

Alexi Anttonen

Tehdasalueen sähkönlaadulliset mittaukset ja analysointi

Opinnäytetyö
Sähkötekniikka


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 8.5.2015
Tekijä(t) Aleksi Anttonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka
Nimeke Tehdasalueen sähkönlaadulliset mittaukset ja analysointi	
Tiivistelmä Opinnäytetyöni tarkoitus oli mitata ja analysoida tehdasalueen sähkönlaatua Valtra Oy Ab:n tiloissa Suolahdessa. Työssäni käsittelin verkossa esiintyviä yliaaltoja, epäsymmetristä kuormitusta, loistehokerrointa sekä jännitteen amplitudin vaihtelua eri käytön aikoina. Mittauksia tehtiin yhteensä kahdeksantoista kappaletta ympäri tehdasaluetta. Mittaukset suoritettiin verkkoanalysaattorilla. Jokainen mittaus kustakin keskuksista kesti vuorokauden ajan, jotta voitiin tarkastella sähkön laatua eri vuorokauden aikoina. Sähkön laatu tehdasalueella oli pääosin erittäin hyvää lukuun ottamatta lieviä vinokuormituksia muutamassa jakelukiskostossa. Vinokuormituksista huolimatta sähköverkossa ei ollut havaittavissa tyypillisiä vinokuormituksen aiheuttamia häiriöitä sähkön laadussa. Mikäli jatkossa näihin vinokuormitettuihin keskuksiin lisätään yksivaiheisia kuormia, suosittelen lisäämään kyseiset kuormitukset vaiheille joissa on vähiten kuormitusta. Tämä estää sähkön laadun heikkenemistä sähköverkossa.	
Asiasanat (avainsanat) Yliaallot, epäsymmetrinen kuormitus, loisteho, jännitteen vaihtelu, verkkoanalysaattori.	
Sivumäärä 26 + 35	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Juha Korpijärvi	Opinnäytetyön toimeksiantaja Valtra Oy Ab

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 8.5.2015
Author(s) Aleksi Anttonen	Degreeprogramme and option Electrical engineering
Name of the bachelor's thesis Electrical quality measurements and analysis from factory area	
Abstract The purpose of my thesis was to measure and analyse the quality of electricity in a factory area owned by Valtra Oy Ab. In my thesis I observed following power quality parameters: harmonics, asymmetrical loads, reactive power and fluctuation of voltage during different levels of utilization. Eighteen measurements took place around the factory area, in which a network analyzer was used. Each measurement lasted for a whole day, so that power quality could be observed in different periods of the day. The quality of electricity in the factory area was very good although there were few slightly asymmetrical loads found in some of the switchboards. Even though there were asymmetrical loads, the quality of electricity was not harmed by the usual effects of the asymmetric load. If single-phased loads are added to these switchboards, I recommend that they will be added to the phase which is the least loaded. This will prevent the quality of electricity from declining.	
Subjectheadings, (keywords) Harmonics, asymmetrical load, reactive power, fluctuation of voltage, network analyzer	
Pages 26 + 35	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Juha Korpijärvi	Bachelor's thesis assigned by Valtra Oy Ab

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SÄHKÖNLAADUN TEORIAA.....	1
2.1	Yliaallot	2
2.1.1	Yliaaltojen lähteet	5
2.1.2	Yliaaltojen haitat yleisellä tasolla	5
2.1.3	Erityisesti kolmannen yliaallon aiheuttamat haitat	6
2.1.4	Mittausten vääristymät	6
2.1.5	Muuntajiin kohdistuvat haitat	6
2.1.6	Moottoreihin kohdistuvat haitat.....	7
2.1.7	Resonanssit	8
2.1.8	Yliaaltojen aiheuttama tasakomponentti	9
2.1.9	Yliaaltojen vaikutukset katkaisijoissa	9
2.1.10	Yliaaltojen suodattaminen	9
2.2	Epäsymmetrinen kuormitus	13
2.3	Loisteho	14
2.4	Jännitteen amplitudin vaihtelu	15
3	MITTAUKSEN SUORITTAMINEN	16
3.1	Mittauslaitteisto.....	16
3.2	Mittauskohde	17
3.3	Kohdatut ongelmat	18
4	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	18
4.1	K6 vinokuormitus	20
4.2	K1 vinokuormitus	21
4.3	PK10D tehokerroin	22
4.4	PK30G vinokuormitus.....	22
4.5	PK9E jännitteen amplitudi.....	22
4.6	PK30G Keskus vinokuormitus	23
5	POHDINTA	24
	LÄHTEET	25

LIITTEET

- 1 Mittauspöytäkirja
- 2 Tuloksien analysoinnit

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää tehdasalueella sijaitsevien sähkölaitteiden tuottamaa häiriötä sähköverkkoon sekä antaa toimeksiantajalle parannusehdotuksia, mikäli ne ovat tarpeen. Työn toimeksiantajana oli Valtra Oy Ab. Valtra Oy on Aggocorpin omistama maailmanlaajuinen brändi, joka valmistaa traktoreita sekä niiden lisätarvikkeita ja varaosia.

Mittaus suoritettiin Valtra Oy:n tehdasalueella Suolahdessa. Alueella on noin kolme hehtaaria hallipinta-alaa. Sähkönjakelu on hoidettu viidellä kappaleella muuntamoita, jotka sijaitsevat ympäri tehdasaluetta.

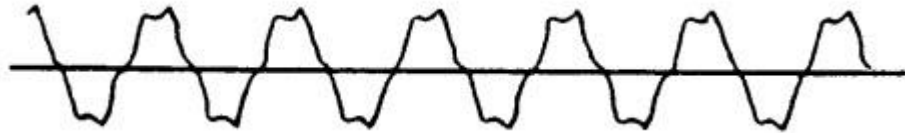
Sähkönlaadun mittaukset tulivat kattamaan seuraavat parametrit: harmoniset yliaallot, jännitteen kokonaissärö, eri vaiheiden vinokuormitus, jännitteen amplitudin vaihtelu eri vuorokauden sekä eri käytön aikoina, sekä tehokerroin. Mittaukset otettiin yhteensä kahdeksastatoista pienjännitteen jakelukiskostosta erikseen, kustakin kiskostosta vuorokauden yhtäjaksoinen mittaus. Arvot tallennettiin viiden minuutin välein. Kohteeseen ei ole tehty samanlaista sähkönlaadullista mittausta vähään aikaan, ja tiloihin on tehty muutoksia sekä lisäyksiä edellisten sähkönlaadullisten tutkimusten jälkeen.

2 SÄHKÖNLAADUN TEORIAA

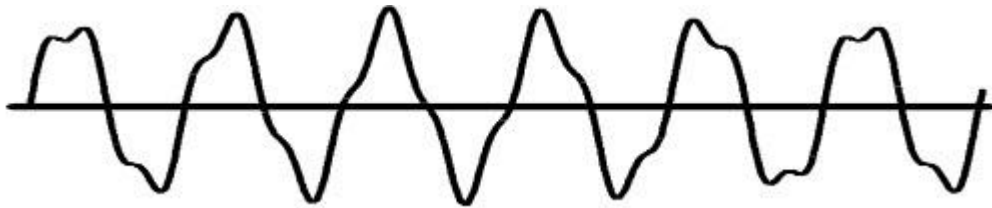
Nykyaikaiset sähkölaitteet ovat suunniteltu niin, että ne toimivat sinimuotoisella jännitteellä. Yhä useampi näistä laitteista vaatii myös virheetöntä jännitettä toimiakseen oikein. Sähkön käyttö on lisääntynyt, ja sen myötä käyttöön on tullut paljon laitteita, jotka vaikuttavat sähköverkon sähkön laatuun alentavasti. Sähkön laatuun vaikuttavat taajuus, jännitteen taso, hitaat ja nopeat jännitteen vaihtelut, jännitepiikit, yliaallot, kolmivaihejärjestelmän epäsymmetria, tasajännitekomponentti, keskeytykset sekä käyttöoikeuden rajoitukset. /1, s. 3./

2.1 Yliaallot

Kaikki vaihtovirralla toimivat sähkölaitteet ovat suunniteltu ja mitoitettu käytettäväksi jännitteellä, jonka siniaalto on puhdas ja tasainen. Nykyään tällainen käyrä on verkoissa kuitenkin erittäin epätavallinen. Siniaallon vääristymiä aiheuttavat yliaallot. Nämä vääristymät aiheuttavat rasituksia ja häiriöitä verkkoon kytketyille laitteille.



KUVA 1. Kuva säröytyneestä jännitteestä. Särö on aiheutunut harmonisista yliaalloista /12/



KUVA 2. Kuva säröytyneestä jännitteestä. Särö on aiheutunut epäharmonisista yliaalloista /12/

Verkossa olevat yliaallot syntyvät siihen kytketyistä epälinearisista kuormituksista, jotka aiheuttavat yliaaltojännitteitä. Yliaaltojännitteet aiheuttavat verkkoon yliaaltojännitteen kanssa samantaajuisia yliaaltovirtoja. Syntyneen yliaaltovirran suuruus riippuu kuormituksesta sekä verkon impedanssista kyseessä olevalla taajuudella. Jännitesärö sekä yliaaltovirta ovat molemmat riippuvaisia kuormituksesta. /2, s.2./

Harmonisia eli 50 hz monikertoimella olevia yliaaltoja kutsutaan harmonisiksi yliaaltovirroiksi. Esimerkiksi kolmas yliaalto on taajuudeltaan 150 hz, viides yliaalto 250 hz ja niin eteenpäin. Yliaaltoja on myös parillisia, epäharmonisia sekä aliharmonisia, joiden määrät ovat yleensä erittäin pieniä. /3. s.1./

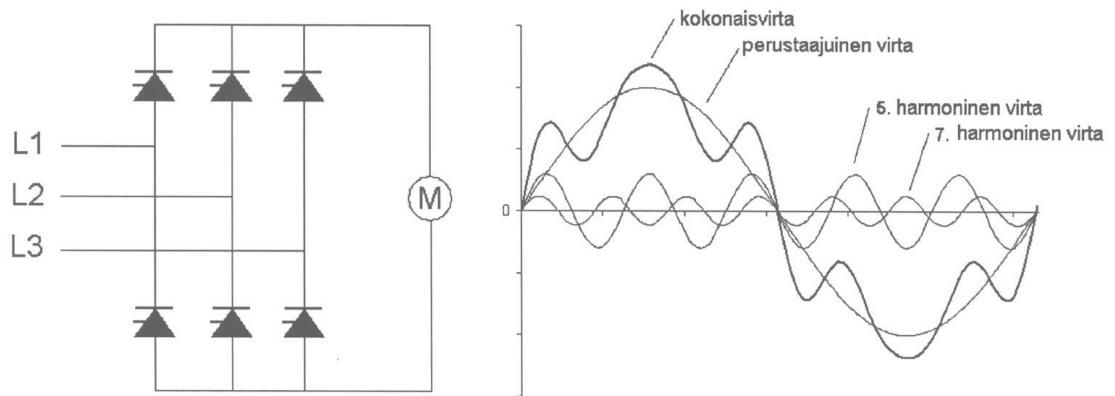
Yliaallot jaetaan myös eri komponentteihin ominaisuuksiensa (järjestysnumeronsa) perusteella. Saadusta komponenttiluokasta nähdään yliaallon vaiheosoittimen pyörimissuunta perustaaajuuteen nähden. Yliaaltokomponentit jaetaan kolmeen eri komponenttiin: positiiviseen, negatiiviseen ja nollakomponenttiin. Komponenttijako selviää alla olevasta taulukosta.

TAULUKKO 1. Yliaaltojen komponenttijako /1/

No.	perus	2	3	4	5	6	7	8	9
Taajuus	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Komp.	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Yleisesti ottaen voidaan määritellä, että kolmas yliaalto ja sen kerrannaiset johtuvat yksivaiheisesta kuormituksesta ja kaikki muut yliaallot kolmivaiheisesta kuormituksesta. Yleisimmät yliaallot, jotka häiritsevät sähköverkostoa, ovat kolmas, viides ja seitsemäs yliaalto. Kolmivaiheverkossa kolmatta yliaaltoa ja sen kerrannaisia aiheuttavat yksivaiheiset kuormat. Symmetrisessä kolmivaiheverkossa esiintyvät yliaallot ovat parittomia, kolmella jaottomia yliaaltoja, joita ovat esimerkiksi viides, seitsemäs ja yhdestoista yliaalto. Tyypillisesti yliaallot kumoutuvat verkon tähtipisteissä ja niiden amplitudit, eli voimakkuudet vaimentuvat taajuuden kasvaessa. Muista yliaalloista poiketen kolmas yliaalto ei kumoudukaan tähtipisteessä, vaan jatkaa kulkuaan nollajohdossa. /4, s.1./

Jos verkossa on useampia yliaaltolähteitä, yliaallot summautuvat. Yliaaltojen summaa on kuitenkin vaikea arvioida, sillä niitä ei voi laskea aritmaattisesti yhteen, koska yliaallot summautuvat geometrisesti. Tämä johtuu siitä, että eri yliaaltolähteillä yliaaltovirtojen amplitudit ja vaihekulmat riippuvat muun muassa kuormituksesta. Yliaallot kumoavat toisensa tietyissä vaihekulmissa. /1, s.7./



KUVA 3. Kuvaaja suuntaajan periaatteesta ja yliaaltojen summautumisesta perusaaltoon /4/

Yliaaltojen määrät ilmoitetaan tavallisesti suhteellisuusarvoina. Suhteellisuusarvolla tarkoitetaan yliaallon ja perusaallon määrien suhdetta. Yliaallot esitetään pääasiassa kootusti spektriesityksenä. /1, s.4./

Yleisen jakeluverkon yliaaltojännitteiden sallittu taso on määriteltynä standardissa SFS-EN 50160; yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Arvot nähtävillä taulukossa kaksi. /6, s.42./

TAULUKKO 2. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot järjestyslukuun 25 saakka prosentteina perustaajuisesta jännitteestä /7/

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

2.1.1 Yliaaltojen lähteet

Yliaallot voivat muodostua monesta eri lähteestä ja laitteesta. Kaikista tavallisimpia epälineaarisia kuormia, jotka aiheuttavat yliaaltoja, ovat moottorin käynnistimet, nopeussäädetyt sähkökäytöt, tietokoneet ja muut elektroniikkalaitteet, elektroniset valonsäätimet, hitsauslaitteet ja UPS-laitteet. /5, s.8./

Muita yliaaltojen lähteitä ovat tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, valokaariuunit sekä suuritehoiset akkulaturit. Lisäksi jännitteen säröytymistä pääsee vähissä määrin esiintymään generaattoreiden, moottoreiden sekä muuntajien epälineaarisuuksien takia. /6, s.30./

2.1.2 Yliaaltojen haitat yleisellä tasolla

Yleisellä tasolla yliaaltojen haittoja ovat häviöiden kasvu sähköverkossa ja sähkönkäyttäjien laitteissa, sekä eri laitteiden kuormitettavuuden alentuminen. Ylikuormittuminen aiheuttaa myös vaurioita laitteille, kuten esimerkiksi kondensaattoreille. Yliaalloista aiheutuu lisäksi mittareiden virhenäyttämiä sekä suojarleiden ja automaatiolaitteiden virhetoimintoja. Näiden laitteiden häiriöiden syynä ovat useimmiten sähkönkäyttäjien omien laitteiden synnyttämät yliaaltovirrat ja muut verkossa esiintyvät häiriöt. Edellä mainitut ilmiöt pääsevät korostumaan etenkin resonanssitilanteissa, joissa jännite säröytyy huomattavasti.

Yliaaltojen aiheuttamat magneettikentät aiheuttavat joskus myös monitorien sekä televisioiden näyttöruutujen välkyntää. Kolmas yliaalto aiheuttaa tätä ilmiötä, koska se summautuu vaihejohtimista nollajohtimeen ja leviää verkon nollausten kautta mahdollisesti myös rakennusten runkorakenteisiin. Tämä ongelma aiheutuu käytännössä pääosin perustaajuisen virran sekä kolmannen yliaallon yhteisvaikutuksena. /6, s.30-31./

2.1.3 Erityisesti kolmannen yliaallon aiheuttamat haitat

Verkossa esiintyvä tärkein harmoninen yliaalto on kolmas yliaalto. Kolmas yliaalto ei kumoudu nollajohtimessa toisin kuin muut yliaallot, vaan se summautuu aiheuttaen nollajohtimen ylikuormitustilanteita. Tilanne saattaa nollajohtimen kannalta olla vielä pahempi, mikäli käytetään vain kahta kolmivaihejärjestelmän johdinta, jolloin johtimessa kulkee harmonisista yliaalloista johtuva virta epätasapainosta johtuvan virran lisäksi. Tilanteissa, joissa nollajohtimessa kulkeva virta on todennäköisesti suurempi kuin vaihejohtimen virta, kaapelikoko suositellaan valittavaksi nollajohtimen virran perusteella.

2.1.4 Mittausten vääristymät

Yliaallot vaikuttavat myös energiamittauksiin, joissa ne ilmenevät häiriöinä. Laskutusmittauksiin yliaallot voivat aiheuttaa pätö-, loisteho- ja energialukemien muutoksia. Näihin muutoksiin vaikuttaa myös yliaaltojen vaihekulma perusaaltoon nähden. Pätötehoa tarkastellessa lisäysten ja vähennysten kokonaisvaikutus mittaukseen on kuitenkin hyvin pieni. Mikäli mittaukset tehdään induktiomittareilla, on otettava huomioon, että yliaallot aiheuttavat niihin mekaanista haittaa, kuten värähtelyä. /8, s.259./

2.1.5 Muuntajiin kohdistuvat haitat

Kun muuntaja on kuormituksen alaisena, syntyy sen sydämessä, käämityksessä, sekä muissa osissa häviöitä, jotka voidaan jakaa tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöihin. Yliaallot vaikuttavat näiden häviöiden suuruuksiin.

Muuntajan tyhjäkäyntihäviöt ovat riippuvaisia paitsi jännitteen tehollisarvosta, myös taajuudesta. Tästä syystä myös yliaallot kasvattavat tyhjäkäyntihäviöitä. Normaalisti esiintyvillä, hillityillä yliaaltojen suuruusluokilla jakelumuuntajan tyhjäkäyntihäviöt ovat luokkaa 1-2 %. Lisääntyneille tyhjäkäyntihäviöille tulee enemmän painoarvoa, mikäli muuntaja on magneettisesti kyllästynyt esimerkiksi virrassa esiintyvän tasakomponentin takia. Tyhjäkäyntihäviöiden ollessa kuitenkin suhteellisen pieniä verrattuna kuormitushäviöihin, kannattaa päähuomio keskittää siihen, miten yliaallot kasvattavat kuormitushäviöitä.

Muuntajien yliaalloista johtuvia lisääntyneitä kuormitushäviöitä tarkastellessa suurin vaikutus kohdistuu muuntajan resistansseissa syntyviin virtalämpöhäviöihin. Näiden virtojen kasvu johtuu käämeissä syntyvän virranahdon aiheuttamana resistanssin suurenemisena korkeammilla taajuuksilla. Muuntajan valintaa koskien on todettu, että mikäli sähköverkossa on paljon yliaaltoja, on muuntajan kuormitusta vähennettävä 20–30 % nimellisestä kuormitusvirrastaan, ettei muuntaja ylikuumentu yliaaltojen aiheuttamien häviöiden takia. Muuntajaan kohdistuvat häviöt ja lämpenemiset aiheuttavat muuntajan eliniän lyhenemisen, etenkin jos yliaaltopitoisuus sähköverkossa on suurta. /1, s. 26-27./

2.1.6 Moottoreihin kohdistuvat haitat

Moottorikäytöissä yliaallot aiheuttavat lisääntyneitä virtalämpöhäviöitä, heilurimomenteja sekä värinä- ja ääni-ilmiöitä. Yliaaltojen määrä vaikuttaa näiden haittojen suuruuksiin.

