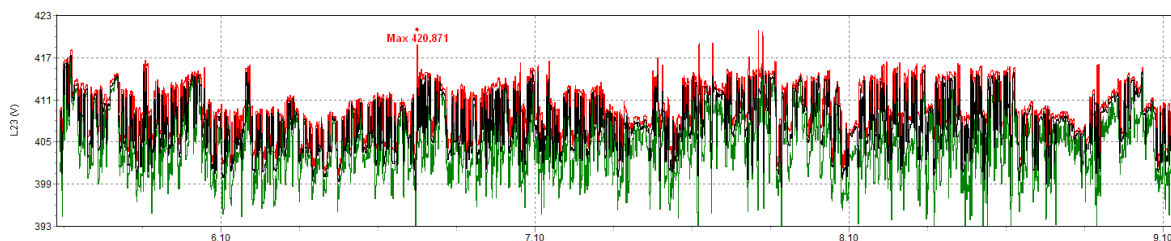
Kuvio 21. Taajuuden keskiarvon hajonta mittausjakson aikana

Tuloksia tarkasteltaessa huomataan, että taajuuden vaihtelut pysyttelivät hyvin lähellä nimellistaajuutta eikä suuria poikkeamia tai heiluntoja havaita.

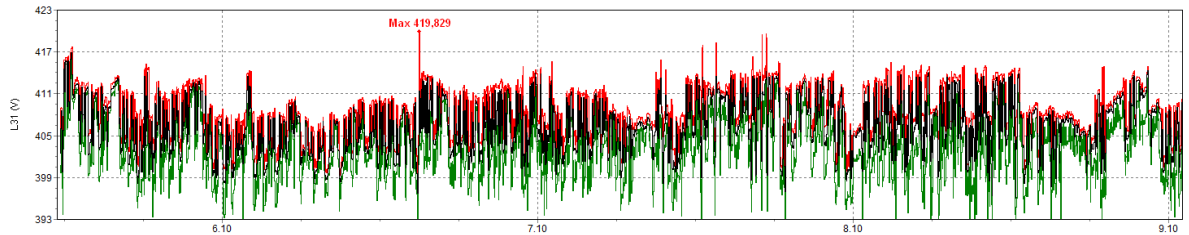
Kuvioiden 22-24 jännitemittauskäyristä voidaan tarkastella minimi- ja maksimiarvoja sekä 95 %:n keskiarvoa.



Kuvio 22. L12 jännitevaihtelu, max 420,37 V



Kuvio 23. L23 jännitevaihtelut, max 420,87 V



Kuvio 24. L31 jännitevaihtelut, max 419,83 V

Mittaustuloksien mukaan mittausaikana suurin jännite L1-L2-vaiheiden välillä oli 420,373 V, joka tarkoittaa noin 5,1 %:n ylitystä nimellisjännitteeseen. Pienin arvo mittausaikana oli 390,133 V, joka on noin -2,5 % nimellisjännitteestä. 95 %:n keskiarvo mittausaikana on 413 V.

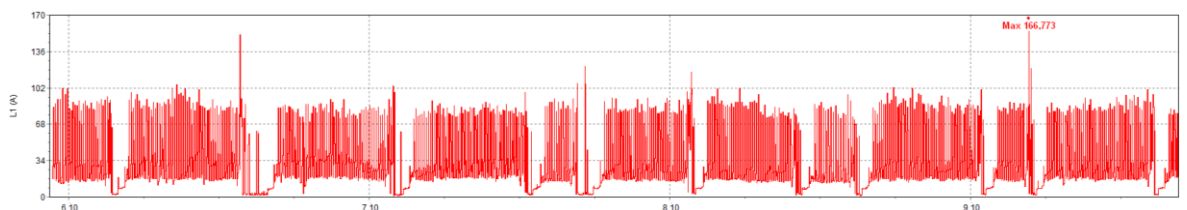
L2-L3-vaiheiden välisen jännitteen maksimi oli mittausaikana 420,871 V, joka on +5,2 % nimellisjännitteestä. Mittausajan minimi 390,857 V on noin -2,3 % nimellisjännitteeseen verrattuna. 95 %:n keskiarvo mittausaikana on 413,7 V.

