



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

JAKELUVERKON TUTKIMI- NEN PARTAHARJUN PUU- TARHA OY:LLÄ

TEKIJÄ: Ville Huusko

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Ville Huusko			
Työn nimi Jakeluverkon tutkiminen Partaharjun Puutarha Oy:llä			
Päiväys	9.10.2016	Sivumäärä/Liitteet	48 + 4
Ohjaaja(t) Lehtori Timo Savallampi, lehtori Jari Ijäs			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Partaharjun Puutarha Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Partaharjun Puutarha Oy. Partaharjun Puutarha Oy:n Suomen kanta-verkkoyhtiö Fingrid Oyj:ltä saamista loistehoraporteista ilmenee, että yritys tuottaa kapasitiivista loiskuormaa kantaverkkoon. Yritys halusi selvityksen, mikä sen verkossa aiheuttaa kapasitiivista loiskuormaa.</p> <p>Partaharjun Puutarha on Fingridin 110 kV:n siirtoverkon suora-asiakas. Puutarhan alueelle kuuluu kuusi puistomuuntamoita, joista tutkimuksessa keskityttiin kahteen muuntamoon. Näistä puistomuuntamoista tulee sähkö kasvihuoneiden valaistukselle, jossa ongelmia on esiintynyt.</p> <p>Tämän työn tavoite oli selvittää Partaharjun Puutarhan jakeluverkoston nykytilannetta. Tutkimuksessa selvitettiin puutarhan kompensointiparistojen sijainti, tarkastus, kytkentätila sekä kahdesta etukäteen valitusta muuntamosta mitattiin jännitteet, lois- ja pätötehot, vaihekohtaiset virrat ja tehokertoimet, jännite- ja virtayliaallot, jännitteen ja virran kokonaissäröt.</p> <p>Mittauksissa käytettiin Fluke 434 -tehoanalysointilaitetta. Mittaukset suoritettiin 15.8.2016 ja mittausajanjakso muuntamoilla olivat 1-2 tuntia. Opinnäytetyöstä laadittiin raportti ja esitettiin parannusehdotukset Partaharjun Puutarhalle saaduista tuloksista.</p> <p>Työn tuloksista saatiin selville, että tutkittavien muuntamoiden valaistusosastot tuottavat kapasitiivista loiskuormaa, jonka suuruusluokka vastaa Fingridin loistehoraportin arvoja. Valaistusosastoilla huomattiin mittauksen aikana olevan useita toimimattomia valaisimia. Toimimattomien valaisimien valaisinkohtaiset kompensointiyksiköt tuottavat kapasitiivista loiskuormaa verkkoon. Kapasitiivista loiskuormaa tuottavat myös muuntamoiden jakokeskuksilla olevat kiinteät kompensointiparistot. Jakokeskuksilla olevien kompensointiparistojen sijainnit kartoitettiin ja niiden tarkastuksessa todettiin paristojen olevan toimintakuntoisia.</p>			
Avainsanat Loisteho, pätöteho, kondensaattori, muuntamo			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Ville Huusko			
Title of Thesis Study of Distribution Network at Partaharjun Puutarha Oy			
Date	9 October 2016	Pages/Appendices	48 + 4
Supervisor(s) Mr. Timo Savallampi, Lecturer and Mr. Jari Ijäs, Lecturer			
Client Organisation/Partners Partaharjun Puutarha Oy			
<p>Abstract</p> <p>The client organization of this thesis was Partaharjun Puutarha Oy. The idea for the study was initiated by the client as the report from Fingrid Oyj notes that Partaharjun Puutarha Oy produces capacitive reactive power to the main grid.</p> <p>Partaharjun Puutarha is a customer of Fingrid Oyj's 110kV transfer network. The company has six transformer substations, and this study focused on two transformer substations. These two transformer substations supply energy to the greenhouses where the problems have arisen.</p> <p>The purpose of this study was to define the current situation of the distribution network at Partaharjun Puutarha Oy. In this study the two beforehand decided transformer substations were analysed, including measuring voltage, reactive and active power, phase related currents and power factors, voltage surge, current wave, and total distortion of voltages and currents. Additionally, the location, the condition and coupling of condensator batteries were defined.</p> <p>The measurement was done using the Fluke 434 power analyzer. The measurement was done on 15 August 2016 and the measurement time for each of the transformer substations was 1 to 2 hours. The results of the thesis including a proposal for improvement were reported to Partaharjun Puutarha Oy.</p> <p>The results of this study indicate that the greenhouses related to the two analysed transformer substations produce capacitive reactive power. The amount of capacitive reactive power is of the same order as the report from Fingrid Oyj notes. During the investigation the greenhouses had several inoperative lights. The individual compensation capacitors of the inoperative lights produce capacitive reactive power to the grid. In addition, fixed capacitors located at supply stations of transformer substations also produce capacitive reactive power to the grid. In the study the location of the fixed capacitors was defined. The fixed capacitors were verified to be in working order.</p>			
Keywords Reactive power, active power, condensator, transformer substation			

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Partaharjun Puutarha Oy:lle.

Kiitän ohjaavia opettajia lehtori Timo Savallampea ja lehtori Jari Ijästä ohjauksesta sekä Partaharjun Puutarhan tekniikkavastaavaa Reima Hirvosta hyvästä opinnäytetyöaiheesta ja avustamisesta opinnäytetyön mittaus- sekä selvitysvaiheissa.

Kiitän myös avopuolisoani Tiina Katajamäkeä avustuksesta sekä kannustuksesta työn eri vaiheissa.

Kuopiossa 9.10.2016

Ville Huusko

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	PARTAHARJUN PUUTARHA OY.....	8
3	JÄNNITE	9
4	SÄHKÖVERKON TEHOT	10
4.1	Pätöteho P.....	10
4.2	Loisteho Q.....	10
4.3	Näennäisteho S.....	10
5	KOMPENSOINTI	11
5.1	Kompensoinnin tarkoitus	11
5.2	Kompensointitavat	11
5.2.1	Laitekohtainen kompensointi.....	11
5.2.2	Ryhmäkompensointi	12
5.2.3	Keskitetty kompensointi.....	13
5.3	Kompensoinnissa käytettävät laiteratkaisut.....	13
5.3.1	Rinnakkaiskondensaattoriparisto	13
5.3.2	Estokelaparisto	14
5.3.3	Reaktori.....	15
5.3.4	Staattinen kompensointilaite	15
5.3.5	Yliaaltosuodatin.....	15
5.3.6	Tyristorikytketty kondensaattoriparisto ja kompensointilaite.....	16
5.3.7	Aktiivisuodatin	16
5.3.8	Kolmannen yliaallon suodatin.....	17
6	TAAJUUS JA YLIAALLOT.....	18
6.1	Taajuus.....	18
6.2	Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot	18
6.3	Yliaaltojen aiheuttajat	19
6.4	Yliaaltojen haitat.....	19
6.5	Yliaaltojännite.....	20
6.6	Yliaaltovirta	21
7	FINGRIDIN SIIRTOVERKKOASIAKKAILTA PERIMÄT LOISSÄHKÖMAKSUT.....	22
7.1	Loissähkön käytön seuranta ja maksujen määräytyminen	22

7.2	Loissähkön hinnoittelu.....	22
7.3	Loissähkön toimitusrajojen tarkistaminen	23
7.4	Partaharjun Puutarha Oy 2015.....	24
7.5	Partaharjun Puutarha Oy 2016.....	26
8	MITTAUKSET JA TULOSTEN TULKINTA	28
8.1	Mittauslaitteet.....	28
8.2	Kondensaattoriparistojen kunnon tarkastus	29
8.2.1	Mittaustulokset	30
8.2.2	Mittaustulosten johtopäätökset	30
8.3	Muuntaja A.....	30
8.3.1	Valaistusosasto 11.....	36
8.3.2	Valaistusosasto 12.....	36
8.3.3	Valaistusosasto 13.....	36
8.3.4	Valaistusosasto 14.....	36
8.3.5	Muuntajan A valaistusosastot 11, 12, 13 ja 14 kondensaattoreiden kanssa	38
8.3.6	Muuntajan A valaistusosastot 11, 12, 13 ja 14 ilman kondensaattoreita	38
8.4	Muuntaja F.....	39
8.4.1	Valaistusosasto 15.....	43
8.4.2	Valaistusosasto 16.....	43
8.4.3	Valaistusosasto 17.....	44
8.4.4	Valaistusosasto 18.....	44
8.5	Muuntajan F valaistusosastot 15, 16, 17 ja 18	44
9	YHTEENVETO.....	45
	LÄHTEET	47
	LIITE 1: PÄÄKESKUSKAAVIO KA	48
	LIITE 2: PÄÄKESKUSKAAVIO KF.....	49
	LIITE 3: NOUSUJOHTOKAAVIO KA.....	50
	LIITE 4: NOUSUJOHTOKAAVIO KF	51

1 JOHDANTO

Partaharjun Puutarha on Fingridin 110 kV:n siirtoverkon asiakas. Partaharjun Puutarhaan oltiin syksyllä 2015 yhteydessä kantaverkkoyhtiö Fingridistä. Fingrid halusi selvityksen, miksi Partaharjun Puutarha Oy tuottaa kapasitiivista loiskuormaa kantaverkkoon. Partaharjun Puutarhan alueeseen kuuluu 6 puistomuuntamoita, joiden koko vaihtelee 500 ja 1 600 kVA:n välillä.

Tämän työn tavoite on selvittää Partaharjun Puutarhan jakeluverkoston nykytilannetta. Tutkimuksessa selvitetään puutarhan kompensointiparistojen sijainti, tarkastus, kytkentätila sekä kahdesta etukäteen valitusta muuntamosta mitataan jännitteet, lois- ja pätötehot, vaihekohtaiset virrat ja tehokertoimet, jännite- ja virtayliaallot, jännitteen ja virran kokonaissäröt. Opinnäytetyössä tehdään mittauksia kahdelle puistomuuntamolle, muuntamoille A ja F, jotka syöttävät puutarhan taimenkasvatuksessa käytettävien valaisimien pääkeskuksia. Partaharjun Puutarhan tekniikkavastaava Reima Hirvosen antamien esitietojen perusteella nämä muuntamot tuottavat mahdollisesti suurimman osan puutarhan loiskuormasta.

Työssä mitataan muuntamoilta A ja F mittaukset vaihekohtaiset virrat ja tehokertoimet, lois- ja pätötehot, jännite- ja virtayliaallot, jännitteen ja virran kokonaissäröt. Työssä selvitetään myös puutarhan jakeluverkoston kondensaattoriparistojen sijainti, tarkastus ja kytkentätila.

2 PARTAHARJUN PUUTARHA OY

Partaharjun Puutarha Oy on sipulikukkien tuottamiseen erikoistunut kasviuoneyritys, kuvassa 1 on yrityksen logo. Sipulikukkien ohella se tuottaa metsätaimia (kuusi, mänty, rauduskoivu, siperianlehtikuusi) ja amppelikasveja. Lisäksi yritykseen kuuluu puutermiinali, jossa tuotetaan sahatavaraa, polttopuuta ja haketta. Kukka- ja metsätaimituotantoa varten on kasviuonepinta-alaa 41 000 m². Lisäksi yrityksellä on 7 300 m² kylmä- ja pakkasvarastotilaa sekä noin 55 000 m² ulkokasvatuskenttä. (Partaharjun Puutarha Oy 2016.)

Partaharjun puutarha Oy sijaitsee Pieksämällä, ja se on ollut toiminnassa vuodesta 1979 alkaen. Partaharjun Puutarha Oy on yksityinen suomalainen yritys. Osakkaina ovat Erkki Savolainen ja Hanna Suhonen. Yrityksen liikevaihto oli viimeksi päättyneellä tilikaudella (30.6.2015) 14,5 miljoonaa euroa. (Partaharjun Puutarha Oy 2016.)



KUVA 1. Partaharjun Puutarhan logo (Partaharjun Puutarha Oy 2016.)

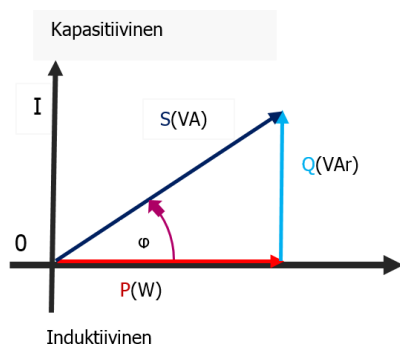
3 JÄNNITE

Jännite (V, voltti) on sähköinen potentiaaliero kahden pisteen välillä. Jakeluverkko-operaattorin ja verkon käyttäjä sopivat keskenään sopimuksen mukaisen jakelujännitteen suuruuden (U_c). Tämä on Suomessa standardin SFS-EN 50160 mukaisesti vaiheen ja nollan välillä $U_c = 230$ V. Standardin asettamat normaaleissa käyttöolosuhteissa tapahtuvat jännitetason vaihtelut eivät saa ylittää ± 10 % jakelujännitteen suuruutta (U_c). Laskennallisesti tämä on 230 V \pm 23 V = 207 V & 253 V. Jännitteen nousemista ja laskemista kokonaiskuormituksen seurauksena nimitetään jännitetason vaihteluksi. (SFS-Käsikirja 600-2 2012, 291.)

Standardin SFS-EN 50160 määrittelemän mukaisesti jännitetasoa mitattaessa jakelujännitteen tehollisarvojen tulee olla mitatuista keskiarvoista 95 % ajasta välillä ± 10 %. Standardin mukaisesti mittaukset täytyy suorittaa normaaleissa käyttöolosuhteissa viikon pituisena mittauksena 10 minuutin jaksoissa. Jakelujännitteen nopeat muutokset aiheutuvat pääasiallisesti asiakkaan verkossa tapahtuvista kuormitusmuutoksista, tehdyistä kytkennöistä tai vioista. (SFS-Käsikirja 600-2 2012, 291.)

4 SÄHKÖVERKON TEHOT

Sähkön kuluttaja maksaa energiamaksunsa pätötehon kulutuksen mukaan. Sähkön käyttäjän laitteet voivat joko tuottaa tai kuluttaa loistehoa. Loisteholle on määritelty verkkoyhtiökohtaisesti loistehomaksu. Kuvassa 2 näkyy tehokolmio, joka havainnollistaa sähköverkon tehojen määräytymistä.



KUVA 2. Tehokolmio. Tehokolmion kateetit ovat pätöteho P ja loisteho Q . Hypotenuusa on näennäistehon S itseisarvo. Hypotenuusan ja vaakakateetin välinen kulma kertoo jännitteen ja virran vaiheeron.

4.1 Pätöteho P

Pätöteho on keskimääräinen (aktiivinen) teho (W , watti), joka edustaa sähkön hyödyksi saatavaa tehoa ja tehohäviöitä. Pätöteho vaihtosähköllä saadaan laskettua kaavalla $P = U * I * \cos\phi$.

4.2 Loisteho Q

Loisteho eli reaktiivinen teho (var , vari), syntyy tehon heilahdellessa edestakaisin sähköpiirissä. Se voi saada joko positiivisia arvoja tai negatiivisia arvoja. Kuten tehokolmiosta huomataan, loisteho kuvaa näennäistehon ja pätötehon erotusta riippuen jännitteen ja virran vaihe-erosta. Sen mukaan, onko verkon kuorma kapasitiivista vai induktiivista, syntyy joko negatiivista kapasitiivista loistehoa tai positiivista induktiivista loistehoa. (Mäkinen ja Kallio 2004, 17.)

Tässä työssä kapasitiivinen kuorma käsitellään negatiivisena ja induktiivinen positiivisena. Loistehoa ei voi käyttää hyödyksi, vaan se täytyy kompensoida lähelle tehokertoimen arvoa 1, jotta sähköverkon siirtokyky olisi mahdollisimman optimaalinen (Mäkinen ja Kallio 2004, 17). Loisteho vaihtosähköllä saadaan laskettua kaavalla $Q = U * I * \sin\phi$.