Oikosulkumoottoreissa virtalämpöhäviöt kasvavat yliaaltojen aiheuttamana merkittävästi. Kuormituksella ei ole juurikaan vaikutusta häviöiden kasvuun, vaan häviöt ovat suhteellisesti suurimmillaan tyhjäkäynnillä. Häviöiden suurentuessa hyötysuhde laskee ja eristeet vanhenevat nopeammin. Roottorikäämityksellä on oikosulkumoottoreissa suuri merkitys yliaaltojen sietokykyyn. Mikäli roottorissa on virranahtokäämitys, voi yliaaltojen aiheuttama lisälämpenemä olla hyvinkin huomattava. Taajuusmuuttajakäytöissä oikosulkumoottorin kuormitustaso tulee olla noin 90% nimellisestä kuormituksesta. Vinouraroottorilla voidaan estää yliaaltojen indusoituminen roottoriin. Oikosulkumoottorien osalta yliaaltojen vaikutukset käynti- ja käynnistysvääntö-momenttiin ovat pienet. Heilurimomentit voivat puolestaan olla jopa 10 % nimellisestä arvostaan 5 – 10% yliaaltojännitteellä. Tästä voi aiheutua käytön häiriöitä sekä mekaanisia vaurioita.

Tahtikoneissa yliaaltojen aiheuttamat häviöt ovat suurempia kuin epätahtikoneissa. Yliaaltojen päävaikutus kohdistuu roottoriin, kuten epätahtikoneidenkin osalta. Umpinapakoneet ovat tahtikoneista herkempiä yliaalloille kuin avonapakoneet, joiden roottorihäviöt ovat pienempiä vaimennuskäämitysten ansiosta. Suuret generaattorit

ovat herkimpiä yliaalloille, koska niitä ajetaan usein maksimitehoilla, eikä marginaalia lisälämpenemiselle toisin sanoen ole. /1, s.27./

TAULUKKO 3. Yliaaltojen komponenttijako /1/

No.	perus	2	3	4	5	6	7	8	9
Taajuus	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Komp.	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Moottorien häviöihin vaikuttaa esiintyvien yliaaltojen komponentti. Komponentit ovat nähtävissä taulukosta kolme. Mikäli moottoria syöttävässä verkossa esiintyy luokituksestaan positiivinen komponentti, on magneettikentän pyörimissuunta eteenpäin eli sama kuin perustaaajuudella, jolloin moottorissa syntyy lisälämpenemistä. Magneettikentän pyöriessä taaksepäin se jarruttaa moottoria jatkuvasti ja aiheuttaa lisähäviöitä. Nolla-kenttä on niin kutsuttu tasakenttä, eli magneettikenttä pyörii samassa vaiheessa verkkovirran kanssa. Tasakentässä syntyneet yliaallot summautuvat nolajohtimeen kuormittaen sitä. /6, s.35./

2.1.7 Resonanssit

Yliaaltoja aiheuttavista kuormituksista ja syöttävän verkon ominaisuuksista riippuen loistehon kompensoinnissa käytetyt rinnakkaiskondensaattoriparistot voivat muodostaa verkon induktanssien kanssa haitallisia resonanssiipiirejä, joista voi seurata yliaaltojen merkittävä vahvistuminen. /6, s.30./

Resonanssi pääsee syntymään, kun jonkin yliaallon taajuus on lähellä verkon resonanssitaajuutta. Kun näin käy, pääsevät yliaaltovirrat tai jännitteet moninkertaistumaan normaaliin tilanteeseen verrattuna. Resonanssi syntyy jonkun sähköverkossa olevan komponentin kapasitanssin ja induktanssin välille.

Resonansseja on kahdenlaisia: sarja- tai rinnakkaisresonanssi. Jos verkossa on käytössä rinnakkaiskompensointia, muodostaa kompensoinnin kapasitanssi syöttävän verkon kanssa resonanssiipiirin, jota kutsutaan rinnakkaisresonanssiksi. Rinnakkaisresonanssitilanteessa verkon jännite säröytyy voimakkaasti, sekä kondensaattoripatteristo voi ylikuormittua. Sarjaresonanssi puolestaan muodostuu

tavallisimmin kompensointikondensaattorien ja syöttävän muuntajan hajainduktanssien välille. Sarjaresonanssin aiheuttama jännitesärö jää verkossa pieneksi, mutta kondensaattorin jännite säröytyy voimakkaasti. /1, s.22./

2.1.8 Yliaaltojen aiheuttama tasakomponentti

Suuntaajakäytöt, jotka aiheuttavat yliaaltoja verkkoon, aiheuttavat toisinaan myös kuormitusvirran tai syöttöjännitteen tasakomponentin. Tasakomponentti voidaan ymmärtää ikään kuin yliaaltojen erikoistapaukseksi. Tasakomponenttia aiheuttavat enimmäkseen puolialtotasasuuntaus, puoliksi ohjatut puolijohdesillat, siltojen ohjauskulmavirheet, sekä vioittuneet puolijohdekäytöt. Tasakomponentin esiintymiseen kannattaa kiinnittää huomiota, sillä se vaikuttaa huomattavasti muuntajien kuormitettavuuteen. Tämä johtuu siitä, että pienikin tasajännite aiheuttaa muuntajassa suuren virran, koska muuntajan käämien resistanssi on pieni. /6, s.35-36./

2.1.9 Yliaaltojen vaikutukset katkaisijoissa

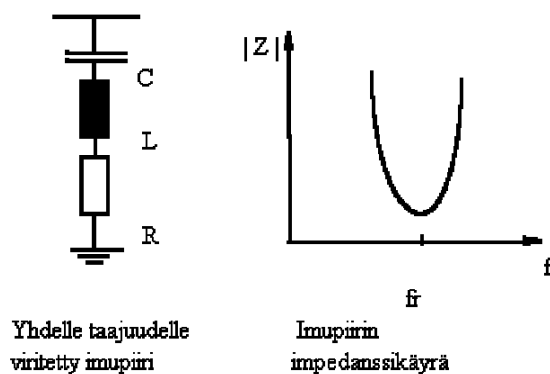
Katkaisijan katkaisukykyyn saattaa vaikuttaa virran yliaallot. Ongelma korostuu, mikäli katkaistaan pieniä virtoja, jolloin särö on suhteellisesti suurta. Käytännössä tämä pidentää katkaisijan katkaisuaikaa, joka puolestaan helpottaa valokaaren uudelleensyttymistä. Monet ilmakatkaisijat ovatkin varustettu erillisellä magneettisella puhalluksella, jonka tarkoituksena on puhaltaa valokaari sammutuskennostoon, jossa se pitenee ja lopulta sammuu. Mikäli virran särö on tarpeeksi suuri, katkaisijan puhalluskäämi ei mahdollisesti jaksaa puhaltaa valokaarta sammutuskennostoon. On tutkittu, että tyhjiökatkaisijat ovat vähemmän herkkiä yliaalloille kuin magneettipuhallusta käyttävät ilmakatkaisijat. /1, s.28./

2.1.10 Yliaaltojen suodattaminen

Yliaaltojen suodattaminen on menetelmä, jota voidaan käyttää teollisuudessa, mikäli yliaaltosärö on kasvanut vähitellen. Yliaaltosuodatus voidaan asentaa myös uuden laitoksen ongelmien ratkaisemiseen. Suodatusta varten on sekä passiivisia, että aktiivisia suodattimia. /5, s.5./

Suodattimia, jotka ovat passiivisia tekniikaltaan, kutsutaan yleensä imupiireiksi. Ne ovat sarjaresonanssiipiirejä, joiden tarkoitus on muodostaa tietyn taajuiselle yliaaltovirralle pieni-impedanssinen sulkeutumistie. Suodatus voidaan toteuttaa joko keskitetysti tai hajautetusti. Verkon perustaajuudella (50 Hz) impedanssin tulee olla mahdollisimman suuri, jotta pätötehohäviöt minimoitaisiin. Imupiiri toimii samalla kompensointikondensaattorina, koska se on perustaajuudeltaan kapasitiivinen ja tuottaa siten induktiivista loistehoa.

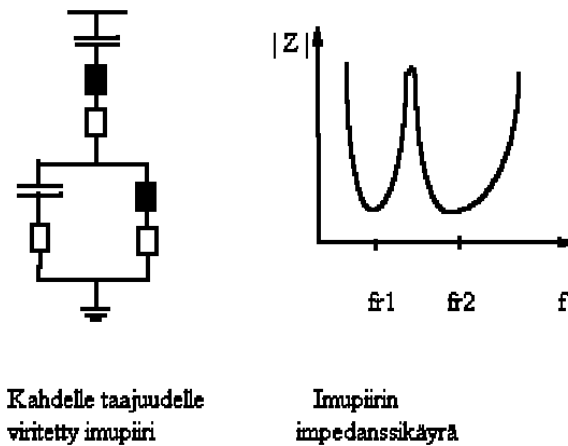
Kaikista yksinkertaisin suodatin on yhdelle taajuudelle viritetty imupiiri (kuva 4.). Suodattimen resonanssitaajuus pyritään mitoittamaan mahdollisimman lähelle haitallisen yliaallon taajuutta. Tällaisia yhdelle taajuudelle viritettäviä imupiirejä rinnan kytkemällä voitaisiin kaikki haitalliset yliaallot poistaa, mutta kyseinen ratkaisu on yleensä liian kallis. /1, s. 32./



Kuva 4. Yhdelle taajuudelle viritetyn imupiirin kaaviokuva sekä impedanssi taajuuden funktiona /1/

Yhdelle taajuudelle viritetyn suodattimen ominaisuuksina ovat viritetyn taajuuden yläpuolisten yliaaltojen vaimeneminen, alapuolisten yliaaltojen vahvistuminen sekä mahdollinen ylikompensoituminen syöttötaajuudessa ja itse verkossa, mikä puolestaan rajoittaa yliaaltojen vähenemistä /5, s.24/.

Suodattimella, joka on kaksoisviritetty, eli toisin sanoen on viritetty kahdelle eri taajuudelle, voidaan poistaa kaksi eri yliaaltoa yhtä aikaa (kuva 5.). Tällaista ratkaisua käytettäessä perustaajuiset häviöt ovat pienemmät kuin kahta erillistä suodatinta käytettäessä. Kolmannen kertaluvun suodattimetkin ovat toteuttamiskelpoisia. Ne poistavat nimensä mukaisesti kolmea yliaaltoa. Mikäli eliminoidavia yliaaltoja on vielä enemmän, on käytettävä laajakaistaista suodatinta. /1, s. 33./



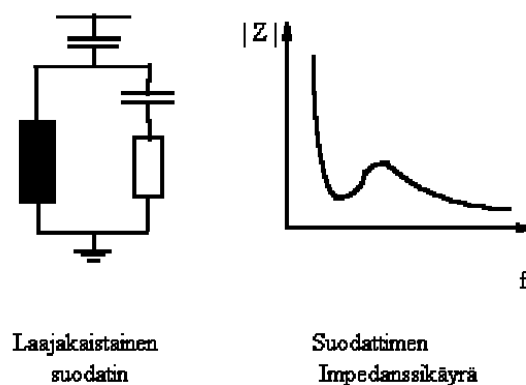
Kahdelle taajuudelle
viritetty imupiiri

Imupiirin
impedanssikäyrä

Kuva 5. Kahdelle taajuudelle viritetyn imupiirin kaaviokuva sekä impedanssi taajuuden funktiona /1/

Usealle taajuudelle viritetyn suodattimen ominaisuuksina mainittakoon, että se on kapasitiivinen viritetyn taajuuden alapuolella sekä induktiivinen yläpuolella. Lisäksi sillä saadaan parempi yliaaltojen suodatus kuin yhdelle taajuudelle viritetyllä suodattimella. /5, s.24./

Laajakaistasuodattimet ovat periaatteeltaan ylipäästösuodattimia ja nimensä mukaisesti niillä voidaan vähentää kaikkia tiettyä taajuutta suurempia yliaaltotaajuuksia (kuva 6.). Mikäli suodatettavia yliaaltoja on runsaasti, taloudellisin vaihtoehto on virittää oma suodatin jokaiselle pienelle taajuudelle (250-550hz), ja suurille taajuuksille puolestaan virittää laajakaistainen suodatin. /1, s. 33./



Laajakaistainen
suodatin

Suodattimen
Impedanssikäyrä

Kuva 6. Laajakaistaisen imupiirin kaaviokuva sekä impedanssi taajuuden funktiona /1/

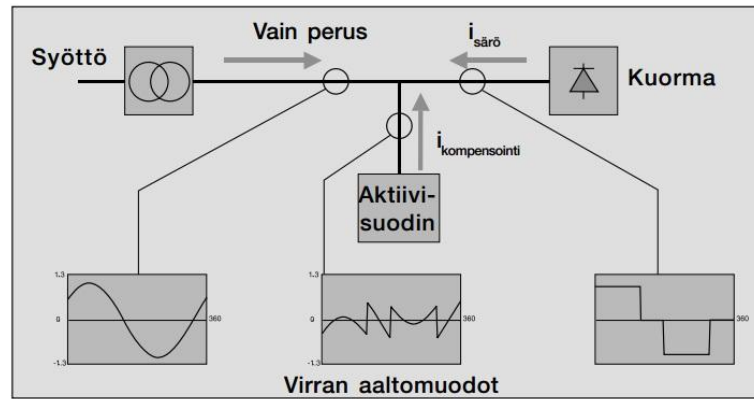
Toisin kuin muut yliaallot, kolmatta yliaaltoa ei voida suodattaa imupiireillä. Se voidaan kuitenkin poistaa THF-suodattimilla, joka on toteutettu virittämällä rinnan

kytketty induktanssi ja kapasitanssi resonanssiin kolmannelle yliaallolle, jotka muodostavat voimakkaan vastuksen 150 Hz taajuudelle. Tästä johtuen 150 Hz virta poistuu lähes kokonaan, sekä energiankulutus ja jänniteresonanssi pienenevät. /2, s. 18./

Passiivisten imu- ja suodatuspiirien rinnalle ovat tulleet puolijohdetekniikalla toteutetut aktiiviset yliaaltosuodattimet. Passiiviset suodattimet eivät reagoi yliaaltotilanteen muutokseen, vaan suodattavat vain ennalta määrätty yliaallot. Aktiivisuodattimet mittaavat yliaaltokomponentit virrasta, sekä tuottavat niiden kanssa 180 asteen vaihesiirrossa olevan virran, joka kumoaa verkossa olevat yliaaltovirrat. Aktiivisuodattimet eivät voi ylikuormittua, eli yliaaltopitoisuuden ollessa korkea, suodatin suodattaa täydellä kapasiteetillaan ja ylimenevät yliaallot jäävät kompensoimatta.

Aktiivisuodatin toimii samalla periaatteella kuin taajuusmuuttajakin. Kompensoitavan verkon lataamat tasajännitekondensaattorit toimivat energialähteinä ja invertteri tuottaa PWM-modulaatiolla halutun virran verkkoon. Aktiivisen suodattimen etuja passiivisuotimiin verrattuna ovat muun muassa mahdollisuus valita useita suodatettavia yliaaltotaajuuksia, suodattaa yliaallot ilman loistehon tuotantoa, rinnakkaisresonanssivaaran välttäminen, sekä pienempi tilantarve. Aktiivisuodattimella voidaan myös kompensoida verkossa esiintyvä kolmas yliaalto. Aktiivisuodattimet ovat riippumattomia kompensoitavan virran suunnasta, käyrämuodosta ja virtamuutoksen dynamiikasta. Virta voi siis olla induktiivista tai kapasitiivista sekä epäsymmetristä vaiheiden kesken. Suodattimen toimintaan eivät vaikuta myöskään verkon impedanssi eikä jännitteen laatu.

Aktiivisuodatin voidaan asentaa mihin tahansa sähköverkon pisteeseen. Sijoitukseen vaikuttavat kustannustehokkuus sekä säröä aiheuttavien kuormien laatu ja niiden sijainti. Laitteiden yleistymisen esteenä on korkeahko hinta verrattaessa passiivisiin piireihin. /6, s.62./



KUVA 7. Aktiivisuodattimen pääkaavio /5/

2.2 Epäsymmetrinen kuormitus

Eri vaiheiden epäsymmetrisessä kuormituksessa, eli vinokuormituksessa, eri vaiheita on kuormitettu epätasaisesti. Tämän aiheuttaa yksivaiheisten sähkökäyttöjen epätasainen jakaminen vaiheiden kesken. Myös kompensointiparisto sekä yhden vaiheen palanut sulake saattavat aiheuttaa epäsymmetristä kuormitusta. /12, s. 4./

Standardissa SFS EN-50160 on määritelty suurin sallittu vinokuormitus sähköverkossa. Suurin vallitseva vinokuormitus eri vaiheiden välillä tulisi olla $\pm 10\%$. Toisin sanoen kunkin vaiheen virta saisi poiketa enintään 10% vaihevirtojen keskiarvosta. /13, s.1./

Epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa jännite-epäsymmetriaa, nollajohtimen kuormittumista sekä kolmatta yliaaltoa. Mikäli on kyse suuresta epäsymmetriasta, ja nollajohtimessa kulkee poikkeuksellisen suuria virtoja, voi nollajohdin lämmetä, minkä seurauksena johtimen eristeet voivat päästä sulamaan sekä mahdollisesti syttymään. Tällainen riski kasvaa, mikäli nollajohdin on mitoitettu vaihejohtimia pienemmäksi. Epäsymmetrisen kuormituksen luoma jännite-epäsymmetria suurentaa sähkömoottorien roottorihäviöitä, pienentää niiden momenttia, sekä lyhentää käyttöikä. /14, s.11 ; 15, s. 13./

Myös muuntajat ovat alttiita vinokuormitukselle. Mikäli eri vaiheita kuormitetaan epätasaisesti, saattaa muuntajaan sisälle ilmaantua kuumia pisteitä, jotka aiheuttavat muuntajan elinkaaren lyhenemistä. Muuntajan kytkennällä on hyvin paljon vaikutusta vinokuormituksen aiheuttamien haittojen määrään. Parhaiten epäsymmetristä

kuormitusta kestää hakatähtikytkentä (Yzn), huonoiten tähtikytkennät (Yyn). /16, s.40./

Vinokuormitusten poistaminen onnistuu yksinkertaisesti siirtämällä yksivaiheisia sähkölaitteita tasaisesti eri vaiheille. Vinokuormitusta rajoittamalla saavutetaan nollajohtimen virran, sekä samalla jännitteen aleneminen. /13, s.1./

2.3 Loisteho

Tietyt sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon ohella myös loistehoa. Näihin laitteisiin lukeutuvat esimerkiksi moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Loistehoa vaativissa laitteissa varsinaisen sähkötyön tekee pätöteho, ja loistehoa vaaditaan vain magneettikentän ylläpitämiseen. Laitteiden loistehon tarve lisää sähkölaitteiden sekä –komponenttien virtarasituksia, jotka aiheuttavat muun muassa kyseisten osien ylimääräistä lämpenemistä. Pätö- ja loisteho muodostavat yhdessä näennäistehon, jonka mukaan sähköverkon komponentit, kuten kaapelit, muuntajat ja kytkinlaitteet, mitoitetaan. /10, s. 1-2./

Kuormituksen loistehon tarpeen ilmaisee tehokerroin $\cos\varphi$. Se saadaan jakamalla pätöteho näennäisteholla. Alla lista (kuva 8.) tyypillisistä tehokertoimista eri kuormituksilla.

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

KUVA 8. Kuormitusten tyypillisiä tehokertoimia /11/

Koska loistehon siirto pienentää pätötehon tehollista siirtokykyä, on tarkoituksenmukaista tuottaa loissähkö mahdollisimman lähellä kulutusta. Tätä kutsutaan loistehon kompensoinniksi. Loisteho voidaan ostaa kantaverkkoyhtiöltä,

mutta mikäli loistehoa esiintyy suurissa määrin, on pidemmällä aikavälillä loistehon tuottaminen itse kompensoinnin avulla reilusti edukkaampaa. /6, s.20./

Loistehon kompensointitapoja ovat yksittäiskompensointi, kojeryhmien kompensointi, sekä keskitetty kompensointi. Yksittäiskompensoinnissa kompensointi tehdään nimensämukaisesti laitekohtaisesti esimerkiksi moottorille tai purkauslampulle. Esimerkiksi moottorin kompensointi voidaan hoitaa turvakytkimellä, joka on varustettu kondensaattoriyksiköllä. Kojeryhmien kompensoinnissa kompensointilaitteisto sijoitetaan ryhmäkeskuksen läheisyyteen tai jopa keskuksen sisälle, sekä varustetaan kytkimellä, sekä sulakkeilla. Keskitetyssä kompensoinnissa kompensointilaitteisto sijoitetaan sähköpääkeskukseen, jossa sille on varattuna omat sulakkeelliset lähdöt. Keskitetty kompensointi hoidetaan pääasiassa automaattikaparistoilla, jossa loistehonsäädin ohjaa tarvittavan määrän kondensaattoriportaita päälle aina kulloisenkin tarpeen mukaan. /11, s. 4./

Pää- ja ryhmäkeskuksissa käytettävät kompensointiparistot muodostuvat kolmesta kondensaattorista, jotka ovat kytkettynä kolmioon, ja jokaisen vaiheen väliin jää yksi kondensaattori. Lisäksi yksikköön kuuluu kontaktorit, varokkeet, purkausvastukset, sekä estokelaparistoissa kondensaattorin kanssa sarjaan kytkettävä estokela. Suuret kompensointitehot hoidetaan kytkemällä useita kompensointiyksiköitä rinnan. Käytettävät kondensaattoriyksiköt ovat kuivia, kokomuovieristeisiä, itseparantuvia, sekä asennettu metallikoteloon. /10, s. 6./

2.4 Jännitteen amplitudin vaihtelu

Sähköverkossa vallitseva jännite vaihtelee eri vuorokauden aikoina johtuen verkon vaihtelevista kuormituksista. Sähkön laatua määrittävä standardi SFS-EN 50160 sallii verkon liittämiskohdassa eli sähköpääkeskuksessa -10 % jännitteenaleneman.