L3-L1 välinen jännite vaihteli mittauksen aikana maksimiarvosta 419,829 V (+5 % nimellisestä) minimiarvoon 387,914 V (-3 %) kun 95 %:n keskiarvo oli 412,6 V.

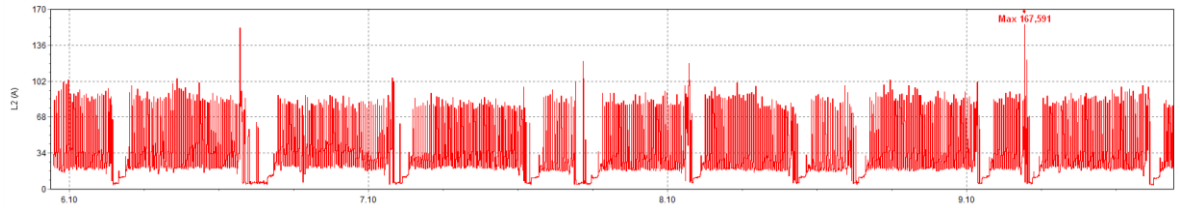
Taulukon 1 raja-arvoihin verrattaessa voidaan todeta, että jännitteet eivät aivan täytä hyvän jännitteen laatuksia. Jännitemaksimi on noin +5 % nimellisjännitteestä, rajan ollessa ± 4 %. Kaikki jännitteet ovat silti normaalilaatuisia ja standardin mukaisia, sillä ne pysyvät ± 10 %:n rajojen sisäpuolella.

10.2 Virta ja kuormitus

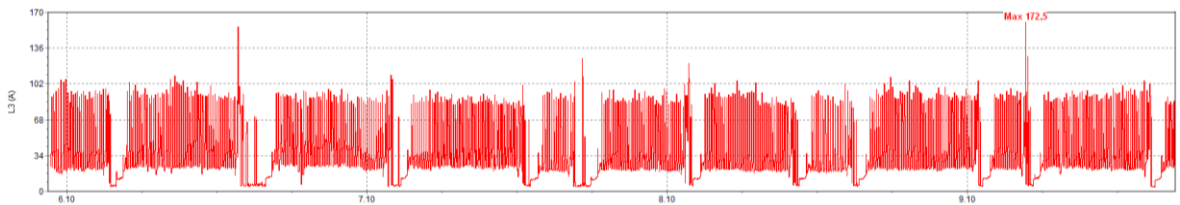
Kuvioiden 25-27 kuormitusvirroista voidaan todeta, että vaihevirrät ovat varsin tasaiset eikä suuria poikkeamia vaiheiden kesken voida havaita.