4.3 Näennäisteho S

Näennäisteho, eli kompleksinen teho (VA , volttiampeeri), on vaihtojännitteen ja virran tehollisarvojen tulo. Se koostuu pätö- ja loistehosta $S^2 = P^2 + Q^2$. Jos jännitteellä ja virralla on olemassa vaiheeroa, näennäisteho on suurempi kuin todellisuudessa kulutettu teho. Näennäisteho vaihtosähköllä saadaan laskettua kaavalla $S = U * I$.

5 KOMPENSOINTI

5.1 Kompensoinnin tarkoitus

Tavallinen kuormalaite, kuten Partaharjun Puutarhalla olevat kuristimella varustetut purkauslamput, kehittävät induktiivista kuormaa. Induktiivisen kuorman ottama loisteho kompensoidaan eli nollataan, yleensä rinnan kytkettävällä kondensaattorilla, koska se ei muuta kuorman jännitettä, kuten sarjakondensaattori tekisi. Kompensoinnin tarkoituksena on nollata loisteho, mikä on energian siirron ja tuotannon kannalta edullisinta. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori Ja Wilén 2006, 81-85.)

Sinimuotoisen vaihtojännitteen ja vaihtovirran välisen vaihesiirtokulman φ kosini on nimetty tehokerroimeksi $\cos \varphi$, koska se on kertoimena vaihtosähkötehon yhtälössä $P = U * I * \cos \varphi$. Tehokerroin on vaihtovirtakuormissa pätötehon suhde loistehoon. Kun kuorma on täysin resistiivistä, tehokerroin on 1 ja tällöin hyödynnetään maksimaalista tehonsiirtokapasiteettia. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 81-85.)

Oikeanlaisella kompensoinnilla lisätään verkon siirtokapasiteettia. Kuorman ottama virta lasketaan näennäistehosta, ja loisteho vaikuttaa kokonaisvirtaan. Kun kuormitusvirrasta, jossa on ollut ylikompensointia, poistuu loistehokomponentti, verkon pätötehon siirtokapasiteetti kasvaa, ja kokonaisvirran lasku vaikuttaa sähköenergiamaksuun. Kokonaisvirran aleneminen vähentää verkon pätötehoäviöitä, ja siitä syystä esimerkiksi kaapeleiden, muuntajien ja keskusten lämpötila alenee. Loisvirta aiheuttaa jännitteenalenemaa. Loistehon oikeanlaisen kompensoinnin ansiosta loisvirta saadaan pienemmään, mikä vaikuttaa jännitteenalemaan. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 81-85.)

Kantaverkkoyhtiö Fingrid on määrittellyt asiakkaan kantaverkkosopimuksen mukaisen liittymispisteen loissähkön otto- ja antorajat. Liittymispisteen otto- ja antorajat määräytyvät sen mukaan, tuotetaanko vai kulutetaanko pätötehoa kantaverkon liittymispisteessä. Mikäli otto- tai antoraja ylittyy, Fingrid laskuttaa vuodesta 2017-alkaen loissähköikkunan ylimenevän osuuden. Partaharjun Puutarhan loissähköikkunaan on laskettu antotehoa -0,5 MVar ja ottotehoa 2,0 MVar. Loistehomaksu tulee jokaisen kuukauden suurimman ylityksen mukaisesti keskituntitehona, ja loisenergiamaksu tulee jokaisen kuukauden loissähköikkunan ylitysenergian mukaisesti kerrottuna voimassa olevalla yksikköhinnalla. Kun liittymispiste ei tuota loissähköikkunan yli meneviä loiskuormia, liittymispisteen asiakas säästyy loistehomaksuilta. (Fingrid Oy 2016.)

5.2 Kompensointitavat

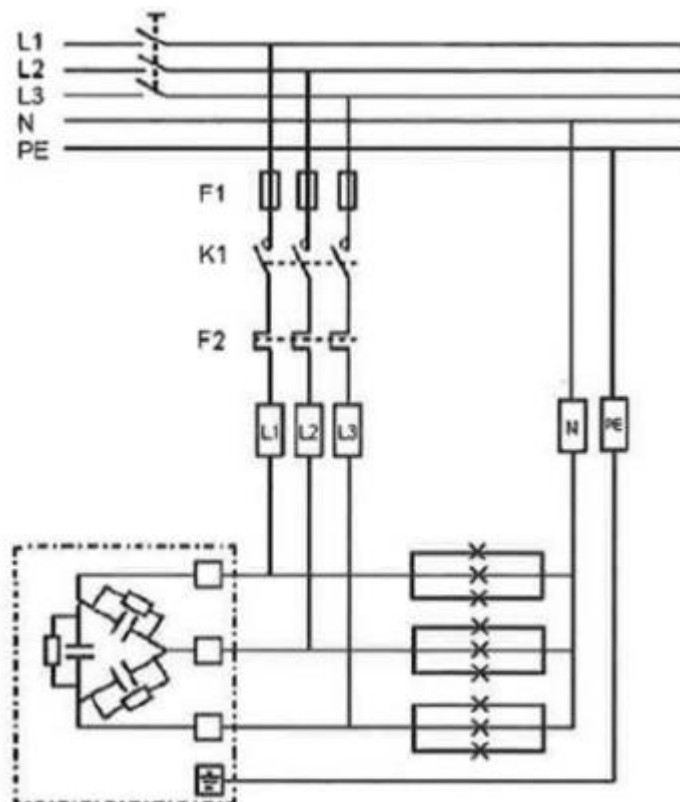
5.2.1 Laitekohtainen kompensointi

Laitekohtaisessa kompensoinnissa asennetaan esimerkiksi purkausvalaisimille tietyn kvar-arvon suurinen kompensointikondensaattori valaisimen lähelle. Tämän asennustavan edellytyksenä on, että

loistehon kulutus vaihtelee kohteessa vain vähän. Kompensoimattoman purkausvalaisimen tehokerroin on noin 0,5. Purkausvalaisimet kompensoidaan noin tehokertoimen arvoon 0,9. Tämä olisi ratkaisuna todella toimiva, mikäli verkossa ei esiintyisi merkittävästi yliaaltoja. Yliaaltoja esiintyvissä verkossa aiheutuu huomattava resonanssivaara. Valaisinryhmien kaapeloinnin ja sulakekoon mitoituksen valinnassa on otettava huomioon, että valaisinkohtainen kondensaattori menettää kapasitanssiaan vanhetessaan ja saattaa rikkoontua kokonaan. Ryhmien mitoituksessa täytyy ottaa huomioon, että mitoitus on riittävä myös kompensoimattomalle virralle. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 89.)

5.2.2 Ryhmäkompensointi

Ryhmäkompensoinnissa kondensaattorit asennetaan tietyille valaisinryhmille niiden ryhmäkeskukseen. Kuvassa 3 on havainnollistava periaatekuva 3-vaiheisen valaisinryhmän kompensoinnista. Tämän asennustavan edellytyksenä on, että loistehon tuotto vaihtelee vähäisesti. Ryhmäkompensointi sopii parhaiten 3-vaiheisten kontaktoriohjattujen valaisinryhmien kompensointiin. Kompensointiyksikkö koostuu 3-vaiheisista 400 V:n kondensaattoreista, joiden sijoitus tapahtuu valaisinkuormituksen ryhmäjohton syöttöpisteeseen. Mikäli kompensointiyksikkö sijoitetaan ryhmäkeskukseen, on otettava huomioon, että ryhmäjohtoa suojaavan sulakkeen kautta kulkee mahdollisesti huomattavasti pienempi virta kuin ryhmäjohtossa. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19; Männistö ym. 2006, 90.)

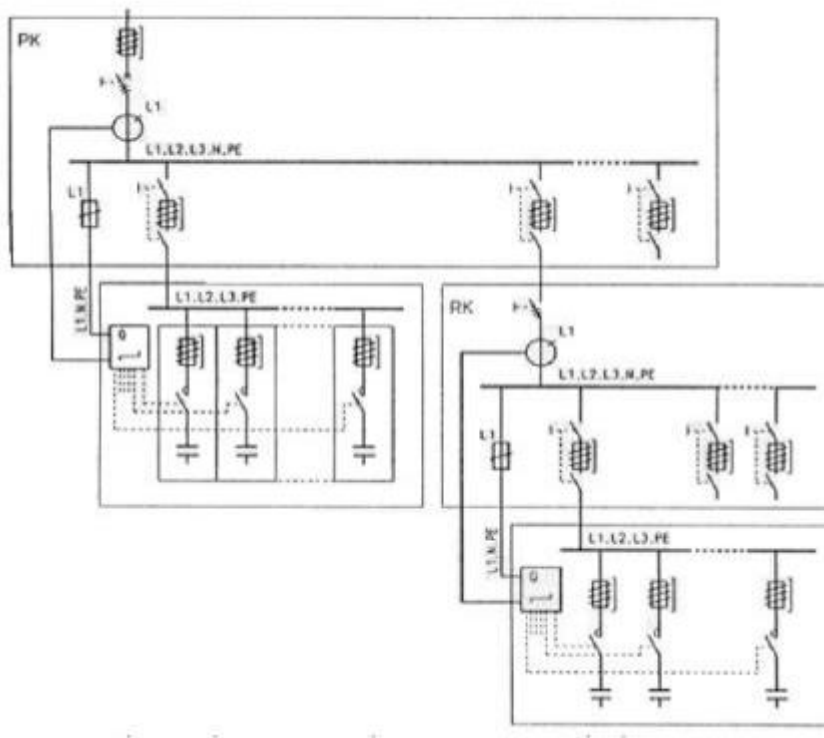


KUVA 3. Periaatekuva 3-vaiheisen valaisinryhmän kompensoinnista (Männistö 2006, 92.)

5.2.3 Keskitetty kompensointi

Keskitetyssä kompensoinnissa asennetaan kompensointiparisto ryhmäkeskukseen, pääkeskukseen tai suoraan muuntajan pienjännitepuolen syöttöön sulakkeilla suojattuna. Kuvassa 4 on havainnollistava kuva keskitetyn kompensointilaitteiston kytkennästä. Tällä tavalla saadaan kompensoitua koko pienjännitejärjestelmä. Keskitetyssä kompensoinnissa käytetään kiinteitä, tietyn kvar-arvon omaavia kondensaattoreita tai automatiikkaparistoja. Automatiikkaparistoissa on säädin, joka mittaa toistuvasti verkon tehokerrointa, ja sen mukaan lisää kondensaattoreiden kapasiteettia verkkoon. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19-20; Männistö ym. 2006, 88.)

Rinnakkaiskondensaattoriparisto ja verkko saattavat muodostaa resonanssin, jolloin yliaallot saattavat vahvistua jopa 20-kertaisiksi, jos muodostuvan resonanssin viritystaajuus sattuu verkossa esiintyvän yliaallon taajuudelle. Estokelaparistoilla ja yliaaltosuodattimilla yliaaltojen vahvistuminen ei ole mahdollista. (Mäkinen ja Kallio 2004, 19-20; Männistö ym. 2006, 88.)



KUVA 4. Keskitetyn kompensointilaitteiston periaatekytkentä (Männistö 2006, 90.)

5.3 Kompensoinnissa käytettävät laiteratkaisut

5.3.1 Rinnakkaiskondensaattoriparisto

Kuorman kanssa rinnan kytketyt paristot jaetaan kahteen ryhmään, kiinteisiin ja säädettäviin paristoihin. Kiinteissä paristoissa kondensaattoriteho on liitetty sähköverkkoon ilman säätöä. Säädettävissä, eli automatiikkaparistoissa, sähköverkkoon kytkettyä kondensaattoritehoa säädetään portait-

tain. Pienjänniteverkossa automatiikkaparistoa ohjataan yleensä loistehonsäätäjällä, johon on aseteltu halutut havahtumisrajat sekä induktiiviselle että kapasitiiviselle puolelle. Rinnakkaiskondensaattorien käyttökohteita ovat pienjännitteellä keskiketty kompensointi joko ryhmä- tai pääkeskuksissa ja laitekohtainen kompensointi. (Männistö ym. 2006, 49.)

5.3.2 Estokelaparisto

Yliaaltopitoisissa verkoissa tulee tarkastella, onko kompensointi syytä toteuttaa rinnakkaiskondensaattoripariston sijaan joko estokelalla varustetuilla kondensaattoriparistoilla tai yliaaltosuodattimilla. Kuvassa 5 näkyy kaappimallinen estokelaparisto. Estokelaparistoratkaisulla vältetään haitallisten resonanssien syntyminen kondensaattorin kapasitanssin ja syöttävän verkon induktanssin välillä. Kompensointikondensaattorin kapasitanssi ja verkon induktanssit voivat muodostaa rinnakkaisresonanssiin, jossa viritystaajuuden osuessa jonkin olemassa olevan yliaaltotaajuuden kohdalle voivat virrat vahvistua jopa 20-kertaisiksi. Resonanssin aiheuttamasta virtasärön noususta on seurauksena myös jännitesärön nousu. Tämän takia perinteisillä kondensaattoriparistoilla ei voi kompensoida loistehoa yliaaltopitoisessa verkossa. Estokelaparistoa suositellaan käytettäväksi, kun jännitteen harmoninen kokonaissärö on yli 3 %. Estokelaparistoja käytetään yliaaltopitoisissa verkoissa sekä pienettä keskijännitteellä esimerkiksi keskitettyyn kompensointiin. (Männistö ym. 2006, 52.)



KUVA 5. Kaappimallinen estokelaparisto (Norelco 2016.)

5.3.3 Reaktori

Reaktori on ilmasydäminen kela, jota käytetään loistehon kompensointiin. Reaktoreita käytetään keskijänniteverkossa rajoittamaan oikosulkuvirtaa ja vaimentamaan esimerkiksi kondensaattoripariston kytkentäylijännitteitä. (Männistö ym. 2006, 58.)

5.3.4 Staattinen kompensattori

Staattista kompensattoria (SVC) käytetään sähköverkossa ja teollisuudessa kompensoimaan nopeasti tapahtuvaa jännitteen ja loistehon muutosta. Vaativimpia ympäristöjä ovat terästehtaiden valokaariuunit, joiden aiheuttamien häiriöiden suodattamiseen ja kuorman kompensointiin SVC on ainoa ratkaisu. Staattinen kompensattori tuottaa halutun loistehon ja suodattaa halutut yliaallot. Se myös stabilisoi verkon jännitteen, joka vaihtelee verkon kuormitusmuutoksien mukaan. Yksivaiheisen ohjauksensa ansiosta sillä voidaan lisäksi poistaa kolmivaihemootoreita haittaava jännitteen epäsymmetria. Staattisen kompensattorin kokonaisvasteaika on maksimissaan 10 ms 50 Hz:n verkossa. (Männistö ym. 2006, 60.)

5.3.5 Yliaaltosuodatin

Yliaaltosuodattimia käytetään, kuten estokelaparistojakin, verkoissa, joissa yliaaltopitoisuus on suuri. Kuvassa 6 on ABB:n valmistama yliaaltosuodatin. Yliaaltosuodatin paitsi tuottaa tarvittavan loistehon, myös poistaa yliaaltovirtoja verkosta ja näin nostaa sähkön laatua pienentämällä verkon jännitesäröä. (Männistö ym. 2006, 55.)



KUVA 6. Yliaaltosuodatin. 1. Lämpörele 2. Kontaktori 3. Kela 4. Kondensaattorit (ABB Oy 2016.)