Sähkölaitteiden, eritoten moottoreiden, käynnistysvirrat aiheuttavat suuren ja pitkäaikaisen jännitteenaleneman. Sähkomoottoreille mitoitettu suurin käynnistystilanteen jännitteenalenema on -10 %. Laitteiden lisäksi verkon muut osat, muun muassa nousujohdot, saattavat aiheuttaa sähköverkkoon jopa -5 % jännitteenalenemia. Täten moottorin navoissa ja sen läheisissä sähköverkon osissa saattaa vaikuttaa jopa -25 % jännitteenalenema, joka on aivan liian paljon, sillä

sähkölaitteiden valmistajat sallivat yksittäiselle sähkölaitteelle $\pm 10\%$ nimellisjännitteen vaihtelun.

Jännitteenalenemaa voidaan pienentää mitoittamalla rakennusten nousu- ja ryhmäjohtojen poikkipinta-alat alijänniteääritilanteiden perusteella, sekä liittämällä suuritehoiset sähkölaitteet omiin suurtehokeskuksiinsa ja muuntajiinsa. Moottoreiden aiheuttamaa jännitteenalenemaa voidaan vähentää lisäämällä moottorikäyttöihin taajuusmuuttaja, pehmokäynnistin tai tähti-kolmio-käynnistin. Alijännitteille herkat sähkölaitteet tulisi sijoittaa omiin keskuksiinsa, joille nousujohtot vedettäisiin suoraan sähköpääkeskukselta. /9, s.1-2./

Myös kompensoinnilla saadaan jännitealenemaa pienentävää vaikutusta, sillä jännitteenalenema on riippuvainen virrasta. Kompensoinnilla voidaan vähentää loisivirtaa joka vähentää myös kokonaisvirtaa, jolloin jännitteenalenemaa ei esiinny niin voimakkaana. Tämä vaikutus korostuu etenkin pitkillä siirtomatkoilla, sekä käytettäessä isoja johtimen poikkipinta-aloja. Pienillä, alle 16 mm^2 johtimilla kompensointi ei enää vaikuta merkittävästi jännitteenalenemaan. /10, s. 2-3./

3 MITTAUKSEN SUORITTAMINEN

Tässä kappaleessa kerron mittauslaitteen eli verkkoanalysaattorin ominaisuuksista, mittauskohteesta sekä mittauksen aikana kohdatuista ongelmista.

3.1 Mittauslaitteisto

Mittaukset tehtiin Metrel MI 2592 Power Q4 -verkko-analysaattorilla. Laitteessa on neljä jännitekanavaa, jotka pystyvät mittaamaan jännitettä aina $1000\text{V}_{\text{rms}}$ asti sekä neljä virtakanavaa, jotka kykenevät tunnistamaan kytketyt virta-mittausanturit. Laitte kykenee tarkkailemaan 524 eri sähkönlaadullista parametria sähköverkosta. /17, s.6./

Analysaattorissa käytettiin virtamittausilmukoita, jotka pystyvät mittaamaan virtaa aina 3000A asti. Lisäksi jännitteen toteamista varten laitteeseen oli laitettu hauenleukapäätteet mittausjohtimien toisiin päihin. Laitteen akku kykenee mittaamaan

vain 15-16h kerrallaan yhdellä täydellä latauksella. Tämän vuoksi analysaattori oli koko mittauksen ajan ladattavana.

Metrelin verkko-analysaattori kykenee ottamaan erittäin paljon tietoa talteen mitattavasta kohteesta. Työssä otettiin vuorokauden mittaus jokaisesta keskuksesta ja tietoja kerättiin talteen viiden minuutin välein. Laite tallensi viiden minuutin välein 200 parametria muistiinsa. Näihin kuuluivat jokaisen vaiheen jännite, virta, taajuus, yliaallot aina 25. järjestyslukuun saakka sekä minimi/maksimiarvot jännitteestä sekä virrasta.

3.2 Mittauskohde

Mittaus tehtiin Valtra Oy Ab:n Suolahden toimitiloissa. Alueella on kuusi kappaletta 20/0,4 kv muuntajia, joista jokainen on muuntokapasiteetiltaan noin 1 MVA. Näistä kuudesta muuntajasta kaksi on yhdessä muuntamossa, loput neljä muuntajaa ovat omissa muuntamoyksiköissään. Suurin tehomäärä tehdasalueella kuluu voimansiirtolinjalla, jossa on 8 kappaletta 400 A kiskostoja syöttämässä sähkölaitteita. Kuvassa yhdeksän esiintyy yksi voimansiirtolinjan mittauspisteestä. Mittaus otettiin 400 A pääkytkimen kohdalta.



KUVA 9. Mittauspiste voimansiirtolinjalla

3.3 Kohdatut ongelmat

Mittauksen aikana ilmeni muutamia ongelmakohtia, joista suurin osa oli mittauskalustosta johtuvaa. Käytännössä ongelmina olivat virtasilmukoiden sopivuus sähkökeskukseen sekä mittalaitteen laturin irtoaminen, jolloin laite ei tallentanut kokonaista vuorokautta akun loputtua kesken.

Kahden keskuksen osalta virtamittaukset täytyi kertoa kahdella, koska virtasilmukat eivät mahtuneet kuin toisiin johtimiin, vaikka mitattavia johtimia oli kahdet kutakin virtakiskoa varten. Tämä mittaustekniikka aiheutti mitatun keskuksen PK30G tehokertoimen arvon rajun vääristymisen muuntajan puolelta mitattaessa, joten tehokertoimia ei ole tämän kyseisen mittauksen osalta analysoitu.

Lisäksi kiskoston K7 mittausten aikana sattui olemaan parasta aikaa kompensointilaitteiston huolto, jolloin loistehomittauksen osalta arvot ovat virheellisiä eikä niistä tästä syystä kannata tehdä mitään johtopäätöksiä.

4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa tulkitsen mittaustuloksia sekä analysoin arvojen suhdetta standardien asettamiin vaatimuksiin niiden tuloksien osalta, joissa huomautettavaa löytyi. Kaikkien keskuksien analyysit kuvineen löytyvät liitteestä kaksi. Tulokset ovat kokonaisen vuorokauden ajalta mitattuja. Tuloksiin vaikuttaa jonkin verran laitoksen käyttö yöllä pienemmällä kuormituksella. Tuloksia katsoessani kävin kuitenkin läpi arvot eri vuorokauden aikoina, eivätkä tulokset antaneet syytä tehdä erillisiä analysointeja päivä- ja yökäytölle. Analysointituloksista käyn läpi yliaallot, vinokuormituksen, tehokertoimen ja lisäksi jännitteen amplitudin vaihtelun.

Kohteesta mitattiin yhteensä kahdeksantoista mittausta, joista viisitoista analysoitiin. Ensimmäisenä pois jätettiin ensimmäinen mittaus, joka oli testimittaus pienessä IV-keskuksessa. Toisena jätettiin pois mittaus numero viisitoista. Keskus oli nimikkeeltä PK22A, joka mitattiin sekä muuntajan puolelta, että keskuksen puolelta. Analysoitavana oli muuntajan puolelta otetut arvot. Kolmantena pois jäi

kahdeksastoista mittausta, joka jäi erittäin vajavaiseksi tehtaan mennessä kiinni kesken mittauksen, jolloin virrat tippuivat noltaan.

Mittauksia otettiin kahden keskuksen tapauksessa sekä muuntajan lähdoistä, että itse keskukselta. Kyseiset keskuksset olivat PK30G sekä PK22A. Molempien keskuksien kohdalla muuntajan päästä mitattuna tehokertoimen arvot ovat jostain syystä vääristyneitä, eivätkä voi pitää paikkaansa. Keskuksen puolen mittauksissa tehokerroinarvot näyttivät hyviltä, eikä niistä ole aihetta huoleen.

Keskuksen PK30G osalta analysoin arvot sekä muuntajan päästä, että keskuksen päästä. Tuloksia katsellessa taulukosta neljä on viimeinen keskus nimetty PK30G Keskus, joka tarkoittaa, että tuo kyseinen mittaus on tehty itse pääkeskuksen puolelta. Aikaisemmin esiintyvä keskus nimikkeellä PK30G on mitattu muuntajakopin lähdoistä.

Mittaustuloksista laaditut kuvat ovat saatu seuraavalla tavalla:

Yliaaltojen osalta jokaisen vaiheen kustakin parametrilla (THD, h3, h5, h7, h11) on laskettu vuorokauden ajalta keskiarvo. Nämä keskiarvot ovat vaiheiden välillä vielä summattu keskenään sekä jaettu vaiheiden lukumäärällä. Näin saatiin kokonaiskeskiarvosärö kyseessä olevan kohteen jakelujännitteelle. Tuloksia tehdessä tarkistin samalla, ettei minkään yksittäisen vaiheen särö ole erityisen korkea, ja täten jää osittain piiloon tuloksissa johtuen käytetystä keskiarvo-painotuksesta.

Vinokuormitus laskettiin niin ikään keskiarvona. Jokaisen vaiheen keskiarvovirrat vuorokauden ajalta laskettiin. Raja-arvot saadaan ottamalla kaikkien kolmen vaiheen keskiarvotulos, ja tuosta arvosta kunkin vaiheen virta saa vaihdella enintään $\pm 10\%$. Näin saadaan sallitut minimi- ja maksimivirrat, jotta voidaan tarkastella, täyttyvätkö vinokuormituksen osalta standardin mukaiset suositukset.

Loistehon osalta analysaattori näyttää suoraan tehokertoimen mitatulle keskukselle. Ilmoitettu lukema on vuorokauden ajan keskiarvo.

Jännitteen amplitudin vaihtelu on laskettu kullekin vaiheelle erikseen. Jokaisen vaiheen minimi- sekä maksimijännite koko vuorokauden mittauksen ajalta otetaan

ylös sekä tarkastellaan, täyttyvätkö standardin mukaiset arvot jännitteen vaihtelun osalta. Standardin mukaan jakelujännite saa vaihdella nimellisestä 230 voltin arvosta ± 10 %. Raja-arvoiksi tulee täten 207V sekä 252V, jotka ovatkin kuvissa ala- sekä ylärajoina.

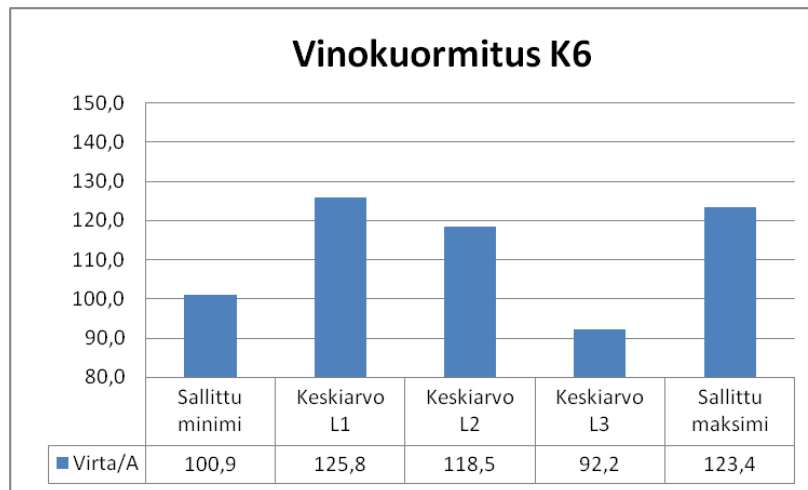
Alla olevaan taulukkoon (taulukko 4) olen koonnut kaikkien mittauksien tulokset kootusti. Vasemmassa laidassa näkyvät mitatut keskuksat ja viereisissä sarakkeissa sähkönlaadulliset parametrit. Ruudukoista voidaan lukea, missä keskuksessa sekä missä sähkönlaadullisessa parametrissa on ollut huomautettavaa. Taulukon alapuolella lähdän järjestyksessä analysoimaan tuloksia, joissa oli huomautettavaa.

TAULUKKO 4. Mittauksien kootut tulokset

KESKUS	YLIAALLOT	VINOKUORMITUS	TEHOKERROIN	JÄNNITE
K8	OK	OK	OK	OK
K7	OK	OK	-	OK
K6	OK	HUOM	OK	OK
K5	OK	OK	OK	OK
K4	OK	OK	OK	OK
K3	OK	OK	OK	OK
K2	OK	OK	OK	OK
K1	OK	HUOM	OK	OK
PK10D	OK	OK	HUOM	OK
PK30.1G	OK	OK	OK	OK
PK30G	OK	HUOM	VÄÄRISTYNYT	OK
PK22A	OK	OK	VÄÄRISTYNYT	OK
PK32A	OK	OK	OK	OK
PK9E	OK	OK	OK	HUOM
PK30G Keskus	OK	HUOM	OK	OK

4.1 K6 vinokuormitus

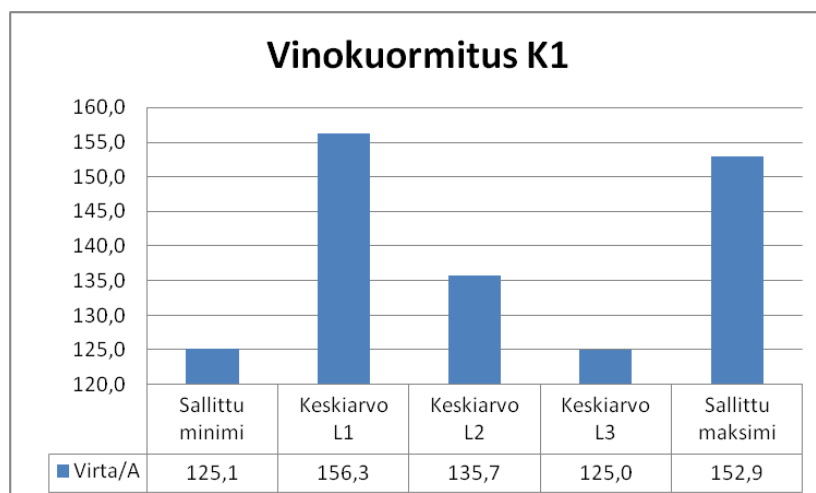
Kiskostossa havaittiin vinokuormitusta (kuva 10) kolmannen vaiheen osalta. Vaiheet yksi ja kaksi olivat keskiarvo-virroiltaan noin 120A luokkaa, kun taas vaihe kolme oli 92,2A raja-arvojen ollessa 100,9A ja 123,4A. Vinokuormitus kannattaakin tältä vaiheelta yrittää poistaa tasaamalla yksivaiheisia kuormia vaiheilta yksi ja kaksi vaiheelle kolme. Pienestä vinokuormituksesta huolimatta mittauksen aikana ei ollut havaittavissa jännite-epäsymmetriaa, kasvanutta kolmatta yliaaltoa eikä nollajohtimen virran suuria määriä.



KUVA 10. Vinokuormitus K6

4.2 K1 vinokuormitus

Kiskostossa K1 oli havaittavissa vinokuormitusta sekä alittavana että ylittävänä osana (kuva 11). Keskiarvoiset virrat olivat vaihejärjestyksessä 156,3A, 135,7A sekä 125A. Minimirajana oli 125,1A ja maksimirajana 152,9A. Tähän suosittelen ratkaisuksi yksivaiheisten sähkölaitteiden siirtämistä ensimmäiseltä vaiheelta pääosin kolmannelle vaiheelle ja aavistuksen toiselle vaiheelle, jotta saataisiin mahdollisimman tasaiset virrat vaiheiden välille. Vinokuormituksesta huolimatta nollajohtimessa ei kulkenut liikaa virtaa, eikä kolmatta yliaaltoa esiintynyt sen enempää kuin muissakaan kiskostoissa kyseisessä hallissa. Erittäin pientä jännite-epäsymmetriaa oli havaittavissa rajuimpina vinokuormituksen hetkinä. Erot vaiheiden välisissä jännitteissä ei kuitenkaan olleet korkeintaan kuin kaksi voltia kullakin hetkellä, joka on erittäin vähän.



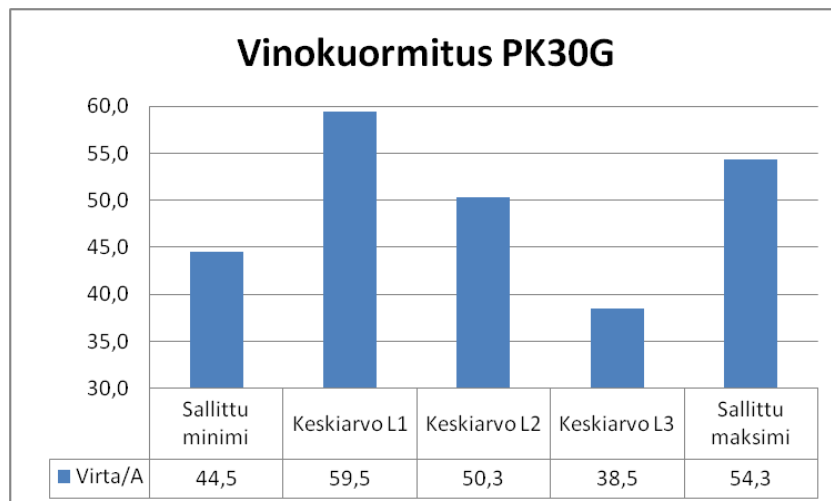
KUVA 11. Vinokuormitus K1

4.3 PK10D tehokerroin

Loistehokerroin mitatussa keskuksessa oli mittauksen ajalta keskiarvollisesti 0,83 induktiivista. Ottaen huomioon keskuksessa vallitsevat virrat, jotka ovat noin 150A luokkaa, kannattaisi kompensointi tämän keskuksen osalta tarkastaa. En kerennyt ennen työn palautusta saamaan tietoa siitä, onko tämän keskuksen osalta kompensointia parannettu.

4.4 PK30G vinokuormitus

Keskuksessa on havaittavissa suhteellisesti suurehkoa vinokuormitusta (kuva 12). Vaihevirrat järjestyksessä ovat 59,5A, 50,3A sekä 38,5A. Raja-arvoina olivat minimi 44,5A sekä maksimi 54,3A. Näitä tarkastellen ensimmäisellä vaihteella on liikaa kuormitusta, sekä kolmannella vaiheella sitä on liian vähän. Suositus tähän on vaihtaa kuormitusta ensimmäiseltä vaiheelta kolmannelle vaiheelle, mikäli se vain on mahdollista. Tässä keskuksessa ei kuitenkaan ollut havaittavissa juurikaan jännite-epäsymmetriaa, nollajohtimen liikakuormitusta eikä kolmatta yliaaltoa, joita vinokuormitus tyypillisesti aiheuttaa.