Kuvio 25. L1-vaiheen kuormitusvirta, max 166,77 A



Kuvio 26. L2-vaiheen kuormitusvirta, max 167,59 A



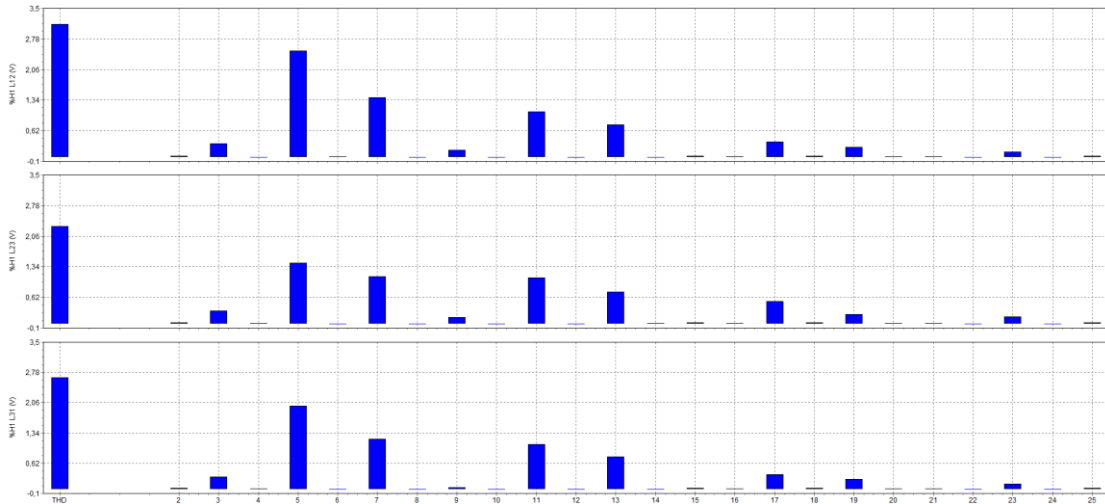
Kuvio 27. L3-vaiheen kuormitusvirta, max 172,50 A

Keskuksen oikosulkusuojana toimivat 630 ampeerin kahvasulakkeet, jotka mittaustulosten mukaan ovat varsin riittävät. Maksimivirta vaihteli 166,773 ampeerin ja 172,5 ampeerin välillä. Tasaisella kuormituksella rullarata otti virtaa noin 90 ampeeria.

Virran kuvaajista erottuu selvästi yli 160 ampeerin virtapiikit, jotka ajoittuvat valun lopetusvaiheeseen ja aiheista leikataan ns. lopetuspää. Lopetuspään leikkausvaiheessa rullarataa ajetaan käsin ja kaareutunut aihio voi aiheuttaa rullaradalle ylimääräistä kuormitusta. Vaikka virtapiikit ovat selvästi suuremmat kuin tasaisen kuormituksen ottama virta, rullarata on mitoitettu selvästi suuremmille virroille, joten tästä ei aiheudu haittaa.

10.3 Yliaallot

Kuviossa 28 on kuvaaja harmonisten yliaaltojännitteiden keskiarvoista prosentteina perustaajuisesta jännitteestä. Tarkasteltaessa kuvaajaa näemme, että suurimmat yliaaltojännitteet esiintyvät 5., 7., 11. ja 13. yliaaltotaajuuksilla, muut yliaaltovaikutukset jäivät vähäisiksi.



Kuvio 28. Harmoniset yliaaltojännitteet prosentteina perustaajuisesta jännitteestä

Suurimmillaan 3. yliaalto vaihteli vaiheesta riippuen 0,49 %:n – 0,54 %:n välillä. Mittaustulokset jäivät selvästi alle standardin määräämän 5 %:n arvon.

5. yliaalto oli mittauksissa selvästi suurin, sen arvo vaihteli vaiheesta riippuen 1,97 %:n – 2,85 %:n välillä jääden kuitenkin alle standardin määrittelemän 6 %:n raja-arvon.

Keskimäärin 7. yliaaltoa esiintyi toiseksi eniten, sen huippuarvo vaihteli 1,376 %:n - 1,67 %:n välillä, standardin raja-arvo 7. yliaallolle on 5 %.

11. yliaallon huippuarvot nousivat 2,11 %:n - 2,3 %:n tasolle mutta keskiarvo mittausaikana oli noin 1 %, mittaustulos on alle standardin asettaman 3,5 %:n rajan.