5.3.6 Tyristorikytketty kondensaattoriparisto ja kompensattori

Verkoissa, joissa kuormitus muuttuu nopeasti, ei kompensointitehon ohjausta voi toteuttaa mekaanisilla kytkinlaitteilla. Nopealla ohjauksella varustettu tyristorikytketty kondensaattoriparisto on suunniteltu tällaisiin kohteisiin. Kuvassa 7 on Nokian valmistama tyristorikytketty kondensaattoriparisto. Tyristorikytkimen etuna on mekaaninen kulumattomuus, äänetön toiminta sekä mahdollisuus säästää lähes transienttivapaa kytkentä. (Männistö ym. 2006, 61.)



KUVA 7. Tyristorikytketty kondensaattoriparisto (Nokian Capacitors 2016.)

5.3.7 Aktiivisuodatin

Passiivisilla komponenteilla toteutettujen yliaaltosuodattimen rinnalle ovat tulleet puolijohdetekniikalla toteutetut yliaaltosuodattimet. Passiiviset suodattimet eivät vastaa verkon yliaaltotilanteen muutokseen, vaan ne suodattavat vain ennalta määrätyt yliaallot. Aktiiviset suodattimet taas puolestaan mittaavat virran yliaaltokomponentit ja tuottavat niiden 180° :n vaihesiirrossa olevan virran,

joka kumoaa alkuperäisen yliaaltovirran. Aktiivisuodatin ei voi ylikuormittua. Jos kuorman yliaaltovirrat ylittävät aktiivisuodattimen kapasiteetin, jatkaa suodatin toimintaansa jättäen kapasiteettinsa ylittävän osan yliaaltovirroista kompensoimatta. (Männistö ym. 2006, 62.)

5.3.8 Kolmannen yliaallon suodatin

Suodattimen toiminta pohjautuu 150 Hz:n taajuudelle viritettyyn sarjaresonanssiin, jonka kautta kolmas harmoninen yliaaltovirta pääsee kulkemaan. Kuvassa 8 on Nokian valmistama kolmannen yliaallon suodatin. Suodatin myös pienentää jännitesäröä ja tuottaa halutun määrän loistehoa. Kolmannen yliaallon suodatin rakentuu kondensaattoreista, jotka on kytketty sarjaan kuristimien kanssa. Suodatin tuottaa perustaajuudella loistehoa halutun tehokertoimen saavuttamiseksi. (Männistö ym. 2006, 59.)



KUVA 8. Kolmannen yliaallon suodatin. 1. Tuuletin 2. Kontaktori 3. Jännitteen valvontarele 4. Ylivirtarele 5. Kaapeliliitäntä 6. Kuristimet 7. Ohjauskaapelien riviliittimet 8. Kondensaattoriyksiköt 9. Ilmansuodatin (Nokian Capacitors 2016.)

6 TAAJUUS JA YLIAALLOT

6.1 Taajuus

Taajuudella ilmoitetaan, kuinka monta jaksoa esiintyy yhden sekunnin aikana. Yleisen sähköjakeluverkon taajuus on 50 Hz. Tällöin yhteen sekuntiin sisältyy 50 jaksoa. Jakelujännitteen nimellistaajuuden tulee olla 50 Hz. Normaaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvon mitattuna 10 s ajanjaksolla tulee olla seuraavassa esitetyn mukaisilla väleillä.

Keskenään synkronisesti toimivissa yhteiskäyttöverkoissa:

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

Erillisverkoissa (esimerkiksi sähköjakelujärjestelmät saarilla):

50 Hz ± 2 %	(49 Hz – 51 Hz)	95 % viikosta
50 Hz ± 15 %	(42,5 Hz – 57,5 Hz)	100 % vuodesta

(Ahoranta 2015, 119; SFS-Käsikirja 600-2 2012, 296.)

6.2 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Linearisissa virtapiireissä olevien resistanssien, induktanssien ja kapasitanssien arvot eivät muutu ollenkaan, vaikka niiden läpi menevä virta muuttuu. Epälinearisissa virtapiireissä resistanssien, induktanssien tai kapasitanssien arvot muuttuvat virran muuttuessa. Virran perusaalto ja harmoniset yliaallot eivät ole enää samanvaiheisia, ja ne sekoittuvat toisiinsa, jolloin verkosta otetut virtakäyrät ja jännitekäyrät säröytyvät ja niiden aaltomuodot poikkeavat tavanomaisesta sinikäyrästä. (Ahoranta 2015, 131; Mäkinen ja Kallio 2004, 25; Männistö ym. 2006, 26.)

Verkkojännitettä säröyttää lähinnä lisääntyvien epälineaaristen kuormitusten verkosta ottamat tai verkkoon syöttämät virrat. Jännite säröytyy, koska muodoltaan perustaajuisessa sinikäyrästä poikkeavat virrat aiheuttavat verkon impedansseissa jännitehäviöitä. Toisaalta myös säröytynyt jännite aiheuttaa sinimuodosta poikkeavia virtoja lineaarisillakin kuormituksilla. Jännitteen säröytymistä esiintyy myös jonkin verran generaattoreiden, moottoreiden ja muuntajien epälinearisuuksien takia. Myös resonanssi-ilmiöt voivat merkittävästi suurentaa verkossa esiintyviä yliaaltoja. (Ahoranta 2015, 131; Mäkinen ja Kallio 2004, 25; Männistö ym. 2006, 26.)

Vaikka jännitteen tai virran käyrämuoto on säröytynyttä, voidaan näitä yleensä edelleen käsitellä jaksollisesti vaihtelevina suureina. Tällöin ne voidaan matemaattisesti esittää syntyneenä useasta eritaajuisesta sinimuotoisesta komponentista. (Ahoranta 2015, 131; Mäkinen ja Kallio 2004, 25; Männistö ym. 2006, 26.)

Suomessa yleiseen sähköjakeluun käytettävissä verkoissa nimellistaajuus on 50 Hz. Säröytyneessä verkossa esiintyy sekä tämän taajuuden harmonisia yliaaltoja että myös tälle 50 Hz taajuudelle epäharmonisia yliaaltoja. Taajuutensa perusteella harmoniset yliaallot ovat toisia (100 Hz), kolmansia (150 Hz), viidensia (250 Hz), seitsemänsia (350 Hz) yliaaltoja ja niin edelleen. Harmoniset yliaaltovirrat heikentävät tehokerrointa ja kasvattavat sekä säröyttävät verkkovirtaa. Epäharmoninen yliaaltotaajuus on taajuus, joka ei ole perusaallon taajuuden monikerta. (Männistö ym. 2006, 26; SFS-Käsikirja 600-2 2012, 292.)

6.3 Yliaaltojen aiheuttajia

Yliaaltojen aiheuttajia ovat muun muassa tasa- ja vaihtosuuntajakäytöt, hakkuriteholähteet, energiansäästölamput, puolijohdekytkimet, tyristorisäätimet, kodin ja toimistotilojen elektroniikka, purkauslamput, hitsauslaitteet, valokaariuunit sekä vikaantuneiden muuntajien ja moottoreiden magneettiipiirit. Verkon yliaaltoja aiheuttavista kuormituksista ja syöttävän verkon ominaisuuksista riippuen loistehon kompensointiin käytetyt rinnakkaiskondensaattoriparistot saattavat muodostaa verkon induktanssien kanssa haitallisia resonanssiipiirejä, joiden seurauksena yliaallot voivat vahvistua merkittävästi. (Männistö ym. 2006, 30.)

Sähköverkon yleisimmät yliaallot ovat joko kolmansia (150 Hz) tai viidensia (250 Hz) harmonisia yliaaltoja. Yleistäen voidaan todeta, että 1-vaiheiset kuormitukset aiheuttavat kolmella jaollisia parittomia yliaaltoja, ja 3-vaiheiset kuormitukset tuottavat viidensia harmonisia yliaaltoja. (Mäkinen ja Kallio 2004, 25.)

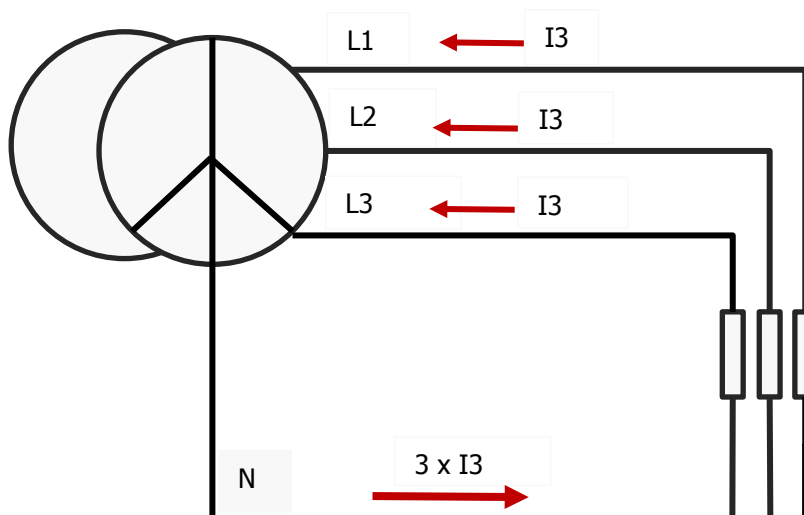
6.4 Yliaaltojen haitat

Yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat häviöiden kasvu sähköverkossa ja sähkökäyttäjien laitteissa sekä eri laitteiden kuormitettavuuden alentuminen. Ylikuormittuminen vaurioittaa myös laitteita, kuten esimerkiksi kondensaattoreita. Lisäksi yliaallot aiheuttavat mittareiden virhenäyttämiä sekä automaatiolaitteiden ja suojarleiden virhetoimintoja. Laitteiden toimintahäiriöiden syynä ovat usein sähkökäyttäjien omien laitteiden synnyttämät yliaaltovirrat ja muut häiriöt. Tästä syntyy koneiden ja muuntajien kuumenemista sekä tärinää ja ääni-ilmiöitä. (Mäkinen ja Kallio 2004, 26; Männistö ym. 2006, 30-32.)

Yliaaltovirtojen synnyttämät magneettikentät aiheuttavat joskus myös monitorien ja televisioiden näyttöjen välkyntää. Erityisesti kolmas yliaalto saattaa esiintyä tällä tavoin haitallisena, koska se summautuu vaihejohtimista nollajohtimeen ja leviää verkon nollausten kautta mahdollisesti myös rakennusten runkorakenteisiin. Käytännössä ongelma aiheutuu usein pääosin perustaajuisen virran ja kolmannen yliaaltovirran yhteisvaikutuksena. Yliaallot aiheuttavat laskutusmittauksessa pätö-, loisteho- ja energialukemien muutoksia. Muutoksiin vaikuttaa myös yliaaltojen vaihekulma perusaaltoon nähden. Pätöteholla lisäysten ja vähennysten kokonaisvaikutus on kuitenkin hyvin pieni. (Mäkinen ja Kallio 2004, 26; Männistö ym. 2006, 30-32.)

Pienjänniteverkon nollajohdin ei kuormitu perustajuisella symmetrisellä kolmivaihekuormalla lainkaan. Epäsymmetrisellä kuormalla nollajohdin kuormittuu korkeintaan saman verran kuin eniten kuormitettu vaihejohdin. Määräysten mukaan nollajohtimen poikkipinnaksi sallitaan puolet vaihejohtimen poikkipinnasta yli 16 Cu ja 25 Al johdinpoikkipinnoilla. Kolmella jaottomat harmoniset yliaallot kuormittavat nollajohdinta samalla lailla kuin virran perusaalto. Sen sijaan kolmella jaolliset yliaallot voivat saada aikaan nollajohtimeen tehollisarvoltaan vaihejohtimen virtoja suuremman virran, koska ne summautuvat nollajohtimeen. Lisäksi johtimen kuormitettavuus pienenee virran taajuuden kasvaessa, kun johdon vaihtovirtaresistanssi kasvaa. Esimerkitapauksena voi mainita kasvihuoneet purkauslamppuineen ja toimistokiinteistöt yksivaiheisine tasasuuntajineen. (Männistö ym. 2006, 30-32.)

Purkauslamppujen vaihejohtimien aiheuttama kolmas yliaaltovirta voi olla jopa 30 % vaihevirrasta, mikä merkitsee, että kuormitus nollajohtimessa on $3 \times 30\%$ eli 90 % vaihevirran arvosta. Kuvassa 9 on havainnollistava kuva kolmannen yliaallon reitistä sähköverkossa. Mikäli nollajohtimen pinta-ala on puolet vaihejohtimen pinta-alasta, on selvää että tämä voi aiheuttaa tulipalovaaran, sillä nollajohdinta ei ole suojattu sulakkeilla. (Männistö ym. 2006, 30-32.)



KUVA 9. Vaiheiden kolmannet harmoniset yliaaltovirrat eivät summaudu nolaksi verkon tähtipisteessä. Siitä johtuen nollajohdossa alkaa kulkea kolmas harmoninen yliaaltovirta.

6.5 Yliaaltojännite

Yleisen jakeluverkon yliaaltojännitteiden suurin sallittu taso on määritelty jännitestandardissa SFS-EN 50160. Taulukossa 1 esitetään harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot. Normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana 95 % jakelujännitteen kunkin yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin keskimääräisistä tehollisarvoista tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 1 annettu arvo. Lisäksi jakelujännitteen kokonaissärökertoimen, THD, (mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot järjestysluvultaan 40 saakka) tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. (SFS-Käsikirja 600-2 2012, 292.)

TAULUKKO 1. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina perustaajuisesta jännitteestä U1. (SFS-Käsikirja 600-2 2012, 292.)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (Uh)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (Uh)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (Uh)
5	6,00 %	3	5,00 %	2	2,00 %
7	5,00 %	9	1,50 %	4	1,00 %
11	3,50 %	15	0,50 %	6...24	0,50 %
13	3,00 %	21	0,50 %		
17	2,00 %				
19	1,50 %				
23	1,50 %				
25	1,50 %				

Huom. Järjestysluvuiltaan yli 25 harmonisille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssitilanteiden vuoksi.

6.6 Yliaaltovirta

Yleisen jakeluverkon suurimmille sallituille yliaaltovirroille on määritelty sallitut rajat taulukossa 2. Mikäli sallitut rajat ylittyvät, voidaan verkonhaltijan suostumuksella jännitestandardin puitteissa ylittää virtataulukon arvoja, mikäli paikalliset verkosto-olosuhteet sen sallivat. Kuitenkin tässä tapauksessa sähkökäyttäjä on velvollinen pienentämään aiheuttamansa yliaaltovirrat osuutensa mukaiseen määrään, jos muut sähkökäyttäjät tarvitsevat oman osuutensa verkon yliaaltojen siirtokyvystä. Virtarajoihin tulee kiinnittää erityistä huomiota kondensaattorivalintojen yhteydessä ja silloin, kun jännitesärot ovat tavanomaista korkeampia. (Männistö ym. 2006, 45.)

TAULUKKO 2. Keskijänniteverkkoon liittyneen sähkökäyttäjän suurimmat sallitut yliaaltovirrat liittämiskohdasta tarkasteltuna. (Männistö ym. 2006, 45.)