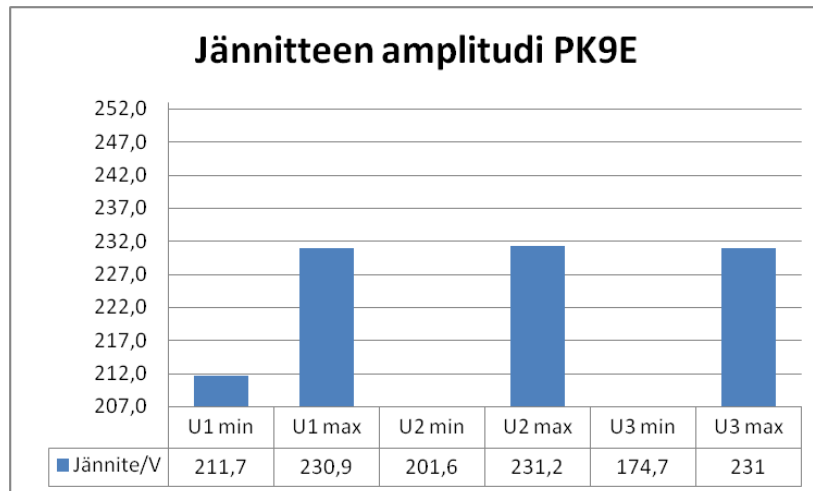


KUVA 12. Vinokuormitus PK30G

4.5 PK9E jännitteen amplitudi

Keskuksessa havaittiin suuria jännitenotkahduksia mittauksen aikana (kuva 13). Ensimmäisen vaiheen pienin jännite oli 211,7V, joka on standardien sisäpuolella,

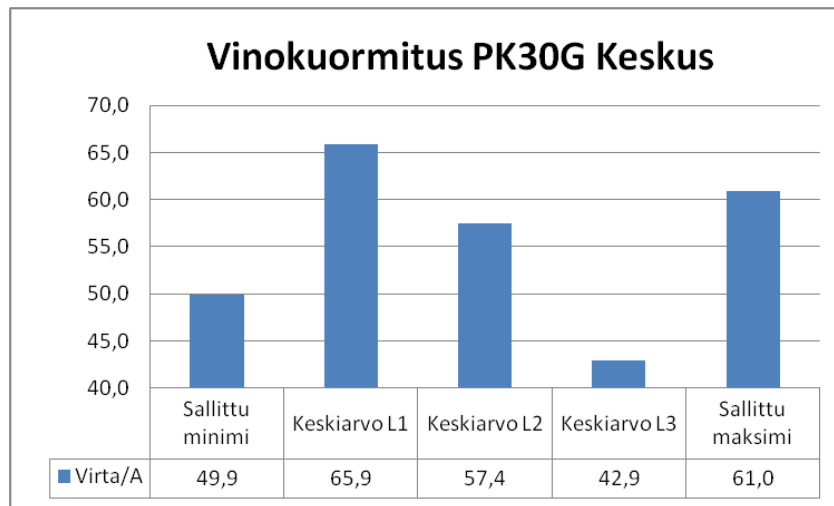
mutta on jo alempi, kuin jännitteen pitäisi olla normaalikäytöissä. Toisen vaiheen minimijännite oli 201,6V, joka on jo standardin raja-arvon alittava lukema. Kolmannella vaiheella todettiin vielä suurempi notkahdus, kun jännite pääsi tippumaan 174,7 volttiin, joka alittaa standardin mukaisen 207V arvon jo yli kolmellakymmenellä voltilla. Notkahduksien kesto oli kullakin vaiheella kuitenkin maksimissaan vain 330 millisekuntia. Koska kyse oli yksittäisestä, näinkin lyhyestä jännitteenalenemasta, ei jatkotoimenpiteitä tämän osalta tarvita.



KUVA 13. Jännitteen amplitudi PK9E

4.6 PK30G Keskus vinokuormitus

Mittauksen aikana havaittiin vinokuormitusta sekä raja-arvot ylitettiin sekä minimin että maksimin osalta (kuva 14.). Vaiheen yksi virta oli 65,9A, kun taas vaiheen kolme arvo oli 42,9A. Raja-arvoina olivat 49,9A ja 61A. Suosittelemme siirtämään yksivaiheisia kuormia vaiheelta yksi vaiheelle kolme. Tämä tasaa vaiheiden välistä kuormitusta. Vinokuormitus ei mittauksien mukaan kuitenkaan aiheuttanut kolmatta yliaaltoa, nollajohtimen liikakuormitusta eikä jännitteen epäsymmetriaa.



KUVA 14. Vinokuormitus PK30G Keskus

5 POHDINTA

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli tutkia tehdasalueen sähkönlaatua yliaaltojen, epäsymmetrisen kuormituksen, tehokertoimen sekä jännitteen amplitudin osalta. Tavoitteeni oli oppia käsittelemään verkkoanalysointia sekä tulkitsemaan sen antamia tuloksia sähköverkosta. Lisäksi tavoitteisiini kuului tiedon kartuttaminen edellä mainittujen sähkönlaadullisten parametrien osalta. Tavoitteisiin pääsin mielestäni hyvin, vaikkakin yliaaltojen osalta teoria olikin välillä vähän vaikeaa ymmärtää. Analysointia käsittelemällä, lukemien tulkitseminen sekä teoreettinen tietämykseni sähkönlaadullisista ominaisuuksista sähköverkossa karttui merkittävästi.

Valmiit mittaustulokset tehdasalueelta olivat suurinpiirtein sitä, mitä itse odotinkin; mitään dramaattista ei tullut näkyviin. Yliaallot olivat jokaisen mitatun keskuksen osalta erittäin hyvin standardin asettamien raja-arvojen sisäpuolella. Vinokuormitusta löytyi mittauskohteista K6, K1 sekä PK30G. Vaikka vinokuormitus ylitti raja-arvot, ei kyseisissä mittauksissa havaittu mitään vinokuormituksen aiheuttamaa sähkönlaadullista heikkenemistä, kuten kolmannen yliaallon lisääntymistä, jännite-epäsymmetrian esiintymistä sekä nollajohtimen liikakuormitusta. Loistehon osalta huomautettavaa löytyi mittauskohteesta PK10D, jossa tehokerroin oli 0,83. Mittauksien aikana olivat ikävästi samaan aikaan kompensointilaitteistojen huollot meneillään. En kerennyt saamaan raporttiini tietoa siitä, mitkä laitteistot olivat huollettuja tai huoltamattomia ennen ja jälkeen mittauksen. Keskuksen PK10D:ssäkin esiintyvä tehokerroin voi olla nyt hyvinkin lähellä yhtä, mikäli laitteisto on huollettu

kuntoon. Keskuksien PK30G sekä PK22A tehokertoimet jäivät myöskin muuntajan puolelta mitattuna mysteereiksi. Arvot näyttivät erittäin vääristyneiltä, mutta samat keskuksat mitattuna itse keskuksen puolelta näyttivät erittäin hyviä tehokerroin-arvoja. Jännitteen amplitudi ei päässyt missään mittauksessa vaihtelevaan rajusti, tosin keskuksella PK9E jännite notkahti 330 ms ajaksi lähes 60 voltin verran nimellijännitteestä.

Käytännössä parannettavaksi suosittelen vinokuormituksesta kärsivien keskusten yksivaiheisia laitteita siirrettäväksi tasaisesti niin, että jokaisella vaiheella on lähes täysin identtinen kuormitus. Näin saataisiin kuormitukset myöskin suositusrajojen sisäpuolelle. Sähkön laatu todettiin työn aikana erittäin hyväksi, eivätkä lievät vinokuormituksetkaan tuottaneet ylimääräisiä häiriöitä sähköverkkoon.

LÄHTEET

1. Korpinen, Leena. Yliaalto-opus. PDF-dokumentti.
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>. Ei julkaisutietoa.
Luettu 9.2.2015.
2. ABB Control Oy. Kolmannen yliaallon opas. PDF-dokumentti.
[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/2857AF09DDA38FF8C1256C5500269598/\\$File/THFOP-FI.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/2857AF09DDA38FF8C1256C5500269598/$File/THFOP-FI.pdf). Julkaistu 1999. Luettu 13.2.2015
3. Sähkötieto Ry. ST 52.51.03 Sähkön laatu. Harmoniset yliaallot. Espoo: Sähköinfo Oy. 2006
4. Sähkötieto Ry. ST 52.16 Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy. 2014.
5. Abb Industry Oy. Tekninen opas nro 6: Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. PDF-dokumentti.
[http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/\\$file/Tekninen_opas_nro_6.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/$file/Tekninen_opas_nro_6.pdf). Julkaistu 2001. Luettu 13.2.2015
6. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähköinfo Oy. 2006.
7. Sesko Ry. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS RY. 2010.
8. Sesko Ry. SFS-KÄSIKIRJA 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjänniteasennukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS RY. 2012.

9. Sähkötieto Ry. ST 52.51.02 Sähkön laatu. Jännitteenaleneman minimoiminen. Espoo: Sähköinfo Oy. 2006.

10. Sähkötieto Ry. ST 52.15 Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy. 2014.

11. ABB. TTT-käsikirja. Luku 9. Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus. PDF-dokumentti.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf. Julkaistu 2000. Luettu 23.2.2015.

12. ABB. TTT-käsikirja. Luku 4. Sähkön laatu. PDF-dokumentti.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf. Julkaistu 2000. Luettu 23.2.2015.

13. Sähkötieto Ry. ST 52.51.04 Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet. Espoo: Sähköinfo Oy. 2006.

14. Kontturi, Marko & Ålander, Jouni. Energiasäästölamppujen verkkovaikutukset. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma.
<http://www.ncp.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/Kontturi%20&%20%C3%85lander.pdf>
Julkaistu 2008. Luettu 20.4.2015

15. Motiva Oy. Energiatohokkaat moottorikäytöt. PDF-dokumentti.
http://www.motiva.fi/files/2408/Energiatohokas_moottorij_rjestelm_.pdf. Julkaistu 2009. Luettu 20.4.2015.

16. Huurinainen, Ville. Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus. PDF-dokumentti. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma.
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9883/TMP.objres.853.pdf?sequence=2>. Julkaistu 2006. Luettu 20.4.2015.

17. Metrel d.d. PowerQ4 and PowerQ4 Plus MI 2592 and MI 2792 Instruction manual. PDF-dokumentti.
http://www.metrel.si/fileadmin/BAZA_od_Damijan_Dolinar/Metrel/Navodila_instrumentov/Instruments/MI_2792_PowerQ4_Plus/Ang/MI_2792_PowerQ4_Plus_ANG_Ver_1.1_20_751_782.pdf. Julkaistu 2011. Luettu 20.4.2015

Sähköverkon mittaukset

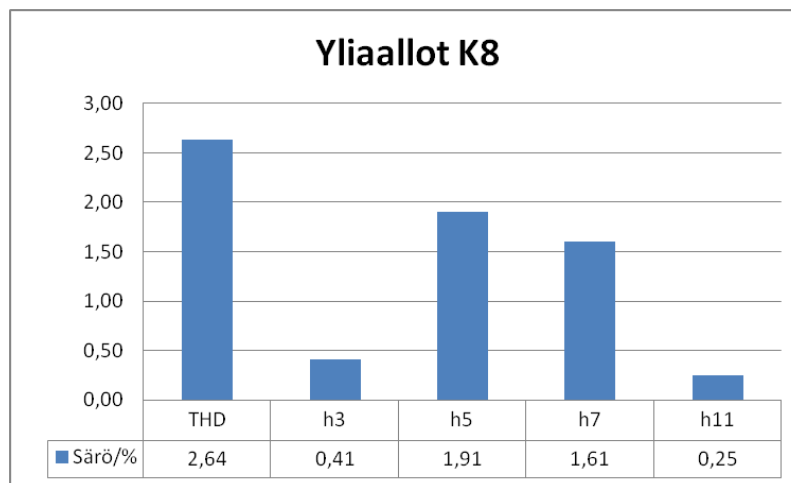
Paikka	Keskus	Lähtö	Päivä	Aloitus Klo	Lopetus Klo	File	Huomiot
Tuotekehitys:	Rk13.1	Syöttö	4.3.2015	13:40	10:40	1	Ei täyttä vrk
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K8	5.3.2015	11:07	24h	2	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K7	9.3.2015	7:46	24h	3	Kompensoinnit osittain pois päältä
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K6	10.3.2015	7:59	24h	4	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K5	11.3.2015	8:48	24h	5	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K3	12.3.2015	9:07	24h	6	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K4	13.3.2015	10:11	24h	7	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K2	16.3.2015	9:03	24h	8	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/K1	17.3.2015	9:45	24h	9	
Muuntaja M3/M4	PK	VTT/PK10D	18.3.2015	10:19	16h	10	Vajaa mittaus, virtalähde oli irronnut ja akku loppunut
Muuntaja M2	PK	VTA/PK30.1G	19.3.2015	12:52	24h	11	Mittaus vain yhdestä johtimesta eli saa kertoa kahdella
Muuntaja M2	PK	VTA/PK30G	20.3.2015	13:07	24h	12	Mittaus vain yhdestä johtimesta eli saa kertoa kahdella
Muuntaja M2	PK	VTA/PK22A	1.4.2015	7:36	24h	13	Mittaus muuntajalta
VTA	PK	PK32A	2.4.2015	13:08	24h	14	
VTA	PK	PK22A	7.4.2015	6:43	24h	15	Mittaus keskukselta
VTA	PK	PK9E	8.4.2015	7:52	24h	16	
VTA	PK	PK30G	9.4.2015	8:48	24h	17	Mittaus keskukselta
VTA	PK	PK9B	10.4.2015	9:43	24h	18	Erittäin vajaat tulokset

K8

Ensimmäisenä analysoitavana oli tehdasalueen voimansiirtopuolen sähkökiskosto numero kahdeksan. Kyseisen kiskoston sähkön laatu oli mittauspisteessä erittäin hyvää.

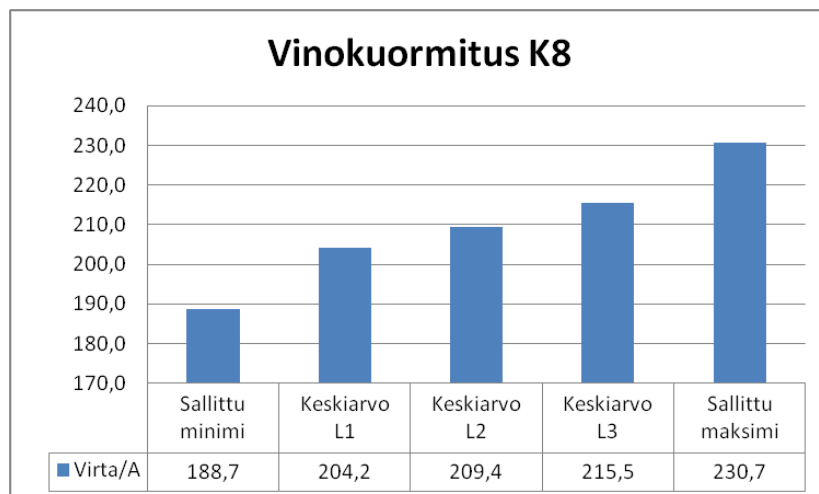
Yliaallot

Kiskosto kahdeksan yliaaltolukemat näyttävät tuloksien perusteella (kuva 1.) erittäin hyviltä. Jännitteen kokonaissäro on keskiarvoltaan laskettuna 2,64 %, joka on erittäin vähän. Neljä suurinta yliaaltokomponenttia eli kolmas, viides, seitsemäs sekä yhdestoista yliaalto jäävät nekin reilusti alle standardin vaatimien lukemien. Suurin yksittäinen yliaalto oli viides yliaalto arvolla 1,91 %.

**KUVA 1. Yliaallot K8**

Vinokuormitus

Kiskoston eri vaiheiden virtakuormitukset ovat keskenään erittäin tasaisia (kuva 2.) keskiarvojen vaihdellen välillä 204,2A - 215,5A. Jotta vaadittuihin ± 10 % virtalukemiin tällä keskuksella päästään, virran tulisi olla 188,7A - 230,7A. Tällä keskuksella ei siis ole mitään huolta vinokuormituksen osalta.



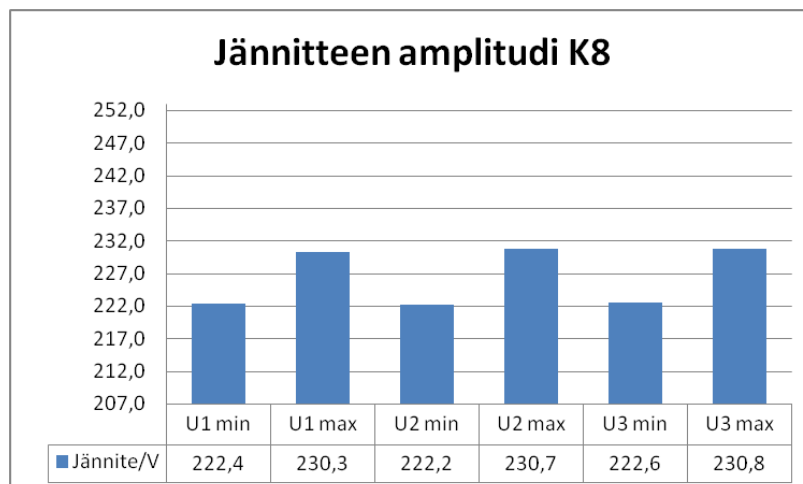
KUVA 2. Vinokuormitus K8

Loisteho

Jakelukiskoston keskimääräinen tehokerroin oli 0,97 induktiivista, joka on erittäin hyvä tulos. Tämä kiskosto ei täten tarvitse lisää kompensointia.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Kiskoston jännitevaihtelut kullakin vaiheella olivat mitatulta ajalta suhteellisen vähäisiä (kuva 3.) jännitteen vaihdellessa välillä 222,2V - 230,8V. Saadut tulokset ovat hyviä, sillä standardin täyttymiseen vaadittu minimi 207V ylittyy helposti.



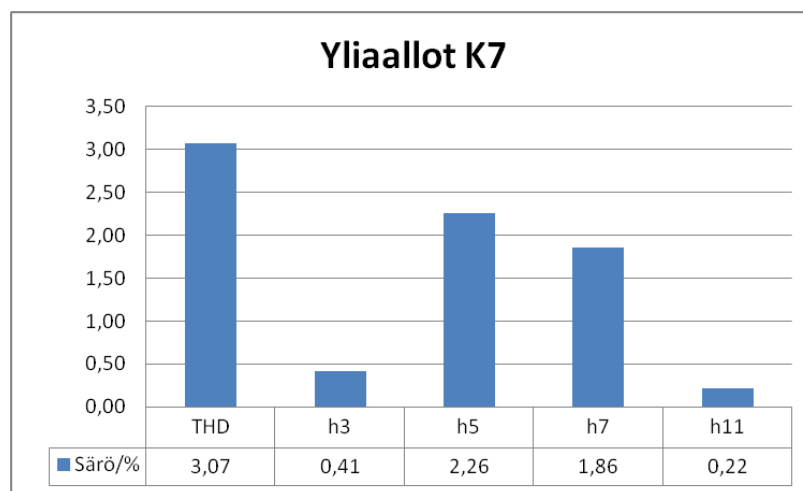
KUVA 3. Jännitteen amplitudi K8

K7

Toisena oli vuorossa jakelukiskosto seitsemän voimansiirtopuolelta. Sähkönlaatu oli hyvää tässäkin kiskostolla. Loistehon tuloksia ei mittauksien aikana tehtyjen kompensointilaitteiden huoltotoimenpiteiden takia saatu luotettavasti esille, joten ne ovat jätetty pois tämän kiskoston osalta.

Yliaallot

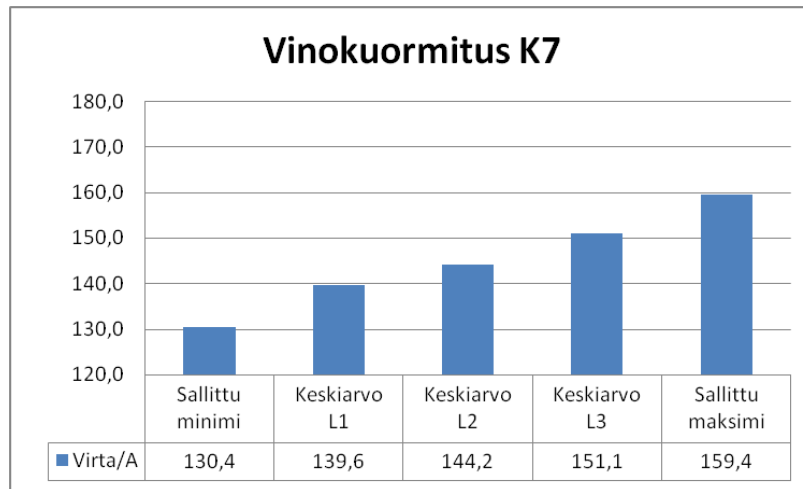
Kiskoston yliaallot olivat hyvällä mallilla (kuva 4.) kokonaissärön keskiarvon jäädessä 3,07 %:iin kokonaisjännitteestä. Tämä tulos on reilusti alle standardin vaatimuksien. Neljä yksittäistä yliaaltoa jäävät nekin alle standardin asettamien lukemien suurimman yliaallon ollessa viides harmoninen arvolla 2,26 %.