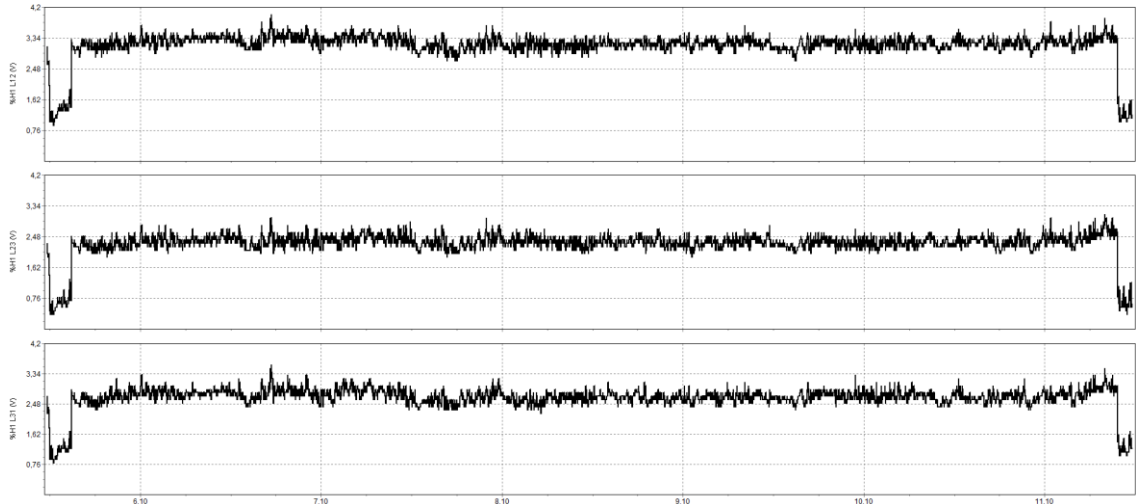
Yliaaltomittausten perusteella verkon harmoniset yliaallot eivät nouse niin suuriksi, että ne aiheuttaisivat erityisiä toimenpiteitä.

Taulukossa 8 on esitetty K2019 keskuksen jänniteyliaallot raja-arvoineen 25. yliaaltoon asti.

Taulukko 8. Harmoniset jänniteylijäälöt raja-arvoineen K2109

Harmonisten jänniteylijäälöjen tulokset		
Ylijäälto	EN 50160 raja-arvo [%]	Havaittu max.arvo [%]
2.	2,00	0,15
3.	5,00	0,54
4.	1,00	0,25
5.	6,00	2,85
6.	0,50	0,42
7.	5,00	1,67
8.	0,50	0,09
9.	1,50	0,38
10.	0,50	0,09
11.	3,50	2,23
12.	0,50	0,09
13.	3,00	1,21
14.	0,50	0,04
15.	0,50	0,11
16.	0,50	0,03
17.	2,00	1,00
18.	0,50	0,07
19.	1,50	0,54
20.	0,50	0,04
21.	0,50	0,05
22.	0,50	0,01
23.	1,50	0,48
24.	0,50	0,00
25.	1,50	0,18
THD	8,00	4,00

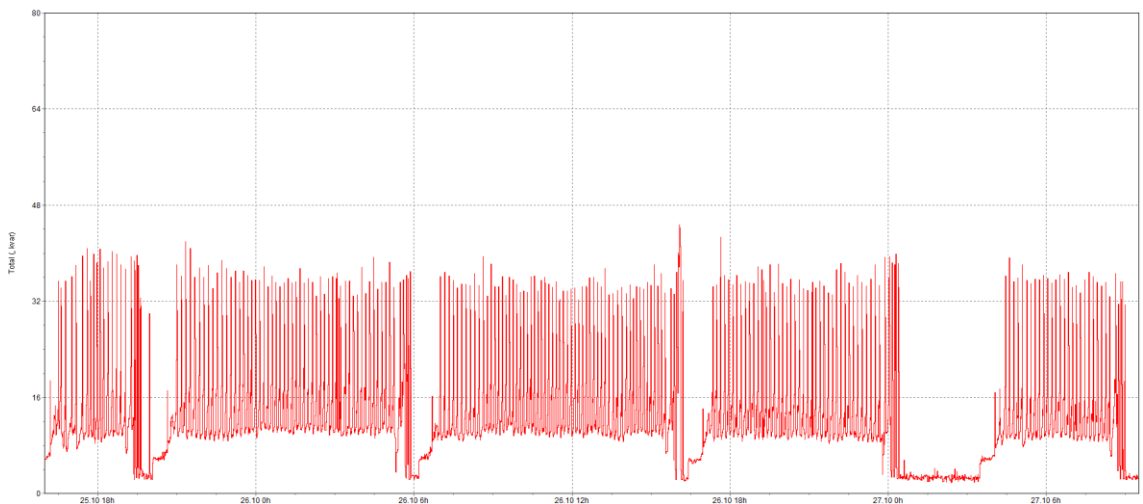
Jännitteiden harmoninen kokonaissärö THD vaihteli mittausjakson aikana 3,1 %:n - 4 %:n välillä. SFS-EN 50160 standardi määrittelee kokonaissärölle raja-arvoksi ≤ 8 %, mittaustulokset täyttävät siis standardin määräyksen. Kuviossa 29 jännitteen kokonaissärökuvaaja.