Referenssivirta	Suositeltava raja	
Kaikki	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 8 % referenssivirrasta.	
	Lisäksi eri yliaaltojen osalta:	
	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta
	< 11	7,00 %
	11-16	3,50 %
	17-22	2,50 %
23-34	1,00 %	
>34	0,50 %	

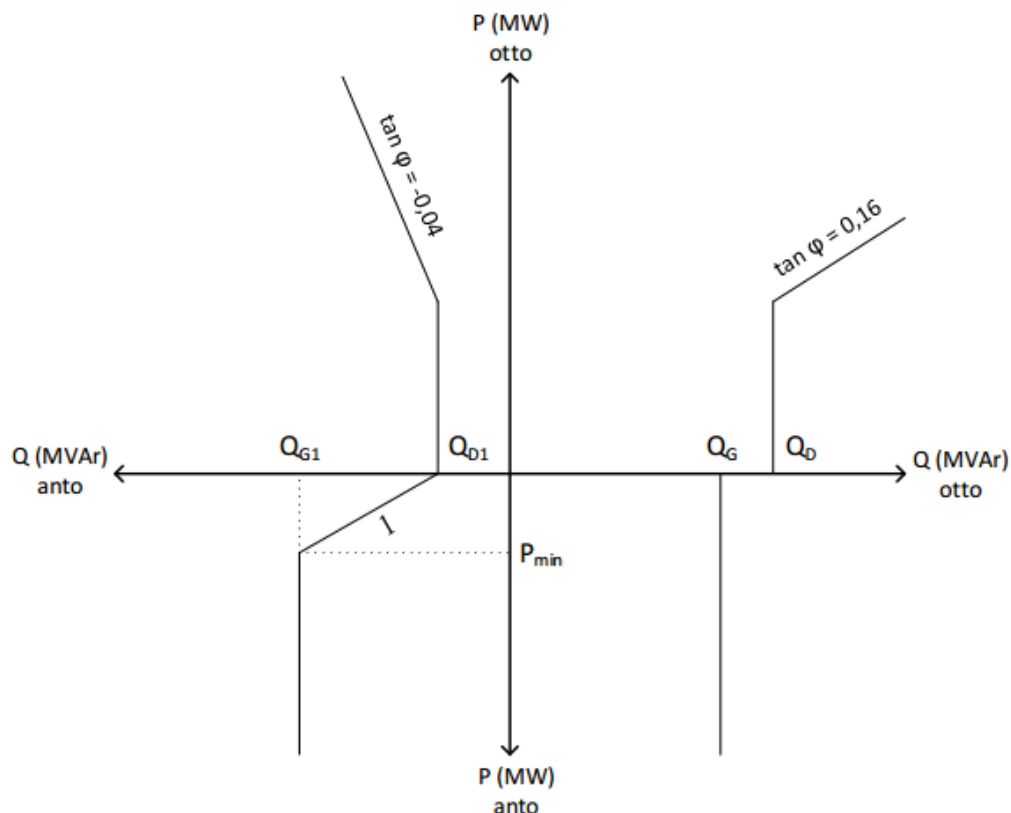
7 FINGRIDIN SIIRTOVERKKOASIAKKAILTA PERIMÄT LOISSÄHKÖMAKSUT

7.1 Loissähkön käytön seuranta ja maksujen määräytyminen

Loissähkön käyttöä seurataan asiakkaan liittymispisteissä liittymispistekohtaisesti. Loissähkörajojen ylityessä liittymispisteen loissähkön käytöstä laskutetaan ylityksen osalta liittymispisteen haltijaa. Laskutuksessa ei huomioida viittäkymmentä (50) itseisarvoltaan suurinta tunnin kestäväää loissähkөikkunan ylitystä kuukaudessa. Loissähkөikkunan ylityksistä ei laskuteta, jos ylitys aiheutuu kantaverkon viasta tai häiriöstä. Alla olevassa kuvassa 10 on esitetty loissähkөikkuna, jolla määritetään liittymäpistekohtaisesti kantaverkosta toimitetun ja vastaanotetun loissähkөn määrän. (Fingrid Oy 2016.)

7.2 Loissähkөn hinnoittelu

Loissähkөstä laskutetaan loissähkөikkunan rajojen ylityksen määrästä. Loistehomaksu määräytyy kunkin kuukauden suurimman ylityksen mukaisesti keskituntitehona. Loisenergiamaksu määräytyy kunkin kuukauden loissähkөikkunan ylitysenergian mukaisesti kerrottuna voimassa olevalla yksikköhinnalla. Laskutuksessa huomioidaan tämän sovellusohjeen maksujen määräytymisperiaatteet. Alla olevassa kuvassa on esitetty liittymispisteen loissähkөikkunan periaate ja loissähkөn käytön ylityksestä suoritettavat maksut. (Fingrid Oy 2016.)



KUVA 10 Loissähkөikkuna määrittää liittymispistekohtaisesti kantaverkosta ilman erillistä korvausta toimitetun ja vastaanotetun loissähkөn määrän. (Fingrid Oy 2016.)

Asiakkaille tulevien sopimusehtojen muutoksesta aiheutuvien investointien toteuttamisen helpottamiseksi ja niiden kustannusvaikutusten keventämiseksi loissähkön hinnoittelu tulee voimaan asteittain seuraavasti:

- Vuonna 2016 loissähkön siirrosta ei peritä maksua.
- Vuonna 2017 loistehorajojen ylittävästä tehosta peritään kolmannes loistehon yksikköhinnasta (333 €/MVA_r), loisenergia 5 €/MVA_rh.
- Vuonna 2018 loistehorajojen ylittävästä tehosta peritään kaksi kolmannesta loistehon yksikköhinnasta (666 €/MVA_r), loisenergia 5 e/MVA_rh.
- Vuonna 2019 ja siitä eteenpäin loissähkön siirrosta peritään 1 000 €/MVA_r, loisenergia 5 €/MVA_rh.

(Fingrid Oy 2016.)

7.3 Loissähkön toimitusrajojen tarkistaminen

Liittymisteen toimitusrajat seuraavalle vuodelle tarkistetaan vuosittain marraskuun loppuun mennessä mittaustietojen perusteella. Toimitusrajat määritellään edellisen vuoden lokakuun 1.päivän ja kuluvan vuoden syyskuun 30. päivän välisen ajanjakson pätötehon mittauslukemien perusteella.

(Fingrid Oy 2016.)

Jos asiakkaan liittymispisteessä tapahtuu tarkastelujaksolla merkittäviä muutoksia sähkön käytössä tai otetaan käyttöön uusi voimalaitos tai olemassa oleva voimalaitos poistuu, muutosten vaikutus arvioidaan ja kantaverkkosopimuksen tiedot tarkistetaan heti muutoksen tapahduttua vastaamaan muuttunutta tilannetta. Uudelleen tarkastetut arvot tulevat voimaan tarkistushetkeä seuraavan kalenterikuukauden alusta. (Fingrid Oy 2016.)

7.4 Partaharjun Puutarha Oy 2015

Vuonna 2015 loistehon antoa oli 1 651 kpl, ja ylitysenergian suuruus oli 858,3 MVArh (1 h mittaus-ajanjaksot, yhteensä 8 760 h = 1 vuosi). Partaharjun Puutarhan loissähköikkunaan on laskettu antotehoa -0,5 MVAr ja ottotehoa 2,0 MVAr. Kuviossa 2 on Partaharjun Puutarha Oy:n loissähköikkuna vuodelta 2015. Tuolloin ylitystä tapahtui lasketusta rajasta neljänä kuukautena, tammikuu 703 kVAr, helmikuu 737 kVAr, maaliskuu 762 kVAr ja joulukuu 760 kVAr. 50:tä suurinta ylitystä kuukaudessa ei huomioida, joten ylityksiä tapahtui 1 445 kpl, ja ylitysenergia oli 700,1 MVArh. Kuviossa 1 on esitetty Partaharjun Puutarha Oy:n vuonna 2015 tapahtuneet loistehon ylitykset. (Fingrid Oy 2016.)

Vuonna 2019 voimaan tulevan laskutusmallin mukaisesti loistehon tuotosta tulisi laskua vuodelta 2015:

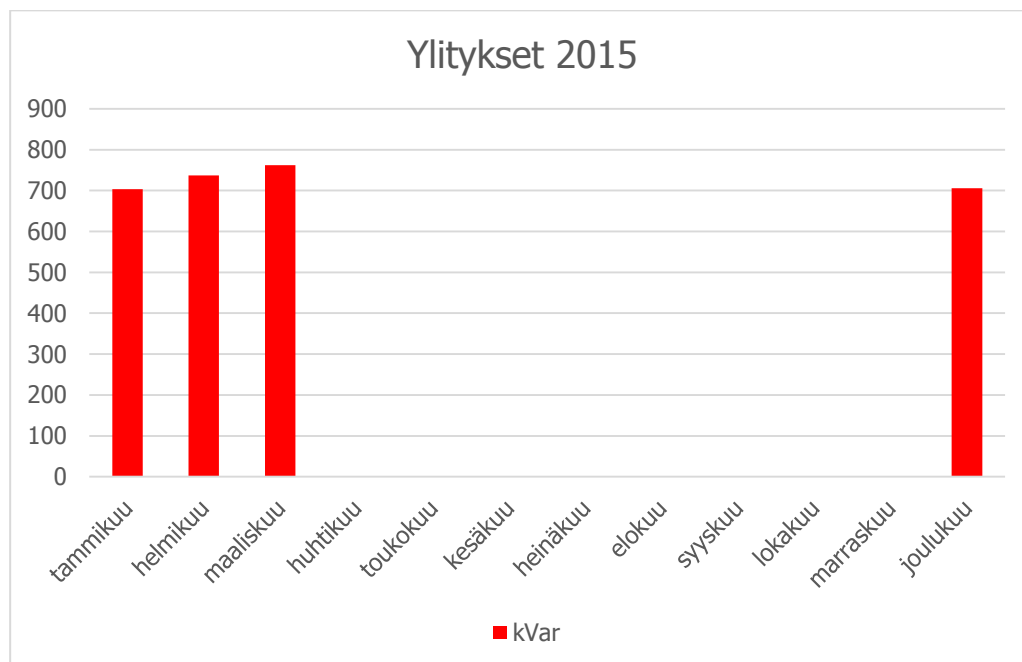
Tehomaksu 2 908,00 €

$((0,703 \text{ MVAr} + 0,737 \text{ MVAr} + 0,762 \text{ MVAr} + 0,760 \text{ MVAr}) * 1\,000 \text{ €/MVAr} = 2\,908,00 \text{ €})$

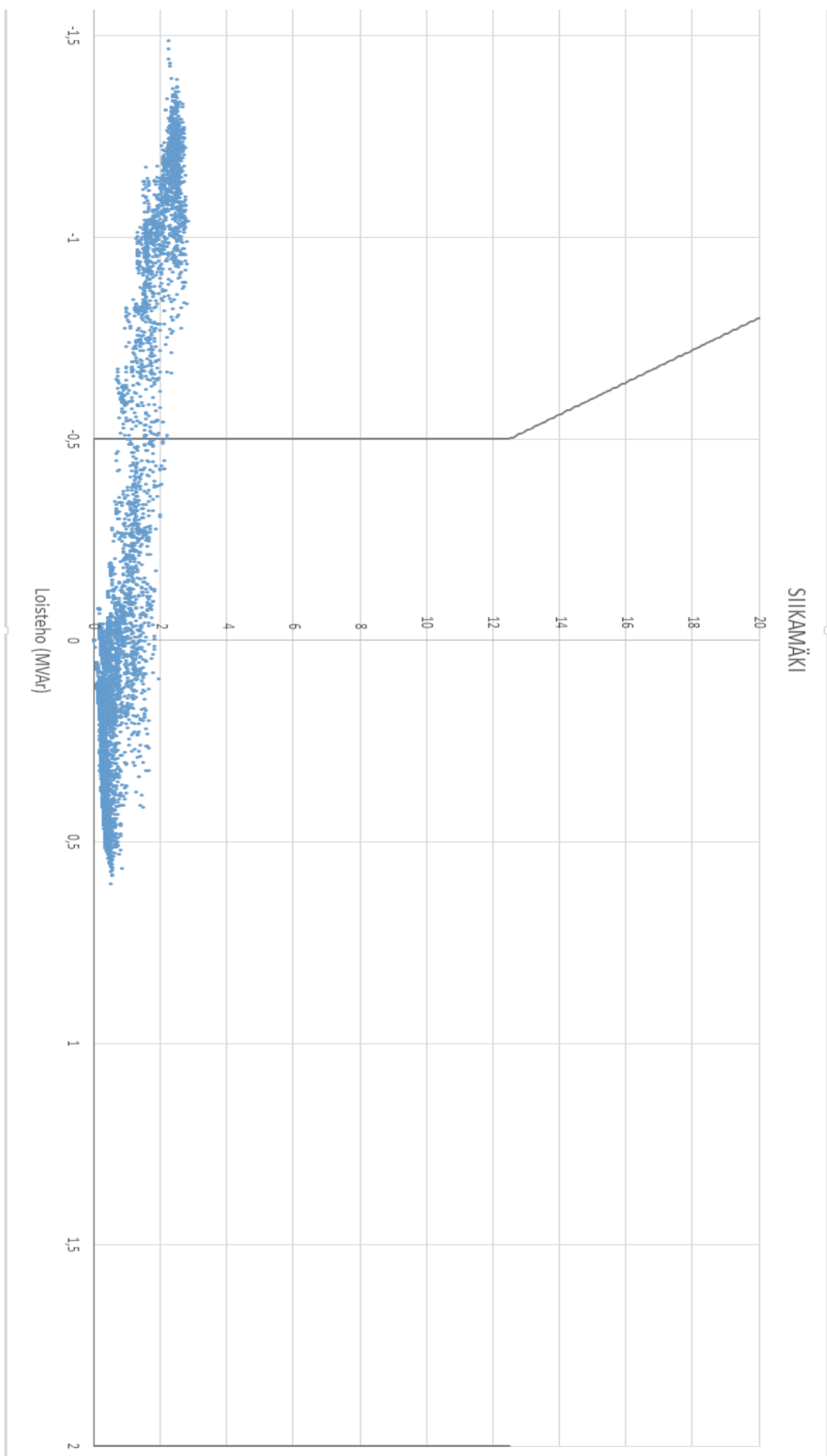
Energiamaksu 3 500,63€

$(700,1 \text{ MVArh} * 5 \text{ €/MVArh} = 3\,500,63 \text{ €})$

= Yhteensä 6 408,63 €



KUVIO 1. Partaharjun Puutarhan loistehon ylitykset vuodelta 2015 (Fingrid Oy 2016.)



KUVIO 2. Partaharjun loissähköikkuna vuonna 2015 (Fingrid Oy 2016.)

7.5 Partaharjun Puutarha Oy 2016

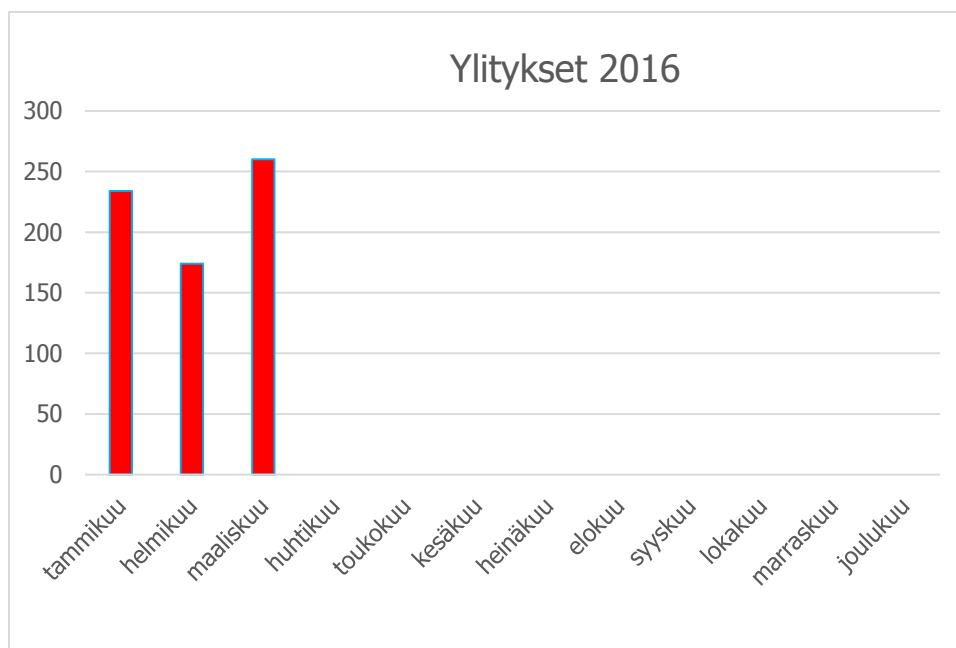
Vuoden 2016 raportti sisältää ajanjakson 1.1.–30.6.2016. Loistehon antoa oli kyseisenä aikana tunnin mittausajanjaksolla 364 kpl ja ylitysenergian suuruus oli 86,3 MVArh. Partaharjun Puutarhan loissähköikkunaan on laskettu antotehoa -0,5 MVArh ja ottotehoa 2,0 MVArh. Kuviossa 4 on Partaharjun Puutarha Oy:n loissähköikkuna ajalta 1.1.–30.6.2016. Ylitystä tapahtui lasketusta rajasta puolen vuoden aikana kolmena kuukautena, tammikuu 234 kVArh, helmikuu 173 kVArh ja maaliskuu 260 kVArh. 50:tä suurinta ylitystä kuukaudessa ei huomioida, joten ylityksiä tapahtui 207 kpl, ja ylitysenergian suuruus oli 24,5 MVArh. Kuviossa 3 on esitetty Partaharjun Puutarha Oy:n vuonna 2016 tapahtuneet loistehon ylitykset. (Fingrid Oy 2016.)