**KUVA 4. Yliaallot K7****Vinokuormitus**

Kiskoston vaiheiden kuormitukset olivat suhteellisen tasaisia (kuva 5.), mutta mikäli kyseessä olevan syötön perään laitetaan yksivaiheisia kuormia, kannattaa ne kytkeä L1-vaiheeseen tasaamaan kuormituksia. Mitatut virrat vaihtelivat L1 arvosta 139,6A L3 arvoon 151,1A. L2-arvo oli näiden välissä. Sallitut minimi- ja maksimivirrat olivat

Tulosten analysoinnit

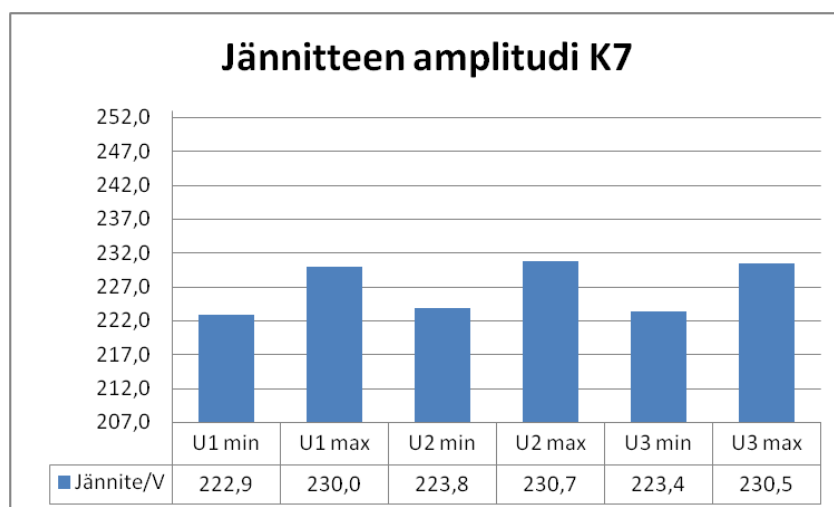
näiden arvojen perusteella 130,4A ja 159,4A, joten arvot ovat vielä standardin mukaisten suositusten sisäpuolella.



KUVA 5. Vinokuormitus K7

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Syötön jännite ei vaihdellut mittauksen aikana (kuva 6.) kymmentäkään voltia, mikä on hyvä tulos sähköä käyttävien laitteiden kannalta. Minimijännite löytyi vaiheelta L1 arvolla 222,9V ja maksimijännite puolestaan vaiheelta L2 arvolla 230,7V. Jännitteen vaihtelun osalta arvioidessa ei ole siis syytä jatkotoimenpiteisiin.



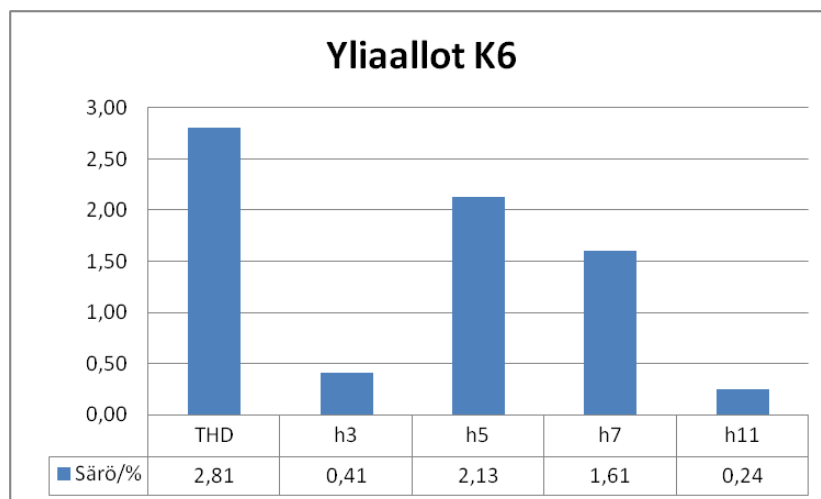
KUVA 6. Jännitteen amplitudi K7

K6

Kiskosto numero kuusi voimansiirtopuolelta osoittautui sähkölaadullisesti muuten hyväksi, mutta vaiheella kolme oli aavistuksen liian vähän kuormitusta.

Yliaallot

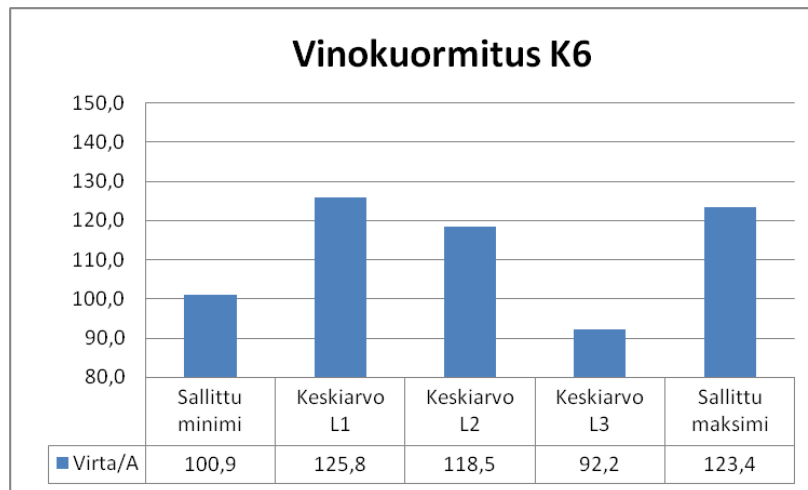
Yliaallot olivat jakelukiskostolla vähäisiä (kuva 7.) kokonaissärön keskiarvon jäädessä 2,81 %. Mikään yksittäinen yliaaltoakaan ei ylittänyt SFS-standardin asettamia maksimi-lukemia. Tämänkin kiskoston särössä suurin komponentti oli viides harmoninen yliaalto arvolla 2,13 %.



KUVA 7. Yliaallot K6

Vinokuormitus

Kiskostossa havaittiin vinokuormitusta (kuva 8.) kolmannen vaiheen osalta. Vaiheet yksi ja kaksi olivat keskiarvovirroiltaan noin 120A luokkaa, kun taas vaihe kolme oli 92,2A raja-arvojen ollessa 100,9A ja 123,4A. Vinokuormitus kannattaakin tältä vaiheelta yrittää poistaa tasaamalla yksivaiheisia kuormia vaiheilta yksi ja kaksi vaiheelle kolme. Pienestä vinokuormituksesta huolimatta mittauksen aikana ei ollut havaittavissa jännite-epäsymmetriaa, kasvanutta kolmatta yliaaltoa eikä nollajohtimen virran suuria määriä.



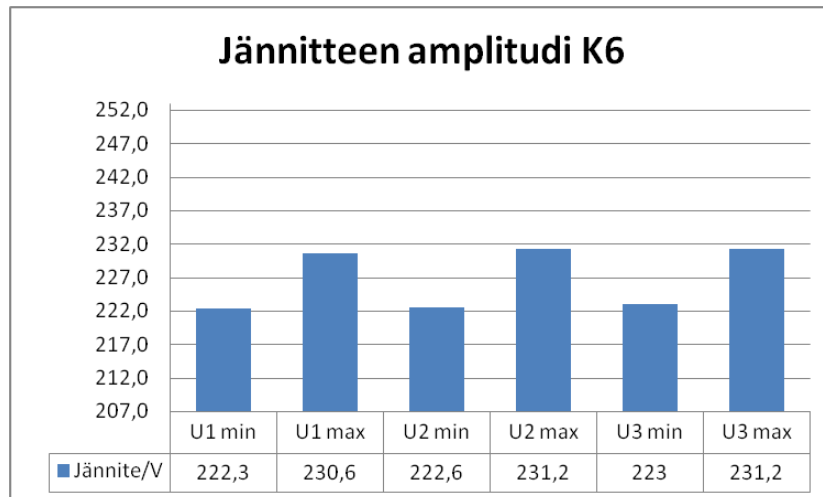
KUVA 8. Vinokuormitus K6

Loisteho

Kiskoston tehokerroin oli vuorokauden keskiarvo-tulokseltaan 0,99, joka on erittäin hyvä tulos. Kompensoinnille ei ole tällä hetkellä lisätarvetta.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Jännite kiskostolla kuusi on tasaista vaiheiden kesken (kuva 9.), eikä tuloksissa ole havaittavissa notkahduksia eikä piikkejä. Kiskostolla havaitusta vinokuormituksesta huolimatta jännite on symmetrinen jokaisella vaiheella. Vuorokauden minimijännite löytyy vaiheelta yksi arvolla 222,3V sekä maksimijännite vaiheilta L2 sekä L3 arvolla 231,2V.



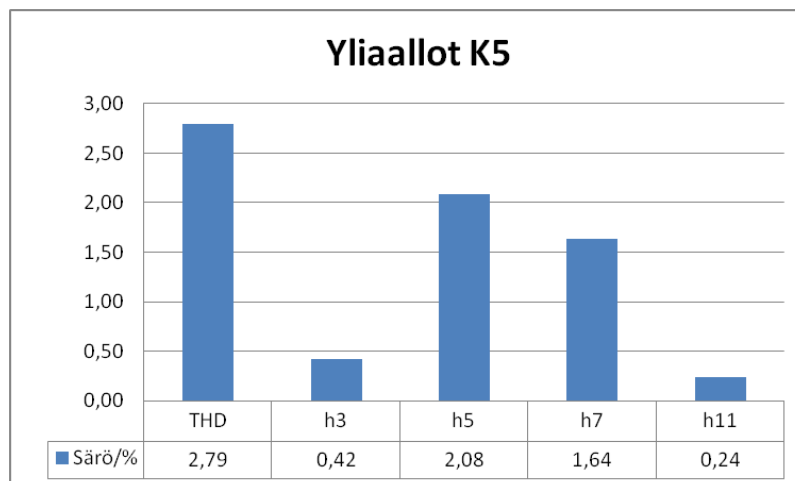
KUVA 9. Jännitteen amplitudi K6

K5

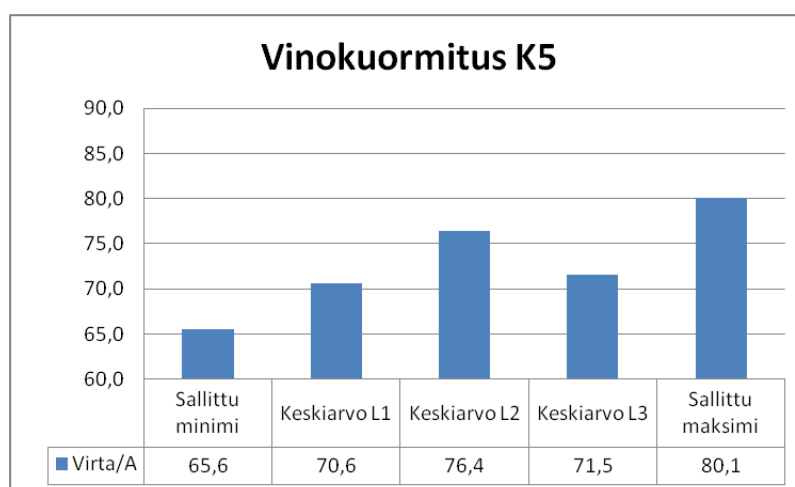
Jakelukiskostolla viisi voimansiirtotehtaalla sähkön laatu oli pääosin hyvää. Tehokerroin oli tässä mittauksessa kapasitiivista, kun muissa mittauksissa se on ollut induktiivista.

Yliaallot

Yliaallot osoittautuivat tässäkin mittauksessa vähäisiksi (kuva 10.). Jännitteen kokonaissäröksi kertyi vain 2,79 %. Mikään yksittäinen yliaalto ei tässäkään mittauksessa kertynyt harmillisen isoksi, sillä isoin yksittäinen yliaalto oli jälleen kerran viides yliaalto arvolla 2,08 %.

**KUVA 10. Yliaallot K5****Vinokuormitus**

Jakelukiskostolla ei ollut havaittavissa suuria eroja vaiheiden välisissä kuormituksissa (kuva 11.). Virta-arvot olivat suhteellisen pieniä verrattuina ensimmäisiin mitattuihin kiskostoihin keskiarvo-virtojen ollessa välillä 70,6A – 76,4A. Mittauksen tuloksista lasketut raja-arvot olivat 65,6A ja 80,1A. Mikäli tämän kiskoston perään kytketään vielä lisää yksivaiheisia kuormia, tulisi ne keskittää ennemmin vaiheille yksi sekä kolme, sillä vaihe kaksi on alle neljän ampeerin päässä yläraja-arvosta.

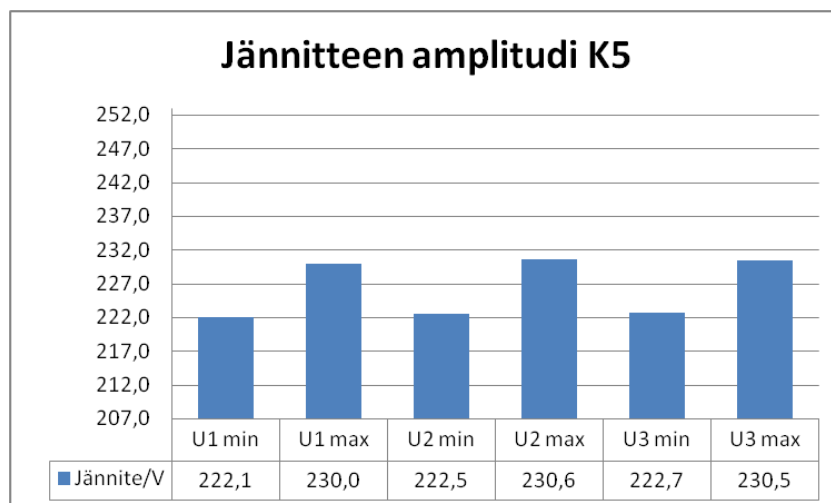
**KUVA 11. Vinokuormitus K5**

Loisteho

Mitatun kiskoston loistehokerroin osoittautui kapasitiiviseksi arvolla 0,83. Aikaisemmissa mittauksissa on tehokerroin ollut induktiivista sekä hyvin lähellä ideaalista arvoa 1. Kuitenkin ottaen huomioon kiskostolla olevat suhteellisen pienet virrat sekä tehokertoimen ollessa kuitenkin yli 0,8, ei tämän kiskoston aiheuttama loistehon määrä ole kuitenkaan huolestuttava kokonaisuutta ajatellen.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Viidennen kiskoston jännitevaihtelut olivat vähäisiä (kuva 12.). Vuorokauden alin jännite mitattiin vaiheelta yksi arvolla 222,1V sekä suurin jännite vaiheelta kaksi arvolla 230,6V. Näiden tulosten perusteella jännite on hyvin tasaista tälläkin keskuksella kokonaisuudessaan, eikä verkon kapasitiivisuus pääse nostamaan verkon jännitettä.



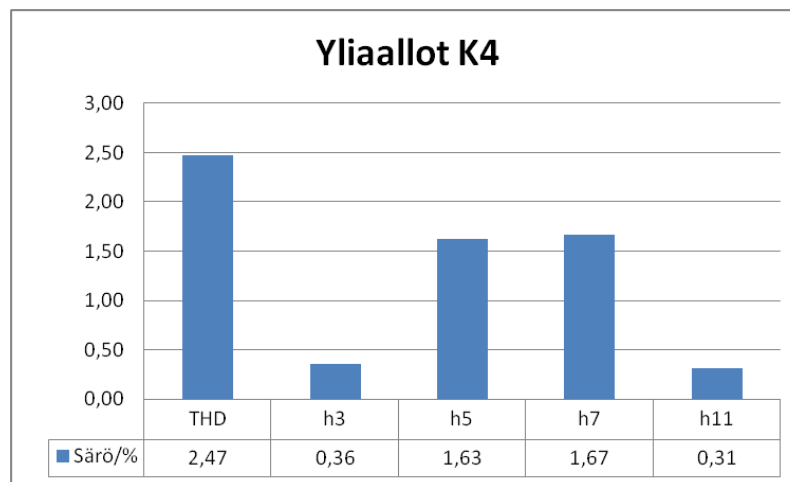
KUVA 12. Jännitteen amplitudi K5

K4

Kiskoston neljä sähkönlaadulliset tunnusluvut olivat kaikki hyvällä tasolla.

Yliaallot

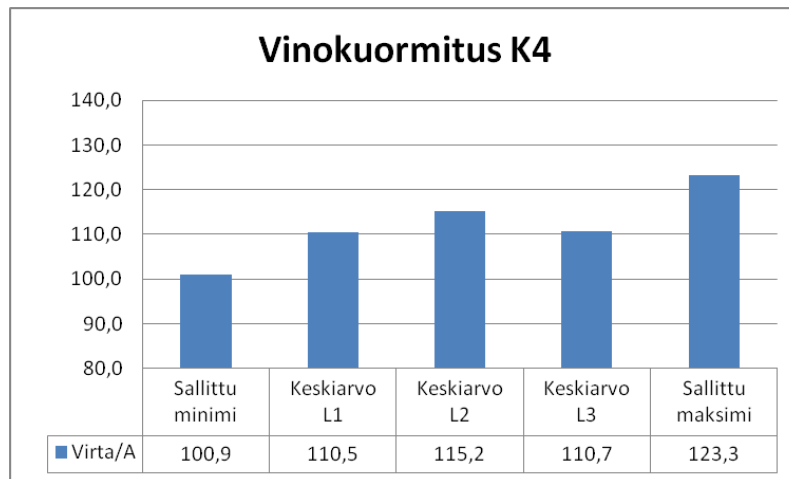
Yliaaltojen osalta kiskostossa neljä ei ollut moitittavaa (kuva 13.), sillä kokonaissärö jäi keskiarvoltaan lukemaan 2,47 %. Suurin yksittäinen harmoninen komponentti oli tällä kiskostolla seitsemäs harmoninen yliaalto, jonka osuus oli 1,67 % kokonaisjännittesäröstä. Standardiarvot alitetaan roimasti.



KUVA 13. Yliaallot K4

Vinokuormitus

Neljännän kiskoston kunkin eri vaiheen keskinäiset kuormitukset ovat hyvin tasaisia (kuva 14.). Keskiarvoina virrat olivat 110,5A – 115,2A välissä. Jotta saaduilla arvoilla vinokuormituksen rajat olisivat rikkoutuneet, olisi virran jollakin kiskostolla tullut olla alle 100,9A tai puolestaan yli 123,3A.

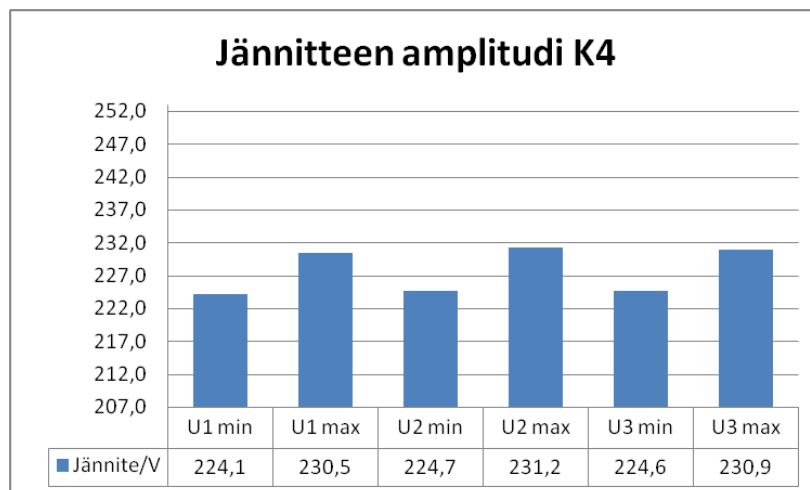
**KUVA 14. Vinokuormitus K4**

Loisteho

Kiskoston vuorokauden aikainen keskiarvoinen tehokerroin oli 0,98 induktiivista, joka on erittäin hyvä tulos. Lisäkompensoinnille ei ole tarvetta.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Jännitteenvaihteluiden osalta neljäs kiskosto osoittautui hyväksi (kuva 15.). Vuorokauden alin jännite löytyi vaiheelta yksi arvolla 224,1V, kun taas ylin jännite vaiheelta kaksi arvolla 231,2V. Tämän kiskoston jännitteet ovat erittäin hyvällä mallilla mittauksen perusteella.