Kuvio 29. Jännitteen kokonaissärön keskiarvo mittausjakson aikana (prosentteina perustaajuisesta jännitteestä)

10.4 Teho

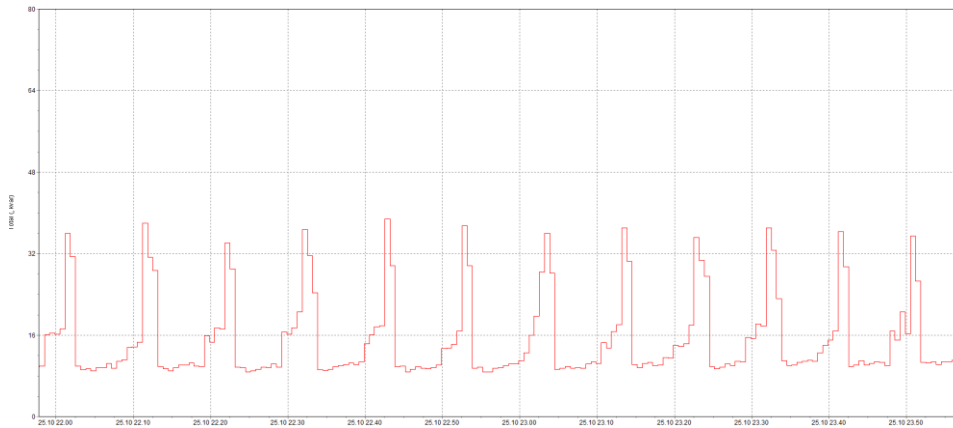
Kuviossa 30 on kuvaaja loistehon huippuarvoista K2109 – keskuksessa.



Kuvio 30. K2109 loistehon huippuarvon vaihtelut mittausjakson aikana

Suurin arvo mittausaikana noin 45 kVar. Mittausjakson aikana loistehon keskiarvo vaihteli 1,5 kVar:n – 30 kVar:n välillä. Pätöteho oli suurimmillaan 69 kW ja keskimäärin pättötehoa kulutettiin noin 1 kW:n – 37 kW:n välillä.

Jos tarkastellaan kuvion 31 kuvaajasta loistehon esiintymistä ajon aikana, huomataan, että loisteho esiintyy noin 36 kVar:n piikkeinä rullaradan ajon mukaan.



Kuvio 31. Loistehon esiintyminen rullaradan ajon aikana

Loistehopiikkejä esiintyy rullaradan ajon mukaan noin 10 minuutin välein. Loistehopiikit tulevat tasaisin väliajoin ja ne ovat yhtä suuria keskenään. Tämän kaltainen loistehon esiintyminen oli odotettavissa rullaradan ajosta johtuen. Kun rullarataa ei ajeta, loistehon kulutus pysyttelee noin 3 kVar:n tasossa ja pätötehoa kulutetaan noin 1 kW – 2 kW.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET TULOXSISTA

Molemmissa mittauksen kohteena olevassa taajuusmuuttajakeskuksessa esiintyi verkon häiriöitä mutta standardin raja-arvoihin verrattaessa häiriöt olivat varsin pieniä. 1-linjalla yliaaltojen esiintyminen oli hieman vähäisempää kuin 2-linjalla.