Vuonna 2019 voimaan tulevan laskutusmallin mukaisesti loistehon tuotosta tulisi laskua vuodelta 2016:

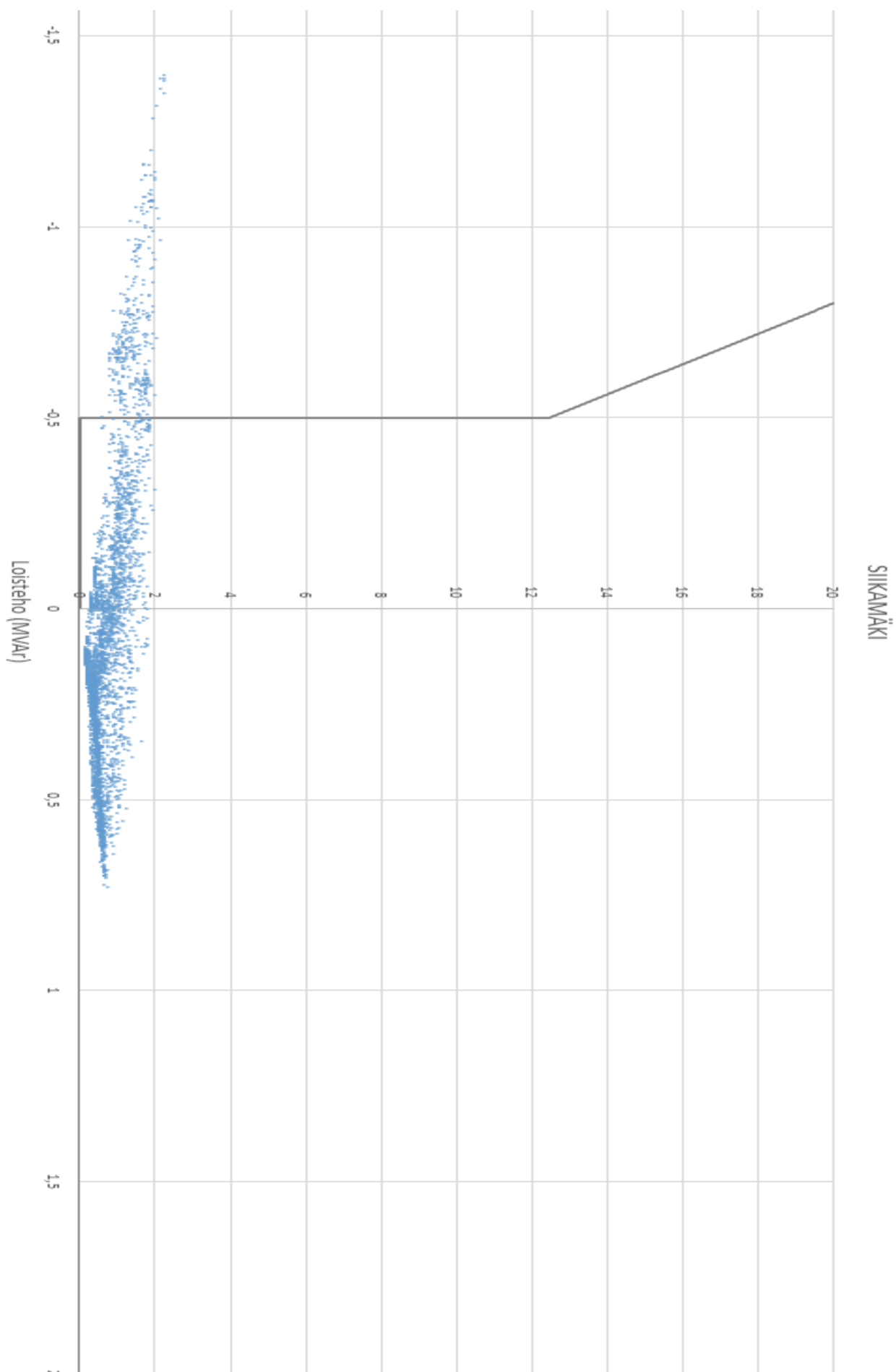
Tehomaksu 668,00 € $((0,234 \text{ MVArh} + 0,173 \text{ MVArh} + 0,26 \text{ MVArh}) * 1\,000 \text{ €/MVArh} = 668,00 \text{ €})$

Energiamaksu 122,40 € $(24,5 \text{ MVArh} * 5 \text{ €/MVArh} = 122,40 \text{ €})$

= Yhteensä 790,40 €



KUVIO 3. Partaharjun Puutarharhan loistehon ylitykset vuonna 2016 (Fingrid Oy 2016.)



KUVIO 4. Partaharjun loissähköikkuna 1.1-30.6.2016 (Fingrid Oy 2016.)

8 MITTAUKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Mittaukset päätettiin suorittaa muuntajilta A ja F niin, että kaikki muuntajien syöttämät valaistusosastot olivat yhtä aikaa käytössä sekä erikseen valaistusosastokohtaisesti, jolloin yksittäiset valaistusosastot olivat käytössä. Muuntaja A syöttää neljää valaistusosastoa (11, 12, 13, 14), kuten myös muuntaja F (15, 16, 17, 18). Ennen mittauksia tarkastettiin muuntajan A syöttämien jakokeskusten kondensaattoriparistojen kunto. Valaistusosastot eivät ole kesäaikaan käytössä, koska taimia voidaan kasvattaa luonnonvalolla. Mittauksia varten valaistusosastoja pidettiin käytössä mittaussuunnitelman mukaisesti. Kuvassa 11 näkyy Partaharjun Puutarhan 110kV liittymispiste sekä puistomuuntamot A ja F.

Mittaukset suoritettiin laaditun mittaussuunnitelman mukaisesti. Muuntaja A:n mittauksen kokonaiskesto oli 2 h ja valaistusosastojen mittausten kesto oli 10 min kerrallaan. Muuntaja F:n mittauksen kokonaiskesto oli 1 h ja valaistusosastojen mittauksen kesto 10 min. Mittalaite Fluke 434 asetettiin mittaamaan 10 ms mittausajanjaksoja. Tulokseksi otettiin 10 ms mittausajanjaksojen keskiarvot. Mittaukset suoritettiin 15.8.2016.



KUVA 11. Partaharjun Puutarhan 110kV liittymispiste sekä puistomuuntamot A ja F (Huusko 2016.)

8.1 Mittauslaitteet

Mittaukset suoritettiin Fluke 434 -tehoanalysaattorilla (Kuva 12). Fluke 434 -tehoanalysaattori on sertifioitu täyttämään standardin CAT IV luokan vaatimukset.



KUVA 12. Fluke 434 -Power Quality Analyzer (Fluke 2016.)

8.2 Kondensaattoriparistojen kunnon tarkastus

Muuntajan A syöttämällä jakokeskuksilla on 2 * 80 kVAR kondensaattoriparistot jokaisella jakokeskuksella (kuva 13, Nokian Capacitors, $Q_n = 80 \text{ kVAR}$, $U_n = 525 \text{ V}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $I_n = 88 \text{ A}$). Kondensaattoriparistot tarkastettiin jakokeskuksilta KA 06, KA 07, KA 08 ja KA 09. Kaikki kondensaattoriparistot vaikuttivat silmämääräisesti tarkasteluna hyväkuntoisilta. Saatujen tietojen mukaan sulakkeita ei ollut tarvinnut vaihdella viime aikoina, eikä palaneita sulakkeita näkynyt ympäristössä. Puutarhan sisätilojen ympäristö on kostea ja lämmin, minkä vuoksi paristojen navoissa oli havaittavissa vähäistä hapettumista, mutta silmämääräisesti tarkastettuna tällä ei kuitenkaan ole merkittävää vaikutusta tarkastushetkellä.



KUVA 13. Kondensaattoriparistot (Huusko 2016.)

8.2.1 Mittaustulokset

Vaihekohtaiset virrat jokaiselta kondensaattoriparistolta:

Jakokeskus KA 06:

Oikean puolen paristo L1 = 74,8 A L2 = 75,2 A L3 = 75,1 A

Vasemman puolen paristo L1 = 73,5 A L2 = 74,3 A L3 = 74,7 A

Jakokeskus KA 07:

Oikean puolen paristo L1 = 72,2 A L2 = 71,6 A L3 = 72,4 A

Vasemman puolen paristo L1 = 0 A L2 = 0 A L3 = 0 A

Jakokeskus KA 07, vasen kondensaattoriparisto ei saanut kuormituksella kontaktorilleen ohjausjännitettä.

Jakokeskus KA 08:

Oikean puolen paristo L1 = 74 A L2 = 74,6 A L3 = 75,4 A

Vasemman puolen paristo L1 = 74,2 A L2 = 75 A L3 = 75,8 A

Jakokeskus KA 09:

Oikean puolen paristo L1 = 73 A L2 = 73 A L3 = 73,4 A

Vasemman puolen paristo L1 = 70,9 A L2 = 72,8 A L3 = 73 A

8.2.2 Mittaustulosten johtopäätökset

Mittaustuloksia vertaillen huomaa, että jakokeskuskohtaisten kondensaattoriparistojen ottamat virrat ovat samansuuruisia keskenään, ja että kompensointi toimii symmetrisesti. Mikäli jonkun jakokeskuksen pariston virta-arvo poikkeaisi huomattavasti muista, voitaisiin päätellä, että kondensaattoriryksikön teho on alentunut.

Jakokeskuksen KA 07 vasemman pariston kunto jäi virta-arvomittausten osalta tarkastamatta. Kondensaattoripariston kontaktori ei lähtenyt vetämään kuormituksesta huolimatta. Kondensaattoriparistojen toiminta on määritelty valaistuksen mukaan. Valaistusosastot käynnistyvät kaksipuolaisesti. Ensin 1/3 valaistuksesta kytkeytyy päälle, sen jälkeen 2/3 valaistuksesta ja kondensaattoriparistot kytkeytyvät päälle.

8.3 Muuntaja A

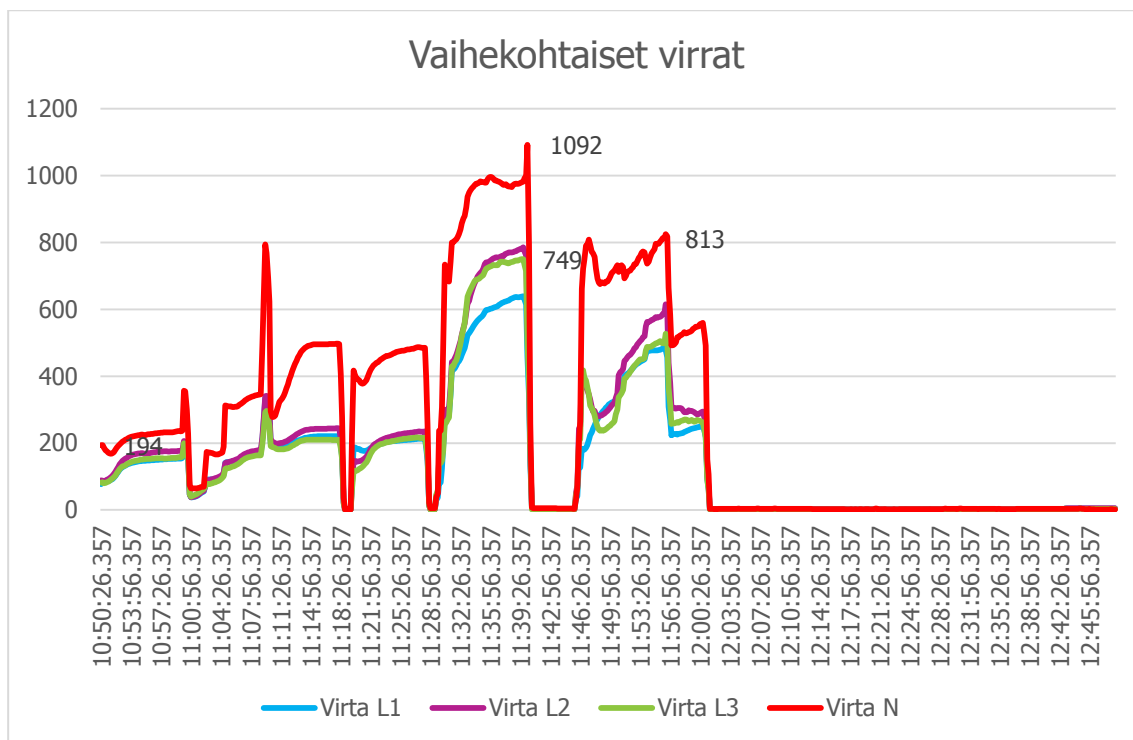
Muuntaja A on näennäisteholtaan 1 600 kVA:n muuntaja (Kuva 14). Muuntajan A perässä olevien valaistusosastojen valaisimien kompensointi on toteutettu niin keskuskohtaisilla kiinteillä rinnakkaiskondensaattoriparistoilla kuin valaisinkohtaisilla kondensaattoreilla. Valaisinkohtaisessa kompensoinnissa on käytetty 1-vaiheisia kondensaattoreita, jotka ovat kytketty vaiheen ja nollan välille.



KUVA 14. Mittalaite muuntajalla A (Huusko 2016.)