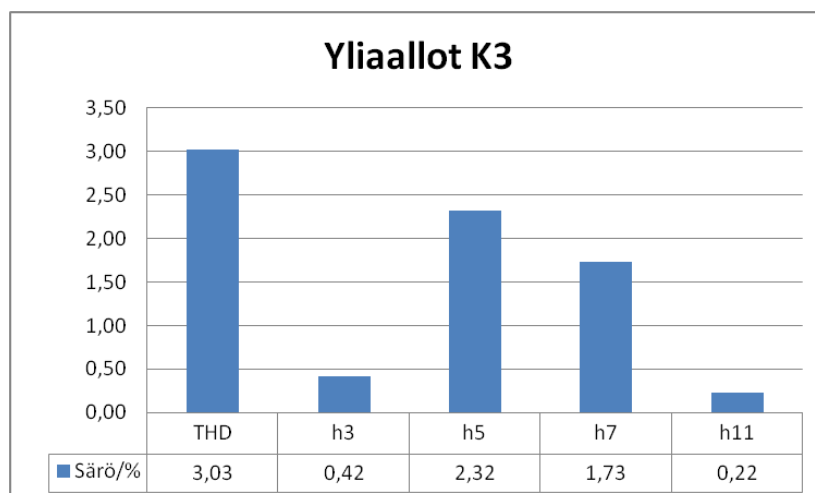
KUVA 15. Jännitteen amplitudi K4

K3

Kiskosto kolmen sähkönlaaduissa ei niin ikään näkynyt mitään huolestuttavaa. Tulokset näyttivät tasaisen hyviltä.

Yliaallot

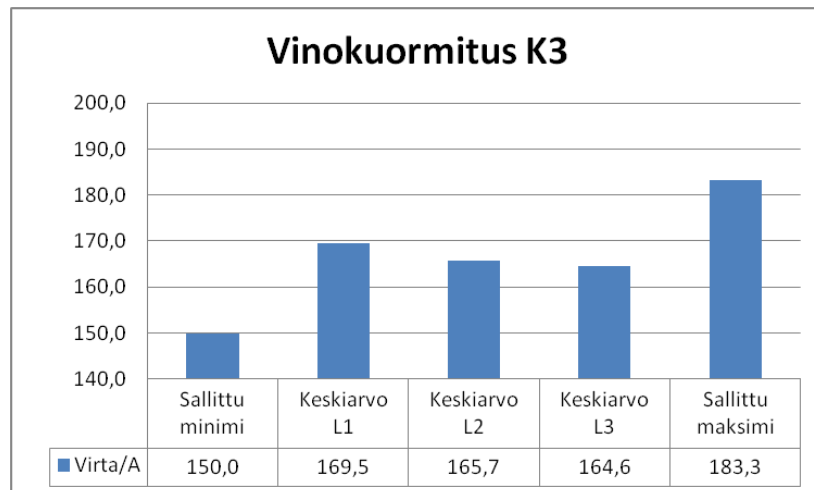
Kiskoston yliaallot (kuva 16.) olivat kokonaiskeskiarvosäröltään 3,03 %, joka on hyvä saavutus. Suurin yksittäinen yliaalto oli viides harmoninen yliaalto jonka osuus kokonaissäristä oli 2,32 %. Standardit täyttyvät helposti yliaaltojen osalta.



KUVA 16. Yliaallot K3

Vinokuormitus

Vinokuormitusta ei ollut tässä kiskostossa havaittavissa (kuva 17.), vaan virrat olivat eri vaiheiden välillä erittäin tasaiset prosentuaalisesti ottaen huomioon virran kokonaismäärän. Virta vaihteli vaiheiden välillä arvosta 164,6A arvoon 169,5A. Sallittu minimivirta kiskoston osalta on 150A ja maksimivirta 183,3A.



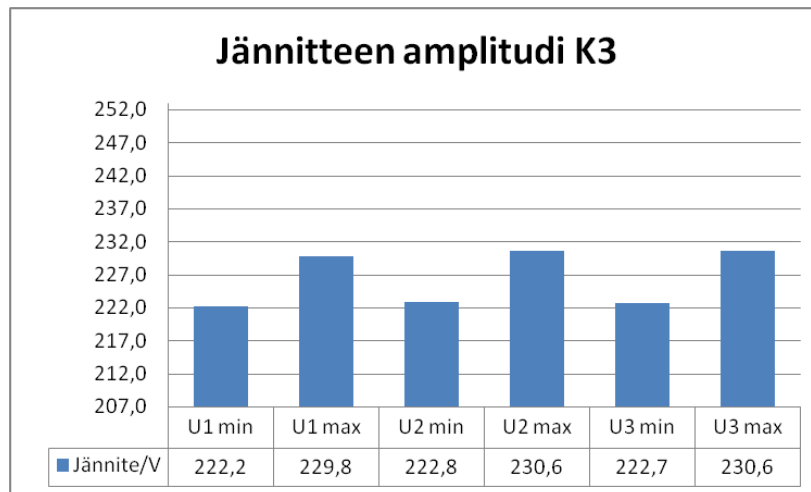
KUVA 17. Vinokuormitus K3

Loisteho

Kiskoston loisteho kerroin oli vuorokauden mittauksen ajan keskiarvona 0,97 joka on hyvä saavutus, eikä tämä tarvitse erityishuomiota.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Kolmannen kiskoston jännitteet olivat vuorokauden ajalta tasaiset (kuva 18.) vaihtelun ollessa 8,4V minimin löytyessä vaiheesta yksi arvolla 222,2V, sekä maksimin löytyessä vaiheilta kaksi ja kolme arvolla 230,6V.



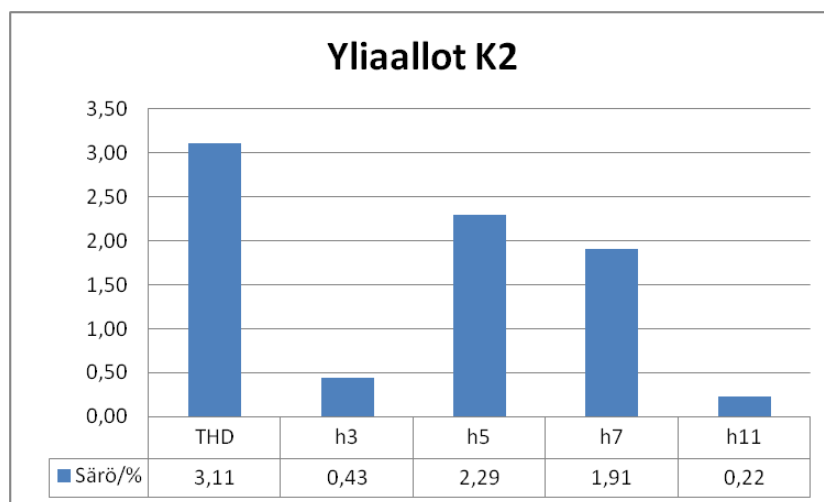
KUVA 18. Jännitteen amplitudi K3

K2

Kiskosto kakkosen sähkönlaatu on standardin mukaista mutta huomiota kannattaa kiinnittää vinokuormitukseen mikäli kiskostoon jatkossa vielä lisätään yksivaiheisia laitteita.

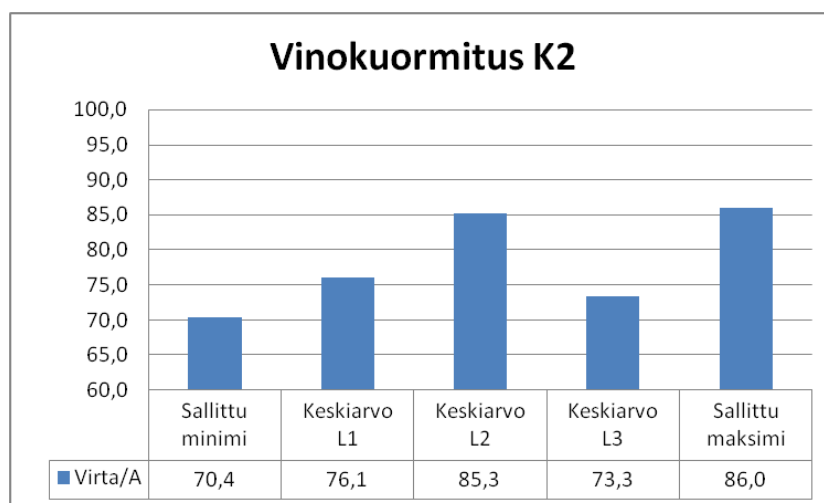
Yliaallot

Kiskoston yliaallot olivat hyvällä mallilla (kuva 19.) kokonaissärön jäädessä 3,11 % kokonaisjännitteestä. Suurin yksittäinen yliaalto-komponentti oli jälleen kerran viides yliaalto arvolla 2,29 %. Arvot ovat kuitenkin standardinmukaisia.

**KUVA 19. Yliaallot K2**

Vinokuormitus

Kiskoston virrat jakautuivat keskiarvoiltaan suhteellisen epätasaisesti (kuva 20.). Eniten kuormitettu on vaihe kaksi keskiarvo-virrallaan 85,3A sekä vähiten vaihe kolme keski-arvovirralla 73,3A. Vaihe yksi sijoittui näiden välille arvolla 76,1A. Raja-arvot tuloksista saatuina olivat minimi 70,4A sekä maksimi 86A. Huomiota kannattaa jatkossa kiinnittää erityisesti vaiheen kaksi ja kolme käyttäytymiseen mikäli lisätään yksivaiheisia kuormia, kakkosvaiheelle niitä ei tule kytkeä mutta kolmannelle vaiheelle voi yksivaiheisia laitteita vielä lisätä. Näin pysyy vaiheiden keskinäinen kuormitus hyvin hallinnassa.

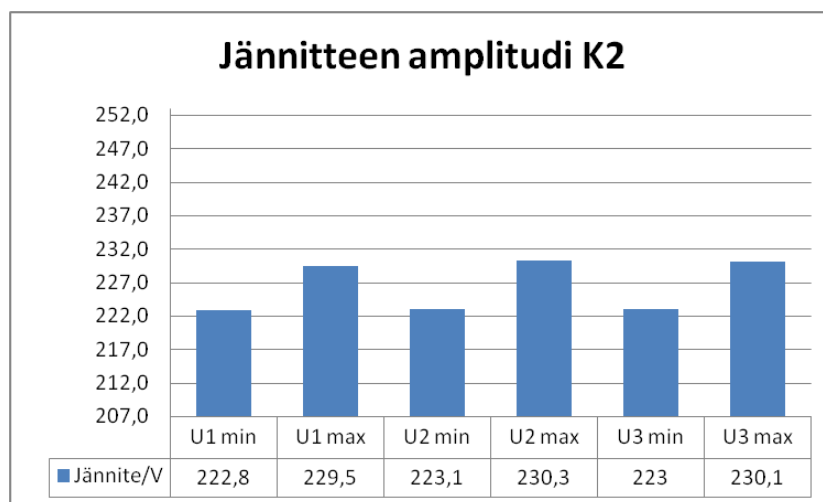
**KUVA 20. Vinokuormitus K2**

Loisteho

Kiskostosta mitattu keskiarvoinen tehokerroin vuorokauden ajalta oli 0,91 induktiivista. Lukema on alhaisempi kuin useimmissa mittauskohteissa mutta ei silti ole hälyttävä lukema ottaen huomioon kiskossa kulkevat virrat verrattuna kokonaisvirtaan kyseisellä jakelu-muuntajalla joka on noin tuhat ampeeria vaihetta kohti muuntajan toisiopuolella.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Kiskostossa vallitsevat jännitteet olivat vuorokauden mittauksen ajalta hyvää tasoa (kuva 21.) alimman jännitteen löytyessä vaiheelta yksi arvolla 222,8V sekä suurimman jännitteen vaiheelta kaksi arvolla 230,3.



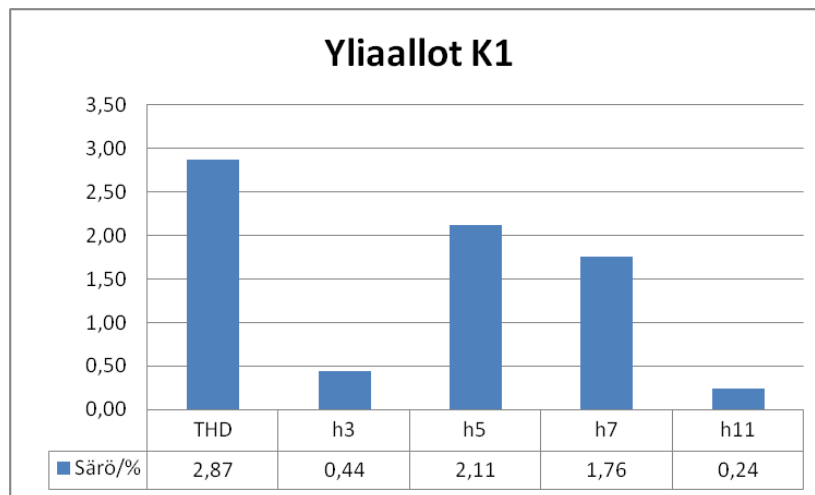
KUVA 21. Jännitteen amplitudi K2

K1

Kiskosto ykkösesä oli havaittavissa vinokuormitusta joka sekä alitti minimirajan, että ylitti maksimirajan. Muuten kiskoston sähkö oli hyvälaatuista.

Yliaallot

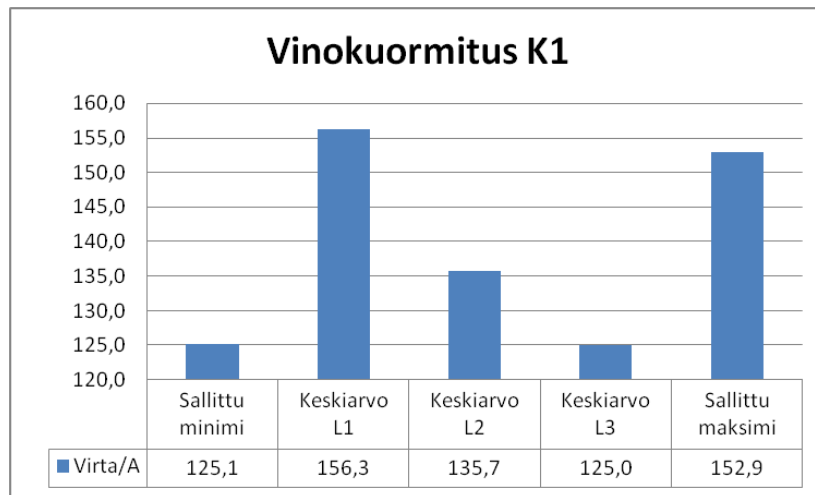
Kiskostossa ei esiintynyt hälyttäviä yliaaltoja (kuva 22.). Keskiarvoinen jännitteen kokonaissärö oli 2,87 %. Suurin yksittäinen komponentti oli taas kerran viides komponentti arvolla 2,11 %.



KUVA 22. Yliaallot K1

Vinokuormitus

Kiskostossa oli havaittavissa vinokuormitusta sekä alittavana että ylittävänä osana (kuva 23.). Keskiarvoiset virrat olivat vaihejärjestyksessä 156,3A, 135,7A sekä 125A. Minimirajana oli 125,1A ja maksimirajana 152,9A. Tähän suosittelen yksivaiheisten sähkölaitteiden siirtämistä ensimmäiseltä vaiheelta pääosin kolmannelle vaiheelle ja aavistuksen toiselle vaiheelle, jotta saataisiin mahdollisimman tasaiset virrat vaiheiden välille. Vinokuormituksesta huolimatta nollajohtimessa ei kulkenut liikaa virtaa, eikä kolmatta yliaaltoa esiintynyt sen enempää kuin muissakaan kiskostoissa kyseisessä hallissa. Erittäin pientä jännite-epäsymmetriaa oli havaittavissa rajuimpina vinokuormituksen hetkinä. Erot vaiheiden välisissä jännitteissä ei kuitenkaan olleet korkeintaan kuin kaksi voltia kullakin hetkellä, joka on erittäin vähän.



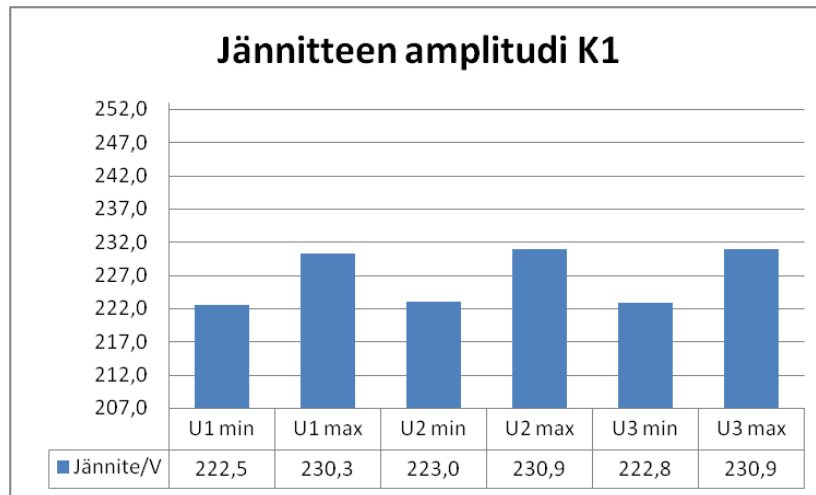
KUVA 23. Vinokuormitus K1

Loisteho

Kiskoston loisteho vuorokauden ajalta oli keskiarvona 0,98. Tästä lukemasta voidaan päätellä että kompensointi tällä kyseisellä kiskostolla on kunnossa.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Kiskoston jännite ei päässyt minimi- ja maksimiarvoiltaan poikkeamaan muista kiskostoista (kuva 24.), vaikka tällä kiskostolla olikin esiintynyt vinokuormitusta. Vuorokauden minimijännite oli 222,5V vaiheelta yksi sekä maksimijännite oli 230,9V, joka oli sekä toisessa että kolmannessa vaiheessa sama.



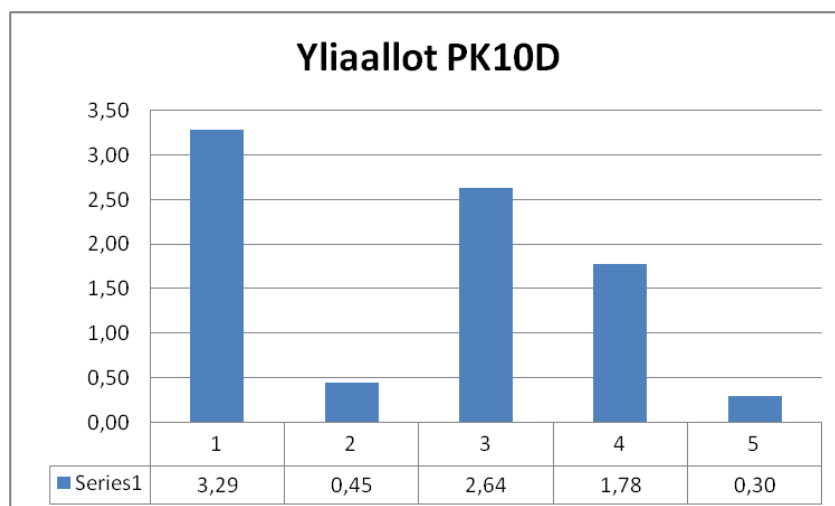
KUVA 24. Jännitteen amplitudi K1

PK10D

Keskuksen PK10D osalta mittaus kesti vain vajaa kuusi tuntia akun loppumisen vuoksi. Kuitenkin vajaan kuuden tunnin tulosten perusteella tässä keskuksessa ei ole mitään hälyttävää sähkönlaadullisesti. Loistehon määrään kannattaa kuitenkin kiinnittää huomiota.