Kolmivaihekuormien aiheuttamia parittomia 5. ja 7. yliaaltoa esiintyi mittaustuloksissa odotetusti eniten. Koska keskuksen perässä oli pelkkää 3-vaihe kuormaa, ei yksivaihekuormien aiheuttamaa 3. yliaaltoa ja sen kerrannaisia esiintynyt juuri lainkaan.

Vaikka kokonaissärö pysytteli standardin määräämissä rajoissa, on huomattava, että jo ≥ 3 % kokonaissärö saattaa aiheuttaa verkossa ongelmia. K2109 – keskuksessa suurin kokonaissärö mitattiin 4 %, joten sen suodattamista olisi syytä harkita. K2033- keskuksen kokonaissärö pysytteli alle 3 %:n.

Loistehoa kulutettiin molemmissa taajuusmuuttajakeskuksissa huomattavasti eikä kummankaan keskuksen loistehoa kompensoitu millään tavalla. Loistehoa kulutettiin 1-linjalla selvästi enemmän kuin 2-linjalla, vaikka pätötehot olivat lähes samat. Erona taajuusmuuttajakeskuksissa on nimellisjännite, 1-linjan keskus on nimellisjännitteeltään 690V kun 2-linjan nimellisjännite on 400V. 2-linjan keskus on myös 4 vuotta 1-linjan keskusta uudempi.

Vaikka loistehon kulutusta esiintyi molemmissa keskuksissa, kompensointilaitteiston asennus ei mielestäni ole näiden mittausten perusteella vielä järkevää. Keskukset ovat nykyaikaisia ja mitoitettu selvästi suuremmiksi mitä niiden nykyinen käyttö vaatii. Myöskään sähköverkon häiriöistä johtuvia virhetoimintoja tai muita häiriöitä ei ole havaittu.

Jos keskuksiin päätetään asentaa kompensoinnit, niiden toteutusta suunniteltaessa olisi syytä huomioida myös pääkeskuksien muu kuorma ja sijoittaa kompensointilaitteistot taajuusmuuttajakeskuksia syöttäviin keskuksiin.

Tällä tavoin koko pääkeskuksen kuluttama loisteho ja yliaallot saataisiin kompensoitua keskitetysti. Kompensointilaitteistot voidaan asentaa sähkötiloihin lähelle pääkeskuksia. Molemmista pääkeskuksista löytyy vapaa keskuslähtö kompensointilaitteiston asennukselle.

Keskitetty kompensointi vaatii uudet mittaukset, jotta molempien pääkeskusten kokonaisloistehon kulutus saadaan selville. Loistehon kulutus on prosessin mukaan vaihtelevaa, joten kompensointi olisi syytä toteuttaa aktiivisella kompensoinnilla, esimerkiksi automaattisella estokelaparistolla. Estokelaparistolla voidaan myös suodattaa molemmissa keskuksessa esiintyvät 5. ja 7. yliaaltotaajuudet ja näin laskea kokonaissäröä. Estokelaparistoja valmistaa useat eri valmistajat (esim. Norelco, Falico, ABB).