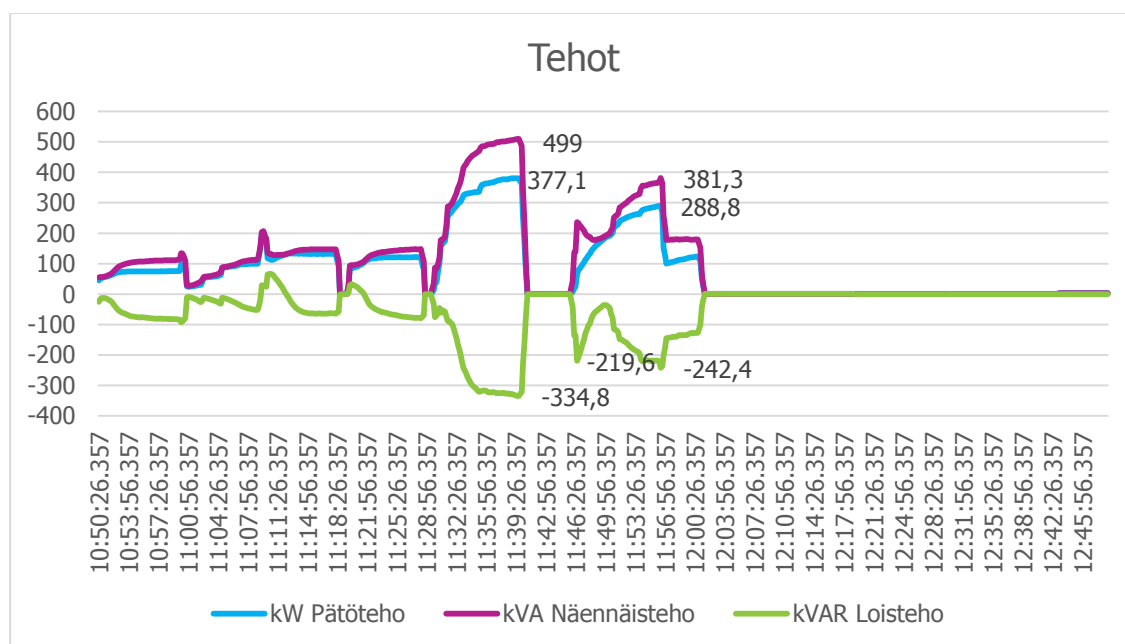
Kuviossa 5 on esitetty vaihekohtaiset virrat muuntajalta A. Mittauksissa suurimmat vaihekohtaiset virrat tulevat, kun kaikkien jakokeskusten osastot ovat päällä ja kondensaattoriparitot ovat kytkeytyneinä. Muuntajan vaihekohtainen nimelliskuormitusvirta voi olla $I = S / (U \cdot \sqrt{3}) = 1\,600\,000 \text{ VA} / (400 \cdot \sqrt{3}) = 2\,309 \text{ A}$.

Kaikkien valaistusosastojen ollessa päällä vaiheet L2 ja L3 ovat eniten kuormitettuja, ja niiden arvot ovat noin 740 - 800 A. L1 vaiheen virta-arvo nousee noin 620 A. L1 vaiheen alhaisempi virta-arvo voi selittyä palaneiden valaisimien ottamatta jääneestä tehosta. Huomioitavaa on, että nollajohtimen virta kulkee jatkuvasti vaihekohtaisten virtojen yläpuolella, korkeimmillaan noin 1 100 A. Verrattaessa kuviossa 9 esittämiä tuloksia kolmannelta yliaallosta näihin vaihekohtaisiin virtoihin, huomataan, että niiden vastaavat huippuarvot vastaavat vaihekohtaisten virtojen nousuja. Kappaleessa 7.4 yliaaltojen haitoista on todettu, että kolmannet yliaallot aiheuttavat nollajohtimen kuormittumista. Kappaleessa 7.3 yliaaltojen aiheuttajista todetaan, että yleisesti ottaen 1-vaiheiset kuormitukset aiheuttavat kolmatta yliaaltoa.



KUVIO 5. Vaihekohtaiset virrat Muuntaja A

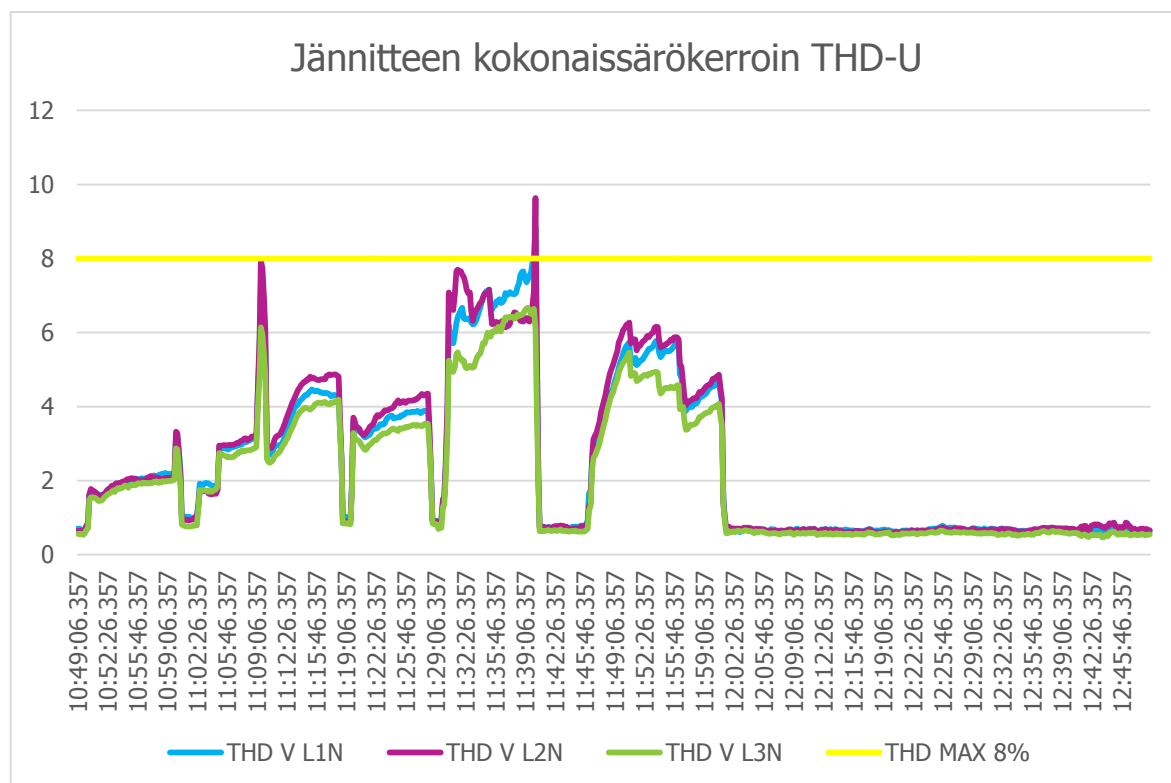
Kuviossa 6 on esitetty muuntajan A tehot mittaussajanjaksolla. Loisteho kulkee lähes koko ajan kapasitiivisella puolella mittaussajanjaksolla. Induktiivisella puolella käydään osastojen 12 ja 13 samuessa. Kaikkien osastojen ollessa päällä kapasitiivista kuormaa tuotetaan maksimissaan -340 kVAR pätötehon ollessa 377 kW. Kondensaattoriparistot pois kytkettynä arvo putoaa 100 kvar arvoon -240 kvar.



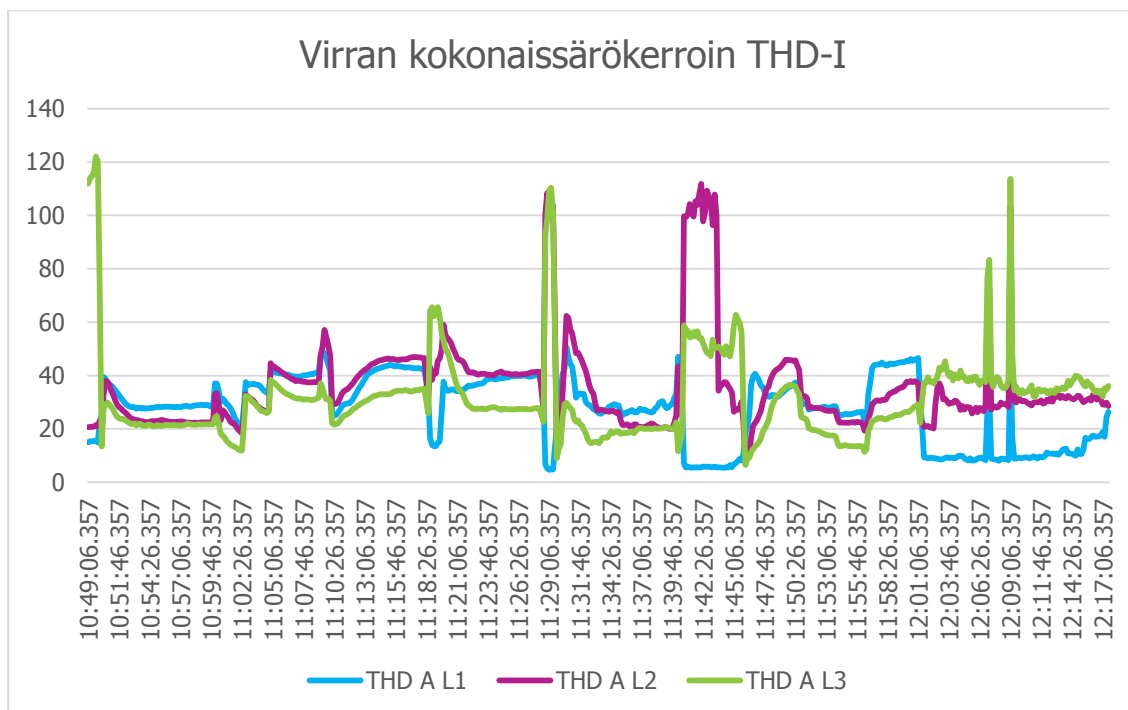
KUVIO 6. Tehot Muuntaja A

Kuten luvussa 7.5 yliaaltojännitteestä ja luvussa 7.6 yliaaltovirrasta todetaan, jännitteen ja virran kokonaissärökertoimet ovat sallitulla rajalla, kun ne ovat alle 8 %. Kuviosta 7 näkyy, että jännitteen kokonaissärökerroin pysyy suurimman osan ajasta alle sallitun 8 %:n. Valaistusosastojen ollessa täydellä kuormalla jännitteen kokonaissärökerroin käy vaiheella L2 yli sallitun arvon. Virran kokonaissärökerroin on koko mittausajan jakson yli sallitun raja-arvon 8 % (Kuvio 8).

Luvussa 7.5 yliaaltojännitteestä mainitaan, että suurin sallittu THD-taso määritellään jännitestandardissa SFS-EN 50160. Normaaleissa käyttöolosuhteissa, kunkin viikon pituisen mittausjakson aikana, 95 % jakelujännitteen kunkin yksittäisen harmonisen yliaaltojännitteen 10 minuutin keskimääräisistä tehollisarvoista tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 1 annettu arvo. Lisäksi jakelujännitteen kokonaissärökertoimen THD, mukaan lukien kaikki harmoniset yliaallot järjestyslukuun 40 saakka, tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %.

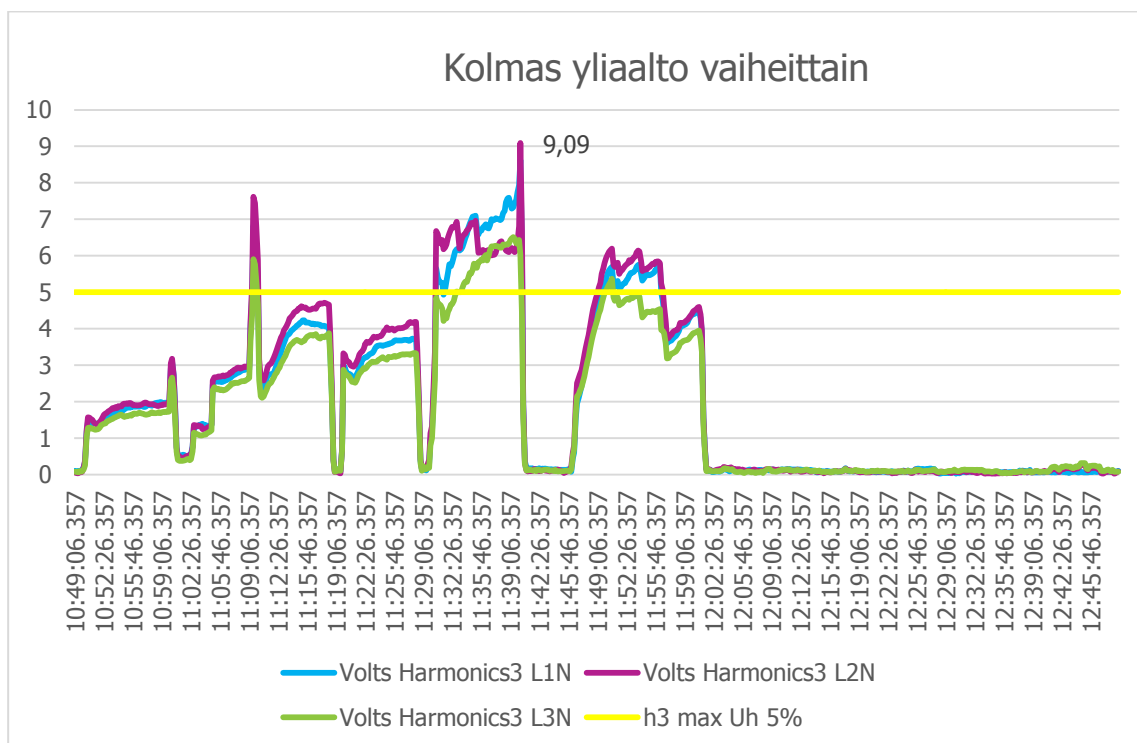


KUVIO 7. Jännitteen kokonaissärökerroin



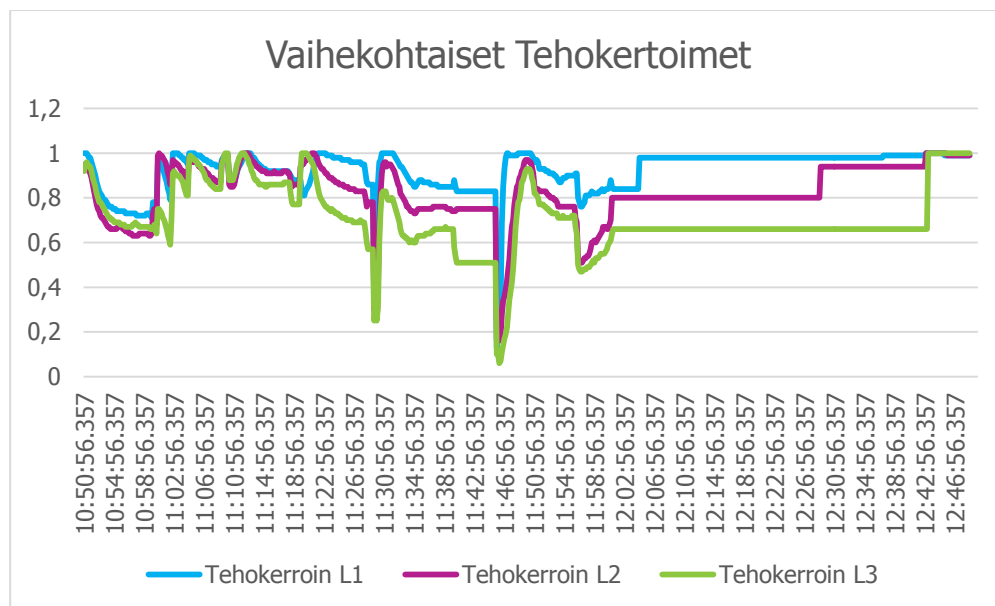
KUVIO 8. Virran kokonaissärökerroin

Kolmatta yliaaltoa esiintyy verkossa kuormituksen aikana yli standardin SFS-EN 50160 määrittelemän 5 %:n. Kun osastokohtainen kuormitus on päällä, kolmas yliaalto on sallituissa rajoissa. Muiden yliaaltojen mitatut arvot eivät ylittäneet sallittuja arvoja.