Yliaallot

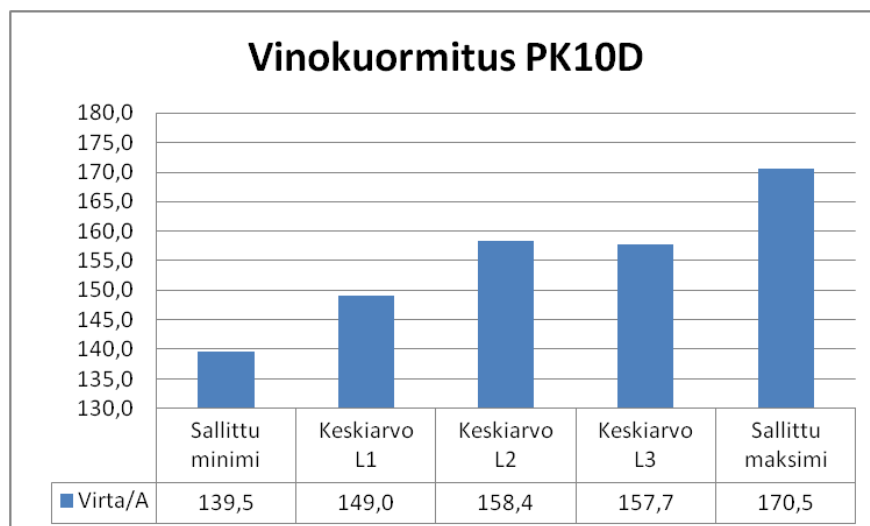
Keskuksen yliaalloissa mitatun kuuden tunnin ajalta ei näy mitään normaalista poikkeavaa (kuva 25.). Keskimääräinen särö oli 3,29 % sekä suurin yksittäinen yliaalto viides yliaalto säröllä 2,64 %.



KUVA 25. Yliaallot PK10D

Vinokuormitus

Keskuksessa vallitsevat kuormitukset ovat lähellä toisiaan (kuva 26.) ääripäiden ollessa 149A – 158,4A. Ottaen huomioon raja-arvot 139,5A ja 170,5A, on tämän keskuksen osalta kuormitus hyvin tasaista.



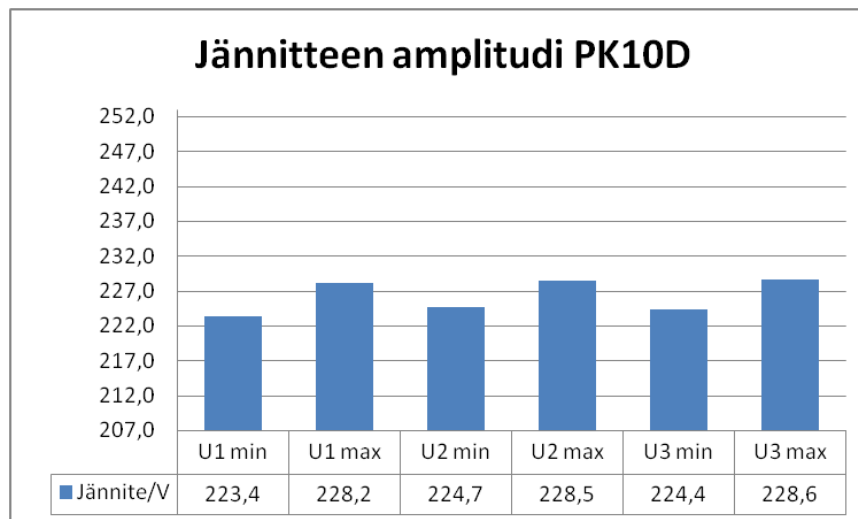
KUVA 26. Vinokuormitus PK10D

Loisteho

Loistehokerroin mitatussa keskuksessa oli mittauksen ajalta keskiarvillisesti 0,83 induktiivista. Ottaen huomioon keskuksessa vallitsevat virrat, jotka ovat noin 150A luokkaa, kannattaisi kompensointi tämän keskuksen osalta tarkastaa.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Tämän keskuksen osalta jännitevaihtelut pysyivät pienenä (kuva 27.), koska mittauksen aikana kuormitukset eivät kerenneet heitellä niin rajusti, että ne olisivat aiheuttaneet enemmän jännitevaihteluita. Mittauksen ajan minimijännite löytyi vaiheelta yksi arvolla 223,4V sekä maksimi vaiheelta kolme arvolla 228,6V. Näidenkin tuloksien perusteella voi kuitenkin jo sanoa että jännite on tarpeeksi tasaista joten jännitekuoppia eikä –piikkejä esiinny mitä luultavammin muinakaan vuorokauden aikoina.



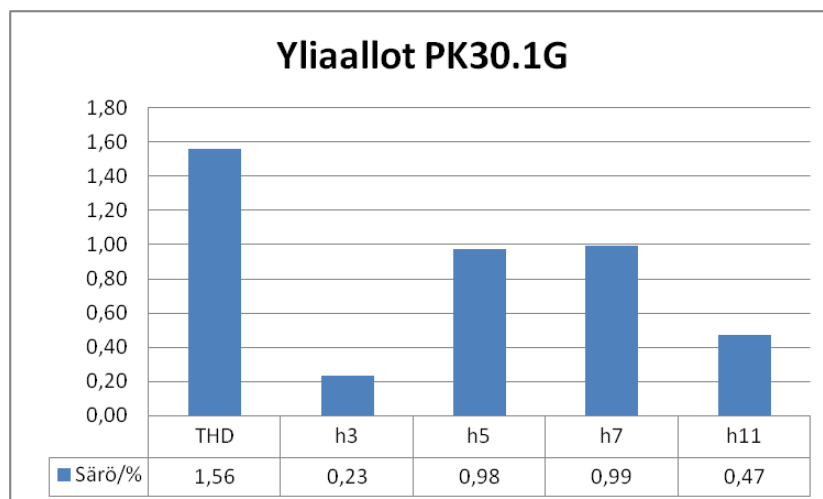
KUVA 27. Jännitteen amplitudi PK10D

PK30.1G

Keskuksen PK30.1G osalta sähkön laatu vaikutti hyvälaatuiselta, eikä aiheuta minun puolestani suosituksia jatkotoimenpiteille. Eritoten yliaaltojen osalta keskus oli erittäin hyvällä mallilla.

Yliaallot

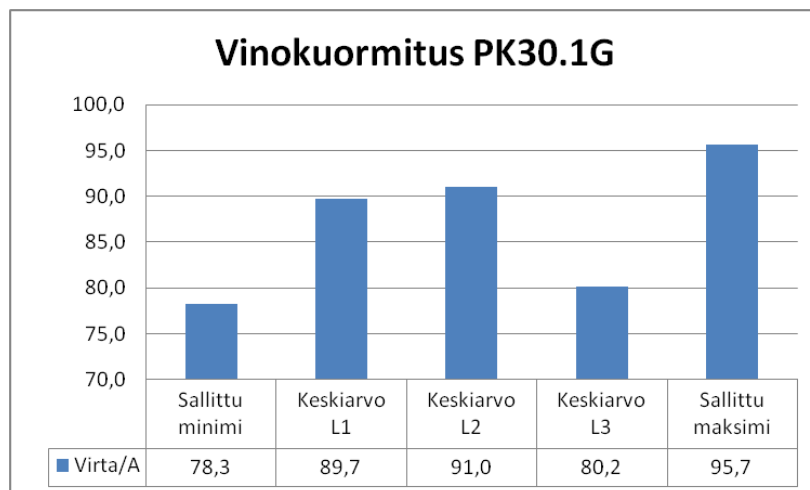
Yliaaltojen osalta keskus oli erittäin hyvällä mallilla (kuva 28.) kokonaissärön jäädessä 1,56 % kokonaisjännitteestä. Tämä on jo erittäin hyvä tulos. Suurin yksittäinen komponentti oli seitsemäs yliaalto arvolla 0,99 %. Tulokset alittavat selkeästi standardin asettamat raja-arvot.



KUVA 28. Yliaallot PK30.1G

Vinokuormitus

Tämän keskuksen osalta vinokuormitusta ei ollut vielä havaittavissa (kuva 29.), mutta kolmas vaihe on kuitenkin aavistuksen muita vaiheita vähemmän kuormitettu. Vaiheiden yksi ja kaksi ollessa kuormitukseltaan noin 90 ampeeria, jää kolmas vaihe keskiarvoltaan 80 ampeerin kuormitukseen. Raja-arvoina oli tällä keskuksella minimi 78,3A sekä maksimi 95,7A. Mikäli tulevaisuudessa yksivaiheisia kuormia tullaan keskuksen lisäämään, suosittelen sijoittamaan ne kolmannen vaiheen perään.



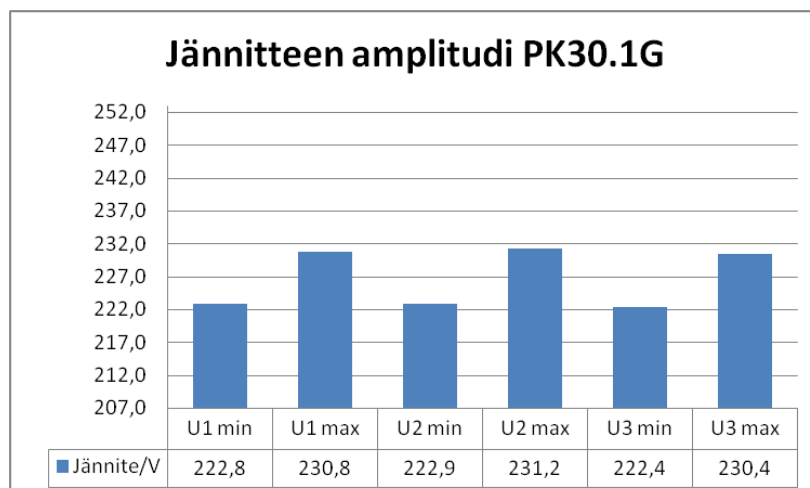
KUVA 29. Vinokuormitus PK30.1G

Loisteho

Keskuksen osalta mitattu loistehokerroin vuorokauden ajalta oli keskimäärin 0,94 induktiivista joka on hyvä saavutus.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Keskuksen PK30.1G jännite pysyi stabiilina mitatun vuorokauden ajan (kuva 30.) vaihdellen vaiheen kolme 222,4 voltista vaiheen kaksi 231,2 volttiin. Nämä ovat hyvin kontrollissa olevia vaihteluita, eivätkä aiheuta syytä jatkotutkimuksiin.



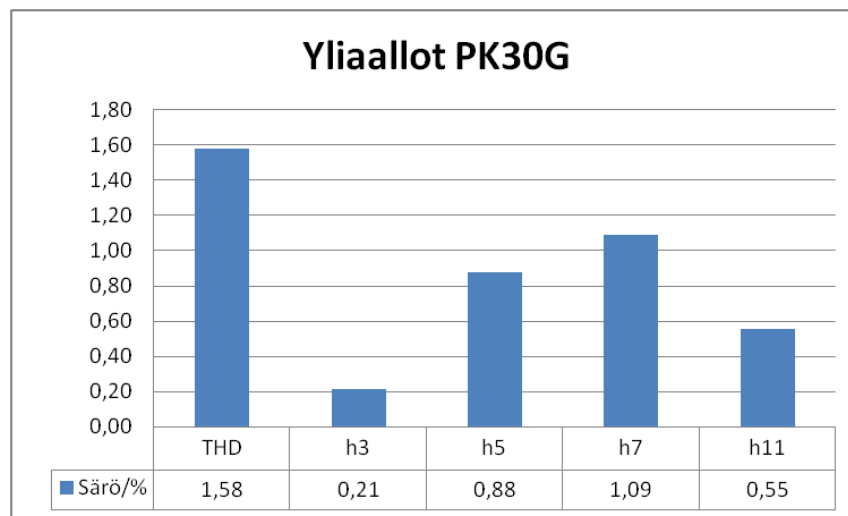
KUVA 30. Jännitteen amplitudi PK30.1G

PK30G

Mitatussa keskuksessa havaittiin vinokuormitusta sekä mittaustekniikasta johtuen loisteho-arvot olivat mittauksen osalta vääristyneitä. Koska tehokertoimen vääristyminen johtui mittaustekniikasta, ei mitattua tehokerrointa lähdetä tarkastelemaan tarkemmin. Tämä keskus on mitattu muuntajan puolelta toisin kuin myöhemmin esiintyvä nimike PK30G, joka on mitattu keskuksen puolelta.

Yliaallot

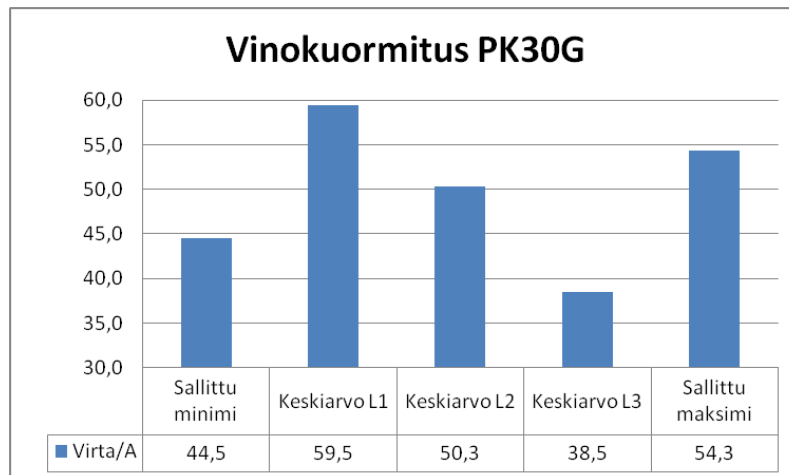
Keskuksen PK30G yliaallot olivat erittäin pienet kokonaissäron ollessa vain 1,58 % (kuva 30.). Suurin yksittäinen komponentti oli seitsemäs yliaalto, jonka osuus säröstä oli 1,09 %. Nämä ovat erittäin hyviä lukemia yliaaltojen pitoisuuksille.

**KUVA 30. Yliaallot PK30G****Vinokuormitus**

Keskuksessa on havaittavissa suhteellisesti suurehkoa vinokuormitusta (kuva 31.). Vaihevirrattajärjestyksessä ovat 59,5A, 50,3A sekä 38,5A. Raja-arvoina olivat minimi 44,5A sekä maksimi 54,3A. Näitä tarkastellen ensimmäisellä vaiheella on liikaa kuormitusta, sekä kolmannella vaiheella sitä on liian vähän. Suosittelemme vaihtamaan

Tuloksien analysoinnit

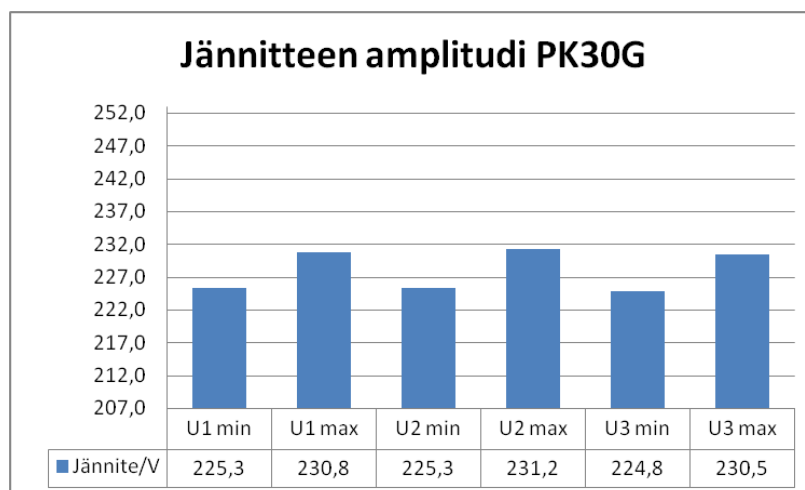
yksivaiheista kuormitusta ensimmäiseltä vaiheelta kolmannelle vaiheelle, mikäli se vain on mahdollista. Tässä keskuksessa ei kuitenkaan ollut havaittavissa juurikaan jännite-epäsymmetriaa, nollajohtimen liikakuormitusta eikä kolmatta yliaaltoa jotka ovat yleisesti vinokuormituksen aiheuttamia.



KUVA 31. Vinokuormitus PK30G

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Keskuksessa mitatut jännitteet ovat tasaisia (kuva 32.) vaihteluiltaan todetusta vinokuormituksesta huolimatta. Vuorokauden alin jännite mitattiin vaiheilta yksi ja kaksi arvolla 225,3V sekä puolestaan ylin arvo vaiheelta kaksi arvolla 231,2V. Tämä on erittäin normaali vaihteluväli eikä aiheuta lisätoimenpiteitä.



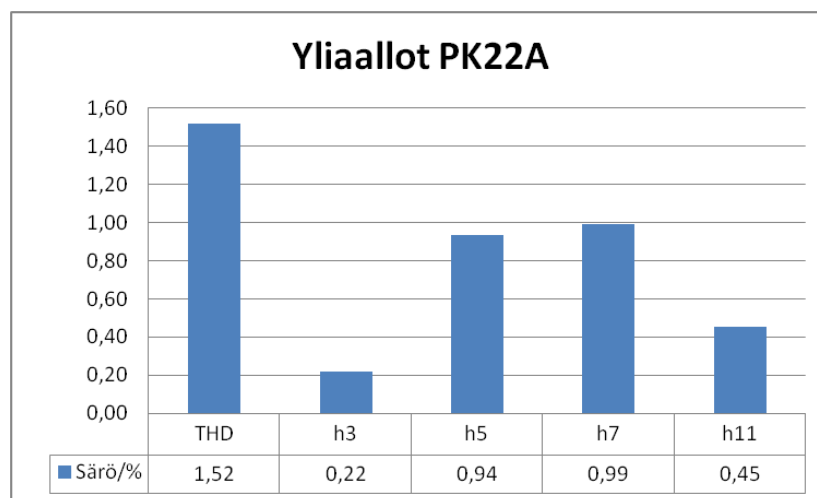
KUVA 32. Jännitteen amplitudi PK30G

PK22A

Keskuksen PK22A sähkönlaatu oli pääasiassa hyvää lukuunottamatta pientä epäsymmetristä kuormitusta vaiheiden välillä. Arvot pysyivät kuitenkin vielä raja-arvojen sisäpuolella. Loistehokerrointa ei tarkastella lähemmin, koska se oli päässyt mittaustekniikasta johtuen vääristymään erittäin rajusti.

Yliaallot

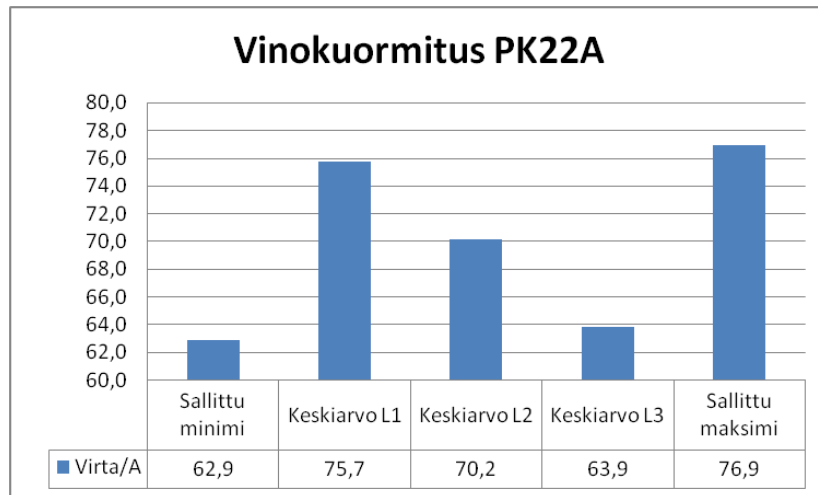
Yliaaltojen osalta keskuksen sähkö oli erittäin hyvälaatuista (kuva 33.), särö oli vuorokauden keskiarvoltaan vain 1,52 %. Suurin särö-komponentti oli seitsemäs yliaalto jonka osuus oli 0,99 %. Nämä ovat erittäin hyviä tuloksia standardeihin verrattessa.