12 POHDINTA

Työssä tutkittiin sähkön laatua jaloterässulatolla. Mittauksia saatiin suoritettua useampana eri päivänä eri keskuksista, jotta vertailua keskusten kesken voitiin tehdä. Mittauksien perusteella useita taajuusmuuttajia sisältävät keskukset aiheuttavat häiriöitä sähköverkkoon, aivan kuten ennalta oli ajateltukin. Nykyaikaisessa teollisuuslaitoksessa taajuusmuuttajien käyttö on kasvanut ja tulee myös kasvamaan tulevaisuudessa, joten häiriöiden synty ja olemassa olo on syytä tiedostaa jotta niihin voidaan tarpeen tullen reagoida. Eri laatuisten häiriöiden poistamiseksi on olemassa valmiita ratkaisuja mutta oikean menetelmän varmistaminen vaatii mittauksia sähkölaitteistoissa ja paneutumista asiaan.

Tässä työssä haasteena oli sovittaa mittausaikataulut tuotannon kanssa yhteen niin, että saataisiin mahdollisimman totuudenmukainen kuva sähköverkon tilasta. Opinnäytetyötä tehdessä sain paljon uutta tietoa sähköverkkojen häiriöistä ja niiden aiheuttajista kuten myös niiden kompensoinnista. Tämä on hyvää ja arvokasta tietoa tulevaisuutta ajatellen, sillä sähköverkkojen häiriöt tulevat jatkossa vain lisääntymään koska teknologian kehittyessä kuluttajille markkinoidaan entistä enemmän häiriöitä aiheuttavia laitteita.

Mahdollinen jatkoprojekti tälle työlle voisi olla kompensointilaitteistoiden käytännön toteutuksen suunnittelu.

LÄHTEET

ABB Oy TTT-käsikirja 2000. Luku 4: Sähkön laatu. Viitattu 14.10.2016
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf

ABB Oy TTT-käsikirja 2000. Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus.
Viitattu 14.10.2016
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf

SFS-EN 50160 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön
jänniteominaisuudet. 4. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry

Viitala, J. 2006. ST-kortti 52.51.03 Sähkön laatu. Harmoniset yliaallot. Espoo:
Sähkötieto Ry.

Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014.
Energiateollisuus Ry.

Männistö, M., Hietalahti, L., Seesvuori, R., Seesvuori, V. & Wilén, T. 2006.
Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Rantajärvi, H. 2015. Sähköturvallisuusohje TToSÄ 011. Sallitut
työskentelyetäisyydet. Tornio: Outokumpu Oyj.

Pesola, S. 2007. Sähköturvallisuusohje TToSÄ 012. Pelisäännöt jännitetöissä.
Tornio: Outokumpu Oyj