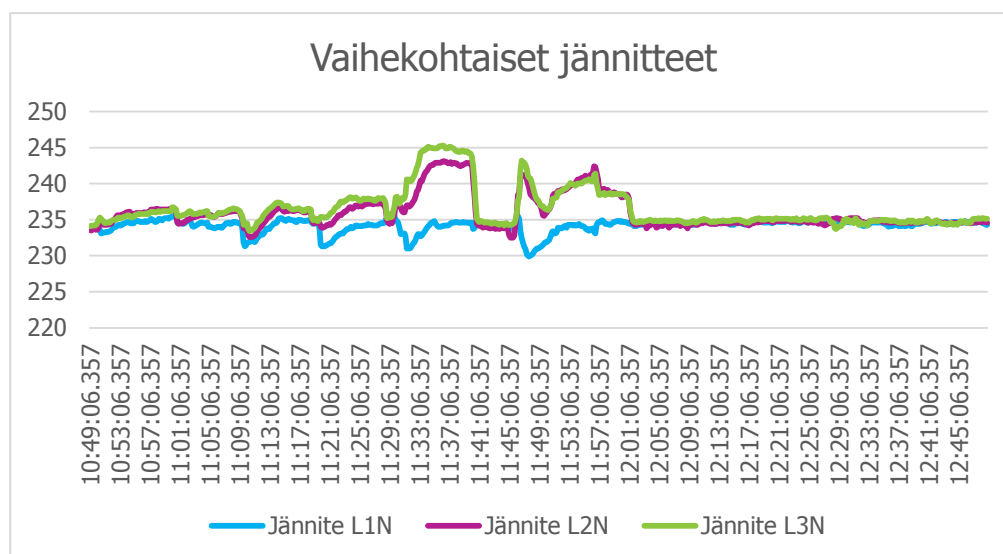
KUVIO 9. Kolmas yliaalto

Kuvio 10 esittää muuntajan A vaihekohtaisia tehokertoimia. Kuten kuviosta 10 huomataan, tehokerroin vaihtelee 0,6 (kap) ja 0,95 (kap) välillä suurimman osan ajasta. Huippuarvot, jotka kuviossa näkyvät, tulevat osastojen ollessa siirtymistilassa tai kytkettynä pois käytöstä. Tehokerrointa tarkasteltaessa huomataan, että vaiheen L1 tehokerroimen arvo on suurimman osan ajasta muiden vaiheiden yläpuolella.



KUVIO 10. Vaihekohtaiset tehokertoimet

Kuvio 11 esittää muuntajan A vaihekohtaisia jännitteitä. Kuten luvussa 4 jännitteestä kerrottiin, vaihekohtaiset jännitteen muutokset eivät saisi standardin SFS-EN 50160 mukaisesti ylittää $\pm 10\%$:a jakelujännitteen suuruudesta (U_C). Jakelujännitteen suuruus (U_C) on 230 V ja vaihekohtainen maksimiarvo käy vaiheella L3 245 V, + 6,1 %, vaihekohtainen minimiarvo käy vaiheella L1 229 V, - 0,4 % jakelujännitteen suuruudesta. Jakelujännitteen suuruuden nousuun vaikuttaa loistehon määrä, koska jännite on suoraan verrannollinen virran määrään, ja virtaan vaikuttaa loistehon suuruus.



KUVIO 11. Vaihekohtaiset jännitteet

8.3.1 Valaistusosasto 11

Valaistusosasto 11, jakokeskus KA 08

Mittaus alkoi 10.47.

Mittaus loppui 10.56.

Jakokeskuksella KA 08 on 2 * 80 kvar kondensaattoriparistoa.

Valaistusosastolla 11 oli silmämääräisesti laskettuna noin 220 valaisinta pimeänä.

Valaistusosastolla 11 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,66 (kap) keskimääräisistä päto- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 74,5 kW ja loistehoa -76,8 kvar.

8.3.2 Valaistusosasto 12

Valaistusosasto 12, jakokeskus KA 07

Mittaus alkoi 10.57.

Mittaus loppui 11.06.

Jakokeskuksella KA 07 on 2 * 80 kvar kondensaattoriparistoa.

Valaistusosastolla 12 oli silmämääräisesti laskettuna noin 120 valaisinta pimeänä.

Valaistusosastolla 12 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,88 (kap) keskimääräisistä päto- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 99,3 kW ja loistehoa -48,9 kvar.

8.3.3 Valaistusosasto 13

Valaistusosasto 13, jakokeskus KA 06

Mittaus alkoi 11.07.

Mittaus loppui 11.16.

Jakokeskuksella KA 06 on 2 * 80 kVAr kondensaattoriparistoa.

Valaistusosastolla 13 oli silmämääräisesti laskettuna noin 70 valaisinta pimeänä.

Valaistusosastolla 13 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,83 (kap) keskimääräisistä päto- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 131,8 kW ja loistehoa -63,9 kvar.

8.3.4 Valaistusosasto 14

Valaistusosasto 14, jakokeskus KA 09

Mittaus alkoi 11.17.

Mittaus loppui 11.26.

Jakokeskuksella KA 09 on 2 * 80 kVAr kondensaattoriparistoa.

Valaistusosastolla 14 silmämääräisesti laskettuna oli noin 130 valaisinta pimeänä.

Valaistusosastolla 14 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,78 (kap) keskimääräisistä pätö- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 121,1 kW ja loistehoa -74,1 kvar.



KUVA 15. Jakokeskus KA 08 (Huusko 2016.)



KUVA 16. Valaistusosaston 12 valaistusalue (Huusko 2016.)



KUVA 17. Valaistusosasto 14 (Huusko 2016.)

8.3.5 Muuntajan A valaistusosastot 11, 12, 13 ja 14 kondensaattoreiden kanssa

Mittaus alkoi 11.27 - 11.28.

Mittaus loppui 11.37 - 11.38.

Kaikkien valaistusosastojen ollessa päällä keskimääräinen tehokerroin oli 0,73 (kap) keskimääräisistä pätö- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 376,7 kW ja loistehoa -327,1 kvar.

8.3.6 Muuntajan A valaistusosastot 11, 12, 13 ja 14 ilman kondensaattoreita

Mittaus alkoi 11.43 - 11.44.

Mittaus loppui 11.53 - 11.54.

Kaikkien valaistusosastojen ollessa päällä keskimääräinen tehokerroin ilman kondensaattoriparistoja jakokeskuksilla kytkettynä oli 0,77 (kap) keskimääräisistä pätö- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 263,3 kW ja loistehoa -189,8 kvar.

8.4 Muuntaja F

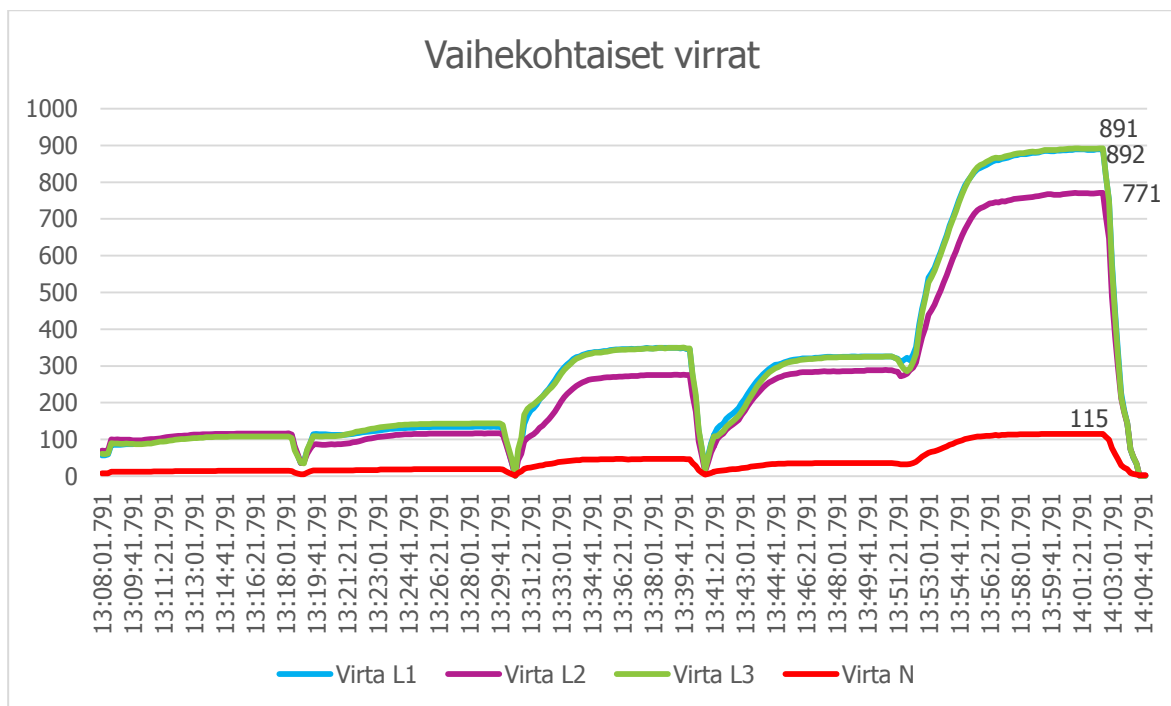
Muuntaja F on näennäisteholtaan 1 600 kVA:n muuntaja (Kuva 18). Valaistusosastojen kompensointi on toteutettu 3-vaiheisilla valaisinryhmille asennetuilla kondensaattoreilla.



KUVA 18. Muuntaja F (Huusko 2016.)

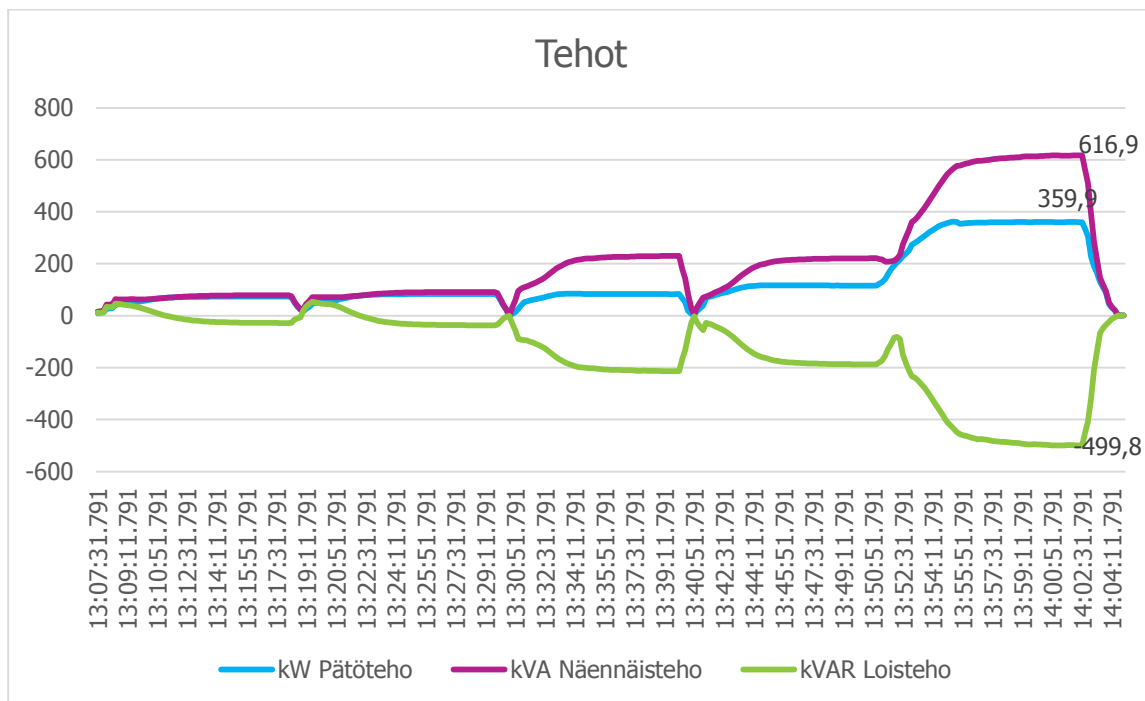
Kuviossa 12 on esitetty vaihekohtaiset virta-arvot muuntajalta F. Mittauksissa suurimmat vaihekohtaiset virrat esiintyvät, kun kaikkien jakokeskusten osastot ovat päällä, vaihekohtaiselta virta-arvoltaan noin 890 A. Muuntajan vaihekohtainen nimelliskuormitusvirta voi olla $I = S / (U \cdot \sqrt{3}) = 1\,600\,000 \text{ VA} / (400 \cdot \sqrt{3}) = 2\,309 \text{ A}$.

Kaikkien valaistusosastojen ollessa päällä vaiheet L1 ja L3 ovat eniten kuormitettuja noin 890 A virta-arvoillaan. Vaiheen L2 virta-arvo nousee arvoon 780 A. Verrattaessa muuntajan A tuloksiin, huomataan, että muuntajan F nollajohtimen virta pysyy melkein nolla-arvossa osastojen 15 ja 16 ollessa päällä. Osastojen 17 ja 18 ollessa päällä nollajohtimen virta vaihtelee 20 ja 50 A:n välillä. Kaikkien osastojen ollessa päällä virta-arvo nousee maksimissaan 115 A.



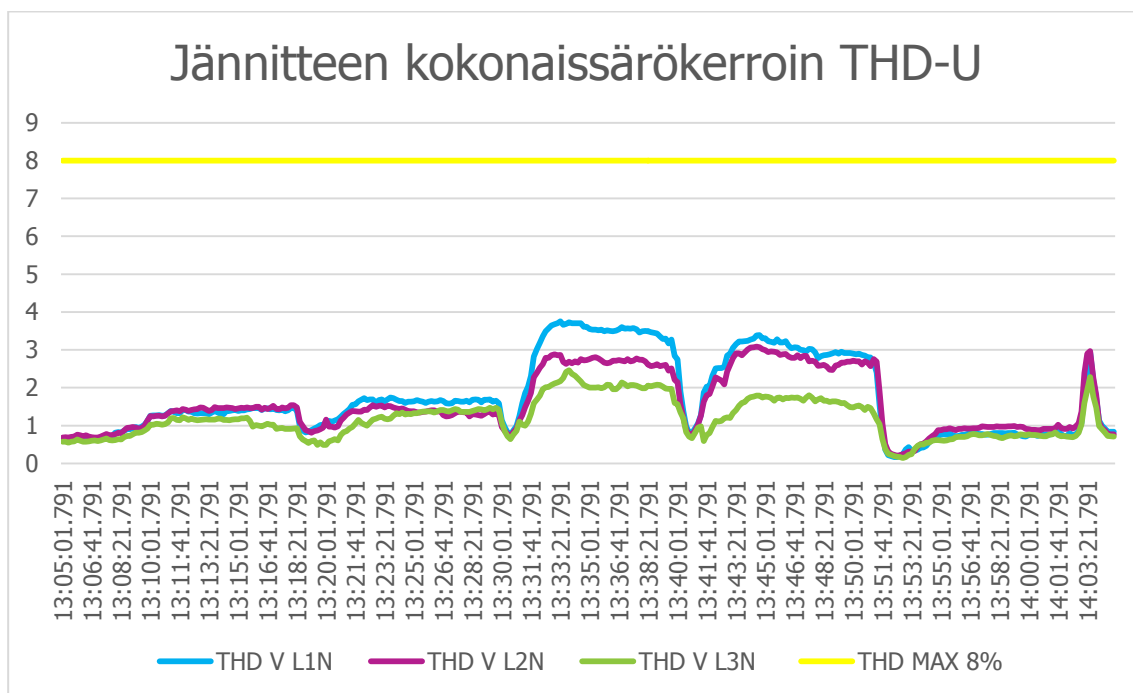
KUVIO 12. Vaihekohtaiset virrat Muuntaja F

Kuviossa 13 on esitetty muuntajan F tehot. Loisteho kulkee miltei koko ajan kapasitiivisella puolella. Induktiiviselle puolelle siirrytään, kun verkossa ei ole kuormitusta. Kaikkien osastojen ollessa kytkettyinä kapasitiivista kuormaa tuotetaan maksimissaan noin -500 kvar.