**KUVA 33. Yliaallot PK22A****Vinokuormitus**

Keskuksella PK22A oli havaittavissa pientä epäsymmetriaa vaiheiden välillä (kuva 34.). Virrat olivat kuitenkin raja-arvojen sisällä. Pienin virta löytyi vaiheelta kolme arvolla 63,9A, sekä suurin virta vaiheelta yksi arvolla 75,7A. Raja-arvot olivat minimi 62,9A sekä maksimi 76,9A. Mikäli jatkossa keskukseseen kytketään yksivaiheisia kuormia, suosittelen niitä kytkettäväksi kolmannelle vaiheelle vaihevirtojen

Tulosten analysoinnit

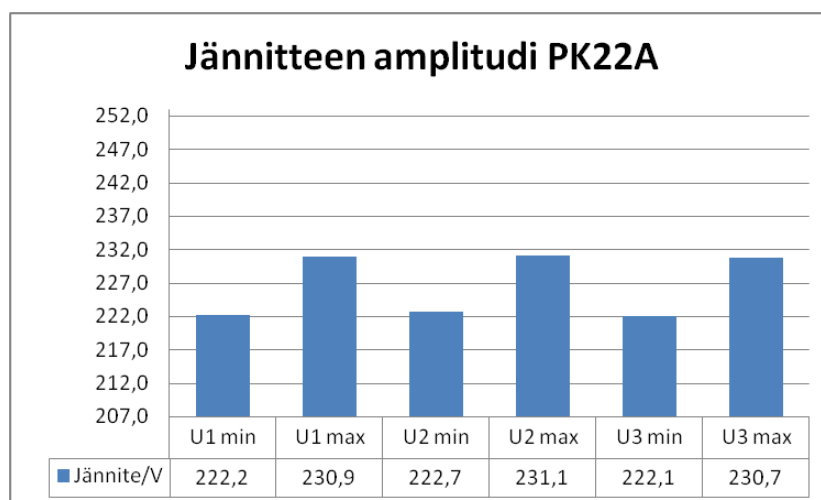
tasaamiseksi. Vinokuormitus ei kuitenkaan aiheuttanut kolmatta yliaaltoa, nollajohtimen liikakuormitusta tai kolmatta yliaaltoa.



KUVA 34. Vinokuormitus PK22A

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Keskuksen jännitteet olivat hyvin standardien sisäpuolella koko mitatun vuorokauden ajan (kuva 35.). Alin jännite mitattiin vaiheelta kolme arvolla 222,1V, sekä suurin jännite vaiheelta kaksi arvolla 231,1V. Verkon runsas kapasitiivisuus saattaa nostaa verkon tehollisjännitettä. Vaikka verkossa esiintyi kapasitiivisuutta runsaasti, ei jännite ollut sen toimesta silti päässyt nousemaan juuri yhtään.



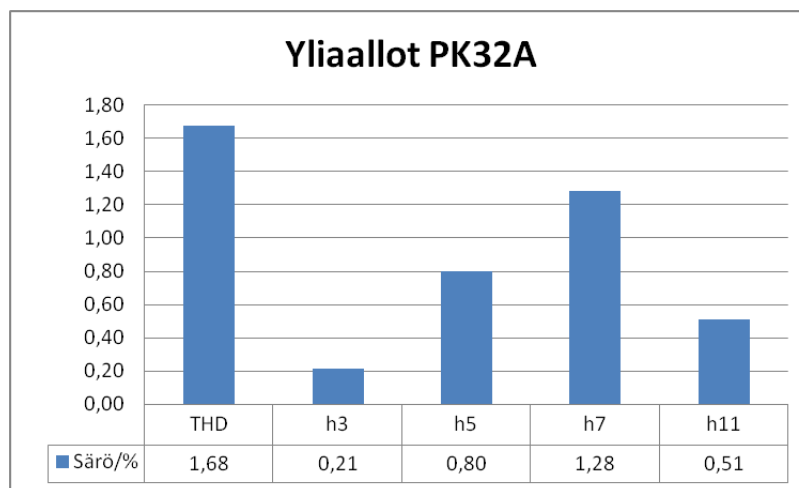
KUVA 35. Jännitteen amplitudi PK22A

PK32A

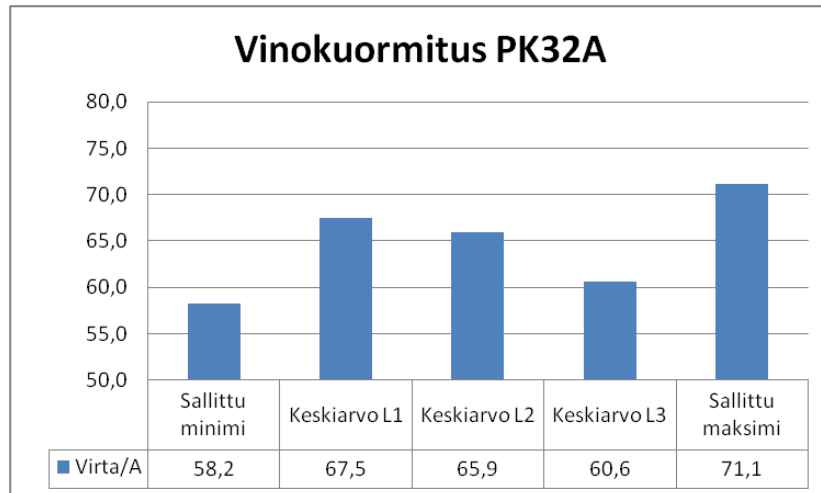
Keskuksen PK32A sähkönlaatu on pääosin hyvää. Loistehokerroin ei ole aivan niin hyvä kuin se ideaalitalanteessa olisi, joten siihen tulisi kiinnittää jatkossa huomiota.

Yliaallot

Yliaallot olivat keskuksen osalta hyvällä mallilla (kuva 36.). Kokonaissärö oli vuorokauden keskiarvoltaan vain 1,68 %. Suurimman osan tästä säröstä tuotti seitsemäs harmoninen yliaalto arvolla 1,28 %. Nämä tulokset ovat erittäin hyviä eivätkä aiheuta jatkotoimenpiteitä.

**KUVA 36. Yliaallot PK32A****Vinokuormitus**

Keskuksen vaiheet ovat keskenään suhteellisen tasaisesti kuormitettuja (kuva 37.). Alin keskiarvo-virta löytyy vaiheelta kolme arvolla 60,6A sekä suurin virta vaiheelta yksi arvolla 67,5A. Minimivirta oli keskuksen osalta 58,2A sekä maksimivirta 71,1A. Mikäli jatkossa keskukseseen lisätään yksivaiheisia kuormia, tulisi ne kytkeä kolmannen vaiheen perään, mikäli se vain on mahdollista.



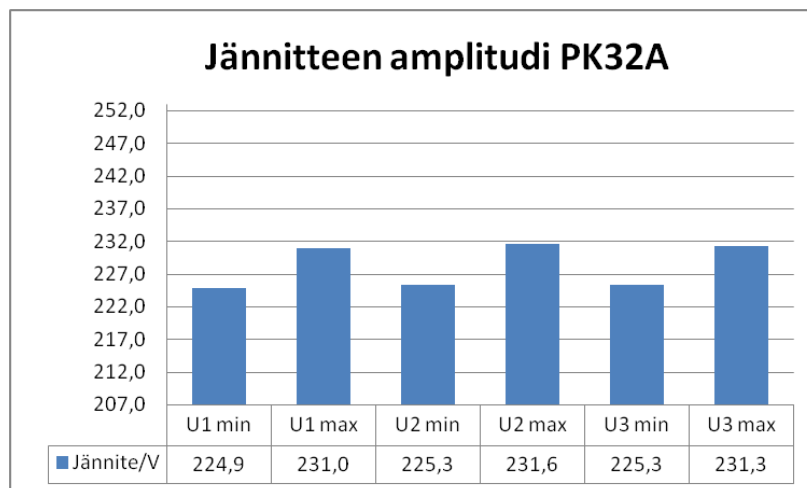
KUVA 37. Vinokuormitus PK32A

Loisteho

Tehokerroin keskuksen osalta oli vuorokauden keskiarvona 0,88 induktiivista joka on aavistuksen verran pienempi kuin sen kuuluisi normaalisti kompensoituna olla. Ottaen huomioon keskuksen keskiarvoiset, suhteellisen pienet virrankulutukset, ei tämä tehokerroin kuitenkaan aiheuta huolta liiasta loistehosta suhteutettuna laitoksen kokonaiskulutukseen.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Keskuksen PK32A jännite pysyy selvästi standardin mukaisena koko mitatun vuorokauden ajan (kuva 38.). Vuorokauden alin jännite löytyy vaiheelta yksi arvolla 224,9V sekä suurin jännite vaiheelta 231,6V.



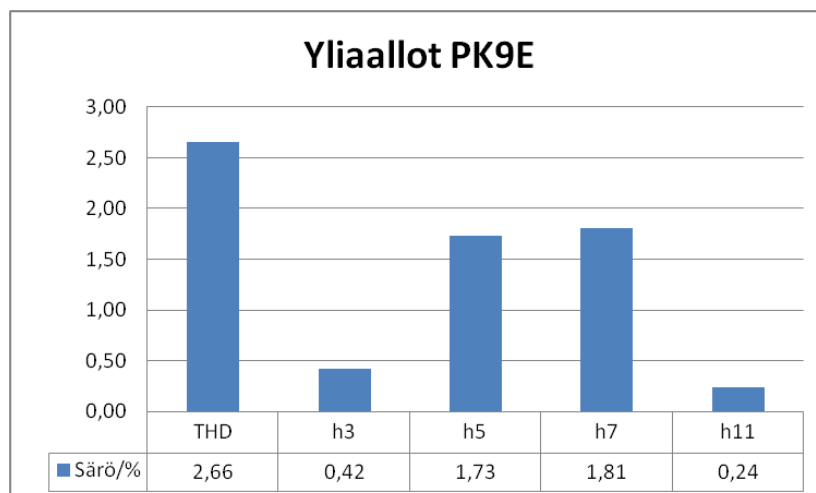
KUVA 38. Jännitteen amplitudi PK32A

PK9E

Keskuksen PK9E sähkönlaatu oli pääasiassa hyvää, mutta mittauksen aikana esiintyi huomattavaa lyhytaikaista jännitteen alenemaa.

Yliaallot

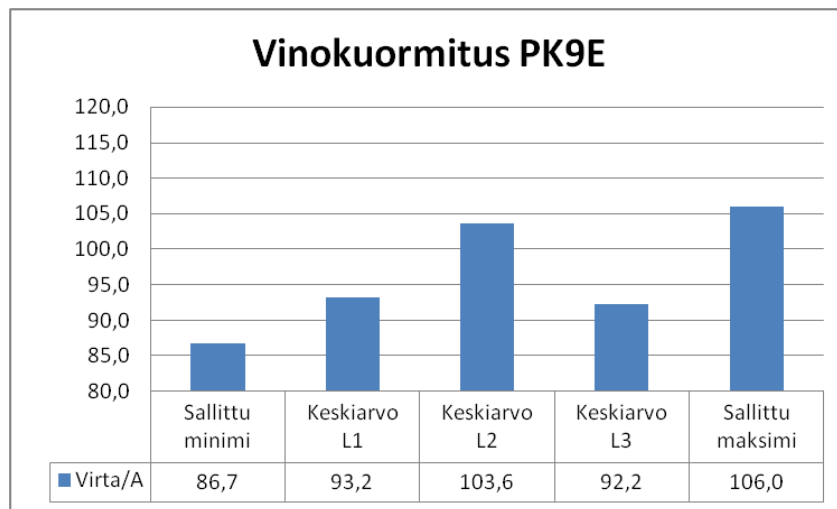
Keskuksessa mitatut yliaallot olivat hyvällä tasolla (kuva 39.). Keskiarvoinen jännitesärö jäi 2,66 %:iin, ja suurin komponentti oli seitsemäs yliaalto arvolla 1,81 %. Nämä ovat reilusti alle standardien raja-arvojen.



KUVA 39. Yliaallot PK9E

Vinokuormitus

Mitatussa keskuksessa ei havaittu mittauksen aikana vinokuormitusta niin paljoa että raja-arvot olisivat ylittyneet (kuva 40.). Virrat olivat vaihejärjestyksessä 93,2A, 103,6A sekä 92,2A. Raja-arvot olivat 86,7A ja 106A. Mikäli jatkossa kytketään lisää yksivaiheisia kuormia keskukseseen, suosittelen lisäämään ne ensimmäiselle tai kolmannelle vaiheelle.



KUVA 40. Vinokuormitus PK9E

Loisteho

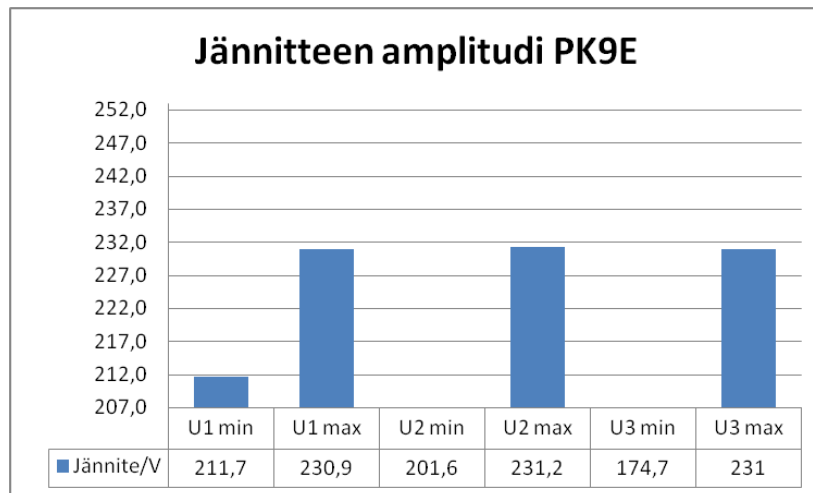
Keskuksen tehokerroin mitatulta vuorokaudelta oli keskimäärin 0,99 induktiivista, joka on hyvä saavutus. Kompensointia ei tarvitse päivittää tämän keskuksen osalta.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Keskuksessa havaittiin suuria jännitenotkahduksia mittauksen aikana (kuva 42.). Ensimmäisen vaiheen pienin jännite oli 211,7V joka on standardien sisäpuolella, mutta on jo alempi kuin jännitteen pitäisi olla normaalikäytöissä. Toisen vaiheen minimijännite oli 201,6V joka on jo standardin raja-arvon alittava lukema. Kolmannella vaiheella todettiin vielä suurempi notkahdus kun jännite pääsi tippumaan 174,7 volttiin joka alittaa standardin mukaisen 207V arvon jo yli kolmellakymmenellä

Tulosten analysoinnit

voltilla. Notkahduksien kesto oli kullakin vaiheella kuitenkin maksimissaan vain 330 millisekuntia. Koska kyse oli yksittäisestä, näinkin lyhyestä jännitteenalenemasta, ei jatkotoimenpiteitä tämän osalta tarvita.



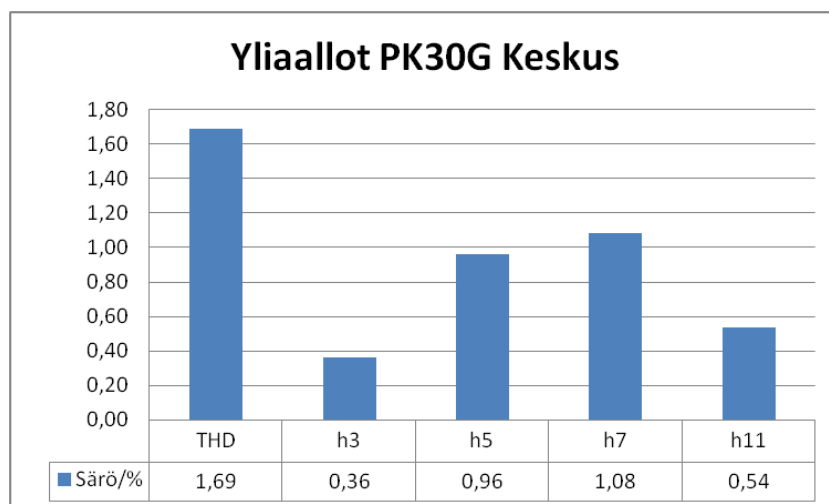
KUVA 42. Jännitteen amplitudi PK9E

PK30G Keskus

Keskuksen PK30G sähkönlaatu pääasiallisesti hyvää, mutta vaiheiden välistä vinokuormitusta esiintyi jonkin verran. Tämä mittaus suoritettiin keskuksen puolelta, toisin kuten aikaisempi nimike PK30G, joka on mitattu muuntajan puolelta.

Yliaallot

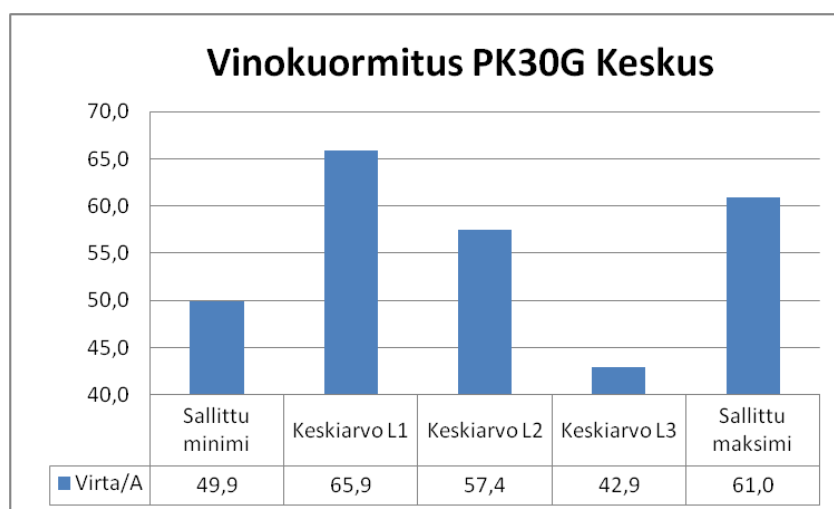
Keskuksessa oli vuorokauden mittauksen keskiarvona yliaaltoja vain 1,69 %, joka on erittäin vähän (kuva 43.). Suurin yksittäinen komponentti oli seitsemäs yliaalto arvolla 1,08 %. Nämä ovat hyviä arvoja, jotka alittavat standardin raja-arvot selkeästi.



KUVA 43. Yliaallot PK30G Keskus

Vinokuormitus

Mittauksen aikana havaittiin vinokuormitusta sekä raja-arvot ylitettiin sekä minimin että maksimin osalta (kuva 44.). Vaiheen yksi virta oli 65,9A, kun taas vaiheen kolme arvo oli 42,9A. Raja-arvoina olivat 49,9A ja 61A. Suosittelemme siirtämään yksivaiheisia kuormia vaiheelta yksi vaiheelle kolme. Tämä tasaa vaiheiden välistä kuormitusta. Vinokuormitus ei mittauksien mukaan kuitenkaan aiheuttanut kolmatta yliaaltoa, nollajohtimen liikakuormitusta eikä jännitteen epäsymmetriaa.



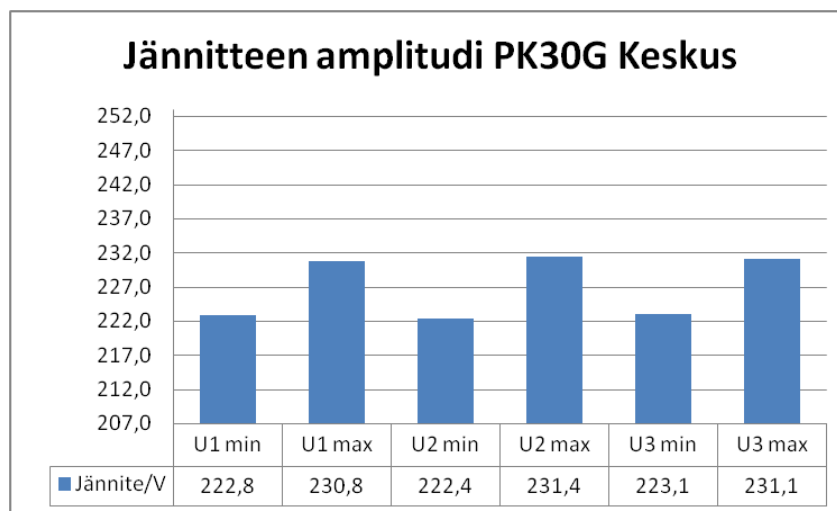
KUVA 44. Vinokuormitus PK30G Keskus

Loisteho

Keskuksen keskimääräinen loisteho vuorokauden ajalta oli 0,97 induktiivista. Tämä on hyvä tulos, eikä johda jatkotoimenpidesuositteluihin.

Jännitteen amplitudin vaihtelu

Keskuksen jännite oli vuorokauden aikana tasaista (kuva 45.). Minimijännite löytyi vaiheelta kaksi arvolla 222,4V sekä maksimijännite myös vaiheelta kaksi arvolla 231,4V. Nämä arvot ovat hyvin standardien raja-arvojen sisäpuolella eivätkä anna syytä huoleen.



KUVA 45. Jännitteen amplitudi PK30G Keskus