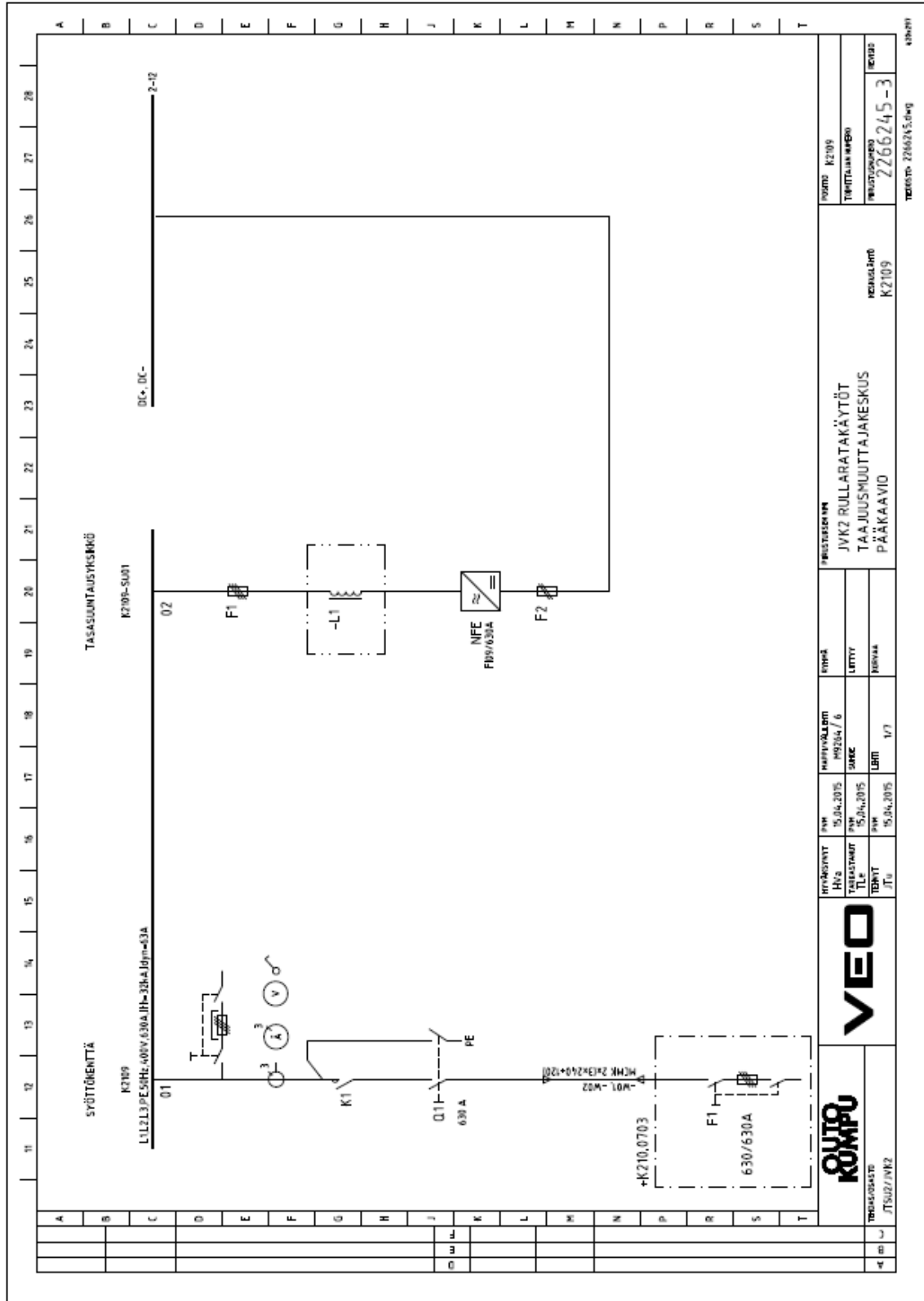
Vacon NX -tuotteet Common Dc Bus –järjestelmille 2016. Viitattu 6.10.2016
<http://www.vem.fi/userData/vem/downloads/vacon/tuoteluettelot/FI-Vacon-NX-Products-for-Common-DC-Bus-Systems-Brochu.pdf>

Korpinen, L. & Mikkola, M. & Keikko, T. & Falck, E. 2008. Yliaalto-opus. Viitattu
17.10.2016. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>

LIITTEET

- Liite 1. JVK1 Rullaratakäytöt taajuusmuuttajakeskus pääkaavio
- Liite 2. JVK2 Rullaratakäytöt taajuusmuuttajakeskus pääkaavio

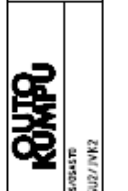
Liite 2



NUMERO	K2109
TYYPILUOKAUS	
VALMISTUSMÄÄRÄ	2266245-3
REVISIO	
VERSIOT	2266245-3

YHTIÖN NIMI
**JVK2 RULLARATAKÄYTTÖ
 TAAJUUSMUUTTAJAKESKUS
 PÄÄKAAVIO**

MITÄÄNTYYPPI	F1
MITÄÄNTYYPPI	F2
MITÄÄNTYYPPI	F3
MITÄÄNTYYPPI	F4
MITÄÄNTYYPPI	F5
MITÄÄNTYYPPI	F6
MITÄÄNTYYPPI	F7
MITÄÄNTYYPPI	F8
MITÄÄNTYYPPI	F9
MITÄÄNTYYPPI	F10



TEKIJÄ	JT5027/JVK2
--------	-------------