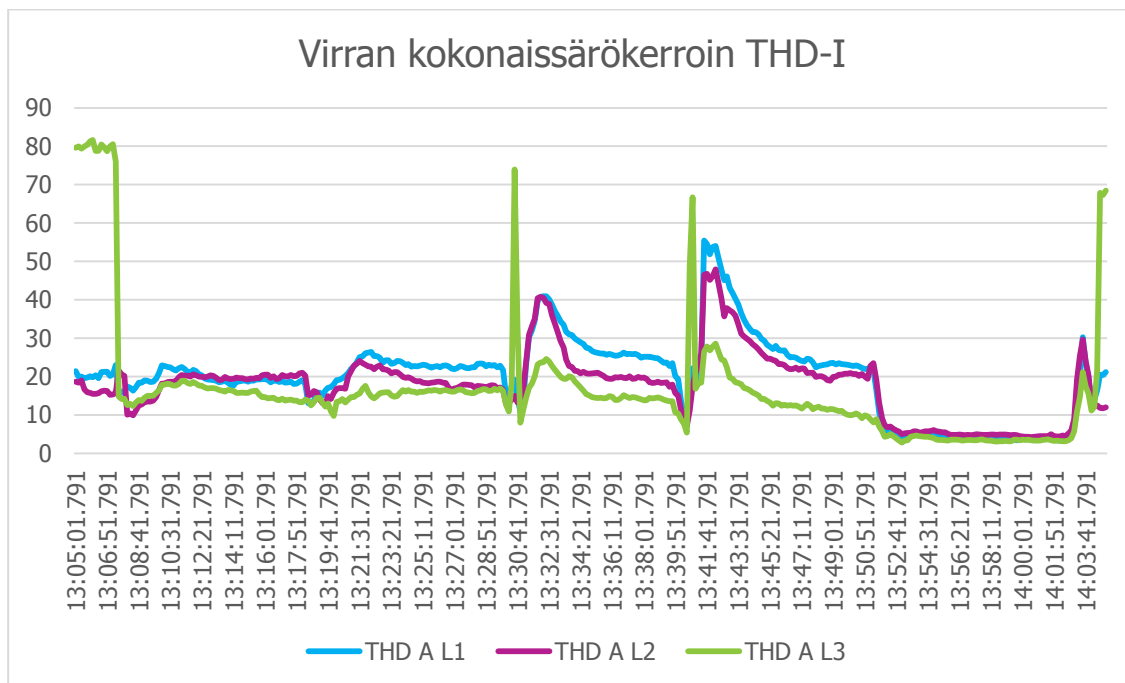


KUVIO 13. Tehot Muuntaja F

Jännitteen kokonaissärökerroin pysyy koko kuormitusilanteen ajan standardin SFS-EN 50160 määrittelemän rajan 8 % alapuolella (Kuvio 14). Virran kokonaissärökerroin on koko mittausajanjakson yli sallitun raja-arvon 8 % (Kuvio 15).

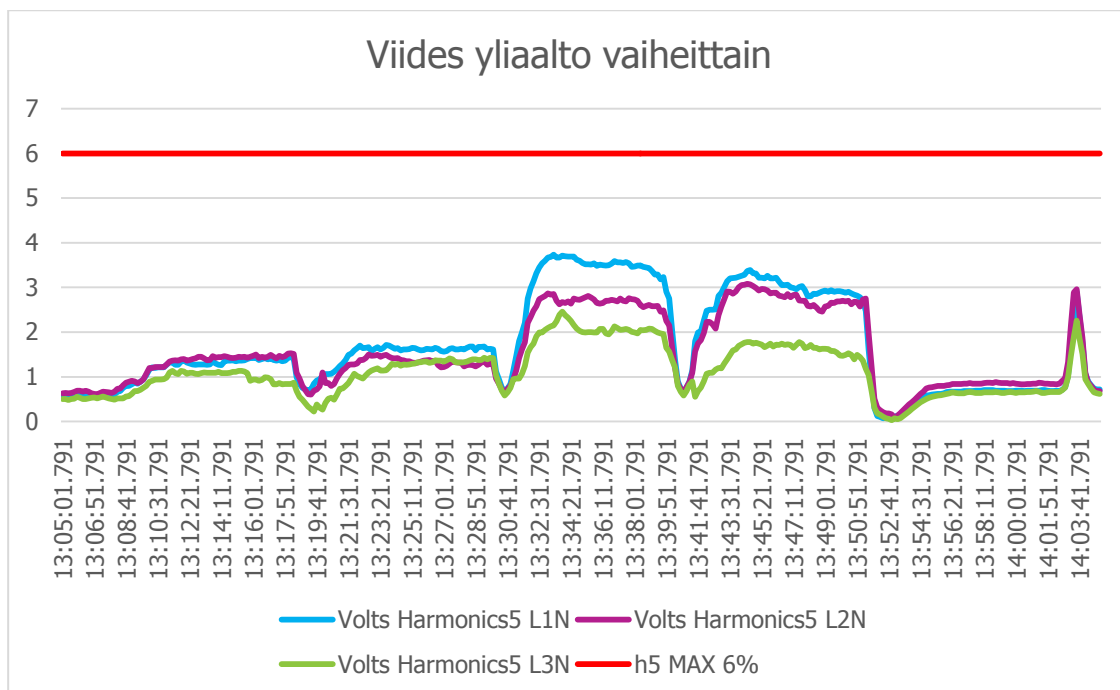


KUVIO 14. Jännitteen kokonaissärökerroin



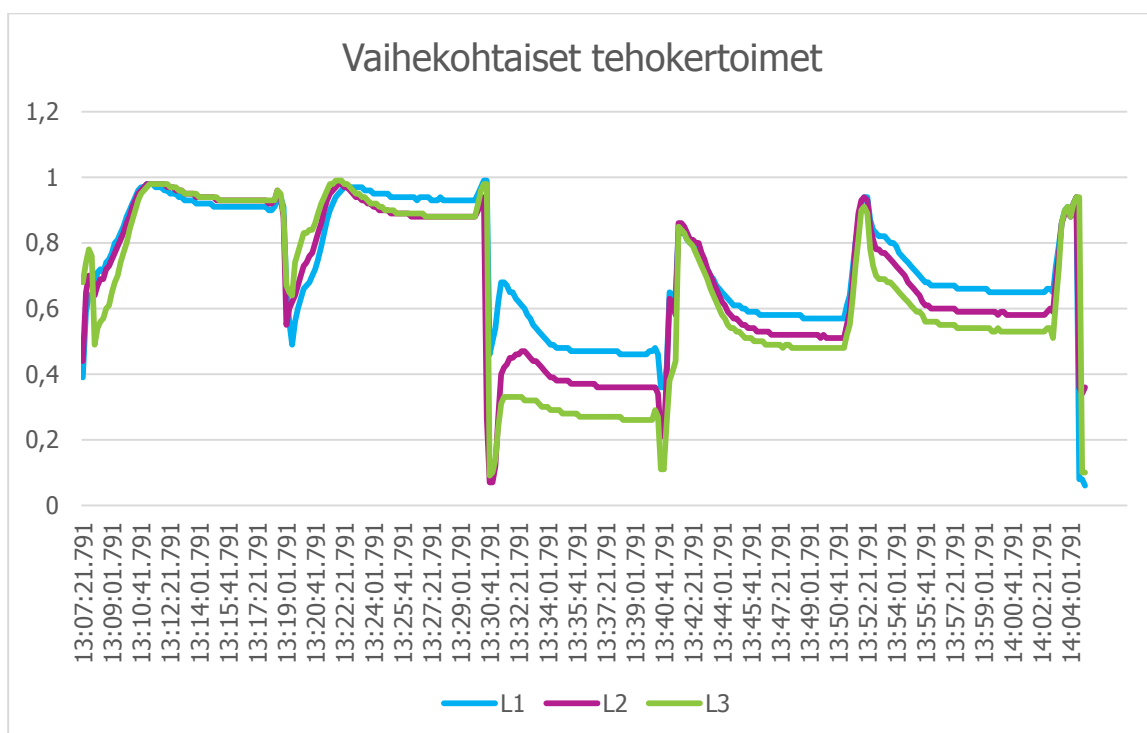
KUVIO 15. Virran kokonaissärökerroin

Muuntamalla F ei esiintynyt standardin SFS-EN 50160 raja-arvojen ylittäviä yliaaltoja (Kuvio 16). Viides yliaalto oli suhteutettuna muihin yliaaltoihin suurin verkossa esiintyvä yliaalto. Kuten luvussa 7.3 yliaaltojen aiheuttajista todetaan, yleisesti ottaen 3-vaiheiset kuormitukset aiheuttavat viidensyä yliaaltoja.



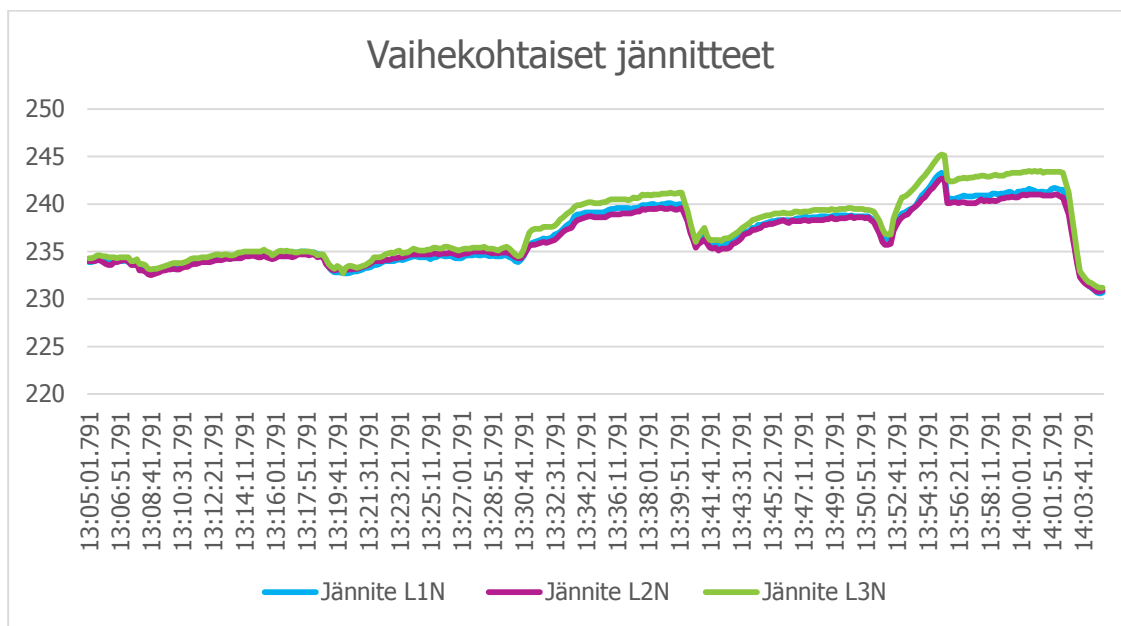
KUVIO 16. Viides yliaalto

Valaistusosastojen 15 ja 16 ollessa päällä, jolloin kuvio 13 mukaan ei esiinny huomattavia loisteho-kuormia, tehokerroin vaihtelee 0,9 (kap) ja 0,98 (kap) välillä (Kuvio 17). Täysin resistiivistä kuorma ei ole, koska loistehoa esiintyy kuitenkin vähän verkossa. Valaistusosaston 17 ollessa päällä vaihekohtaiset tehokertoimet putoavat 0,3 ja 0,5 välille. Valaistusosaston 18 ollessa käytössä tehokertoimet vaihtelevat 0,5 (kap) ja 0,6 (kap) välillä. Kaikkien valaistusosastojen ollessa päällä vaihekohtaiset tehokertoimet ovat 0,5 (kap) ja 0,7 (kap) välillä.



KUVIO 17. Vaihekohtaiset tehokertoimet

Kuvio 18 esittää muuntajan F vaihekohtaisia jännitteitä. Kuten kappaleessa 4 jännitteestä kerrottiin, vaihekohtaiset jännitteen muutokset eivät saisi standardin SFS-EN 50160 mukaisesti ylittää ± 10 %:a jakelujännitteen suuruudesta (U_c). Jakelujännitteen suuruus (U_c) on 230 V ja vaihekohtainen maksimiarvo käy vaiheella L3 245 V, + 6,1 %, vaihekohtainen minimiarvo käy vaiheella L2 231 V, + 0,4 % jakelujännitteen suuruudesta. Jakelujännitteen suuruuden nousuun vaikuttaa loistehon määrä, koska jännite on suoraan verrannollinen virran määrään, ja virtaan vaikuttaa loistehon suuruus.



KUVIO 18. Vaihekohtaiset jännitteet

8.4.1 Valaistusosasto 15

Mittaus alkoi 13.05.

Mittaus loppui 13.16.

Valaistusosastolla 15 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,94 (kap) keskimääräisistä pätö- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 73 kW ja loistehoa -24,2 kvar.

8.4.2 Valaistusosasto 16

Mittaus alkoi 13.17.

Mittaus loppui 13.28.

Valaistusosastolla 16 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,95 (kap) keskimääräisistä pätö- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 81,5 kW ja loistehoa -21,5 kvar.

8.4.3 Valaistusosasto 17

Mittaus alkoi 13.29.

Mittaus loppui 13.38.

Valaistusosastolla 17 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,38 (kap) keskimääräisistä päto- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 83,9 kW ja loistehoa -200,5 kvar.

8.4.4 Valaistusosasto 18

Mittaus alkoi 13.41.

Mittaus loppui 14.01 - 14.02.

Valaistusosastolla 18 oli mittausajanjaksolla keskimääräinen tehokerroin 0,53 (kap) keskimääräisistä päto- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 115,9 kW ja loistehoa -187,2 kvar.

8.5 Muuntajan F valaistusosastot 15, 16, 17 ja 18

Mittaus alkoi 13.48 – 13.50.

Mittaus loppui 14.01 – 14.02.

Kaikkien valaistusosastojen keskimääräinen tehokerroin oli 0,59 (kap) keskimääräisistä päto- ja loistehoista laskettuna. Pätötehoa oli 360,1 kW ja loistehoa -490,8 kvar.

9 YHTEENVETO

Mittaustulosten perusteella muuntajan A syöttämällä valaistusosastoilla on jokaisella osastolla ylikompensointia. Loistehon suuruus valaistusosastoittain vaihteli -45 ja -80 kvar:in välillä. Valaistusosastolla 11 keskimääräinen tehokerroin oli 0,66 (kap), valaistusosastolla 12 0,88 (kap), valaistusosastolla 13 0,83 (kap) ja valaistusosastolla 14 0,79 (kap). Muuntajan A keskimääräinen tehokerroin ilman valaistusosastojen kondensaattoreita oli 0,77 (kap) ja kondensaattoreiden kanssa 0,73 (kap).

Muuntajalta A saaduista tuloksista loistehon osuus on -340 kvar. Tämä loistehon osuus voi johtua valaisimien laitekohtaisesta kondensaattorista. Kun lamppu on palanut, se ei enää kuluta loistehoa, ja laitekohtaisen kompensoinnin kondensaattoriyksikkö jää verkkoon tuottamaan kapasitiivista loistehoa. Verrattaessa mittaustuloksia silmämääräisesti laskettuihin pimeisiin valaisimiin huomataan, että osastoilla, joissa on paljon pimeitä valaisimia, on myös enemmän loistehon tuottoa. Muuntajan A syöttämiltä valaistusosastoilta oli silmämääräisesti laskettuna yhteensä noin 540 pimeänä olevaa valaisinta. Ylimääräinen loisteho täytyy saada pois verkosta sähkönsiirron tehokkuuden parantamiseksi.

Kolmansiä yliaaltoja esiintyi muuntajalla A otetuista mittauksista yli standardin SFS-EN 50160 määritetyn 8 % rajan. Kolmas yliaalto täytyy saada pois verkosta aiheuttamasta rinnakkaisresonssia, joka näkyy nollajohtimen sinne kuulumattomassa virrassa.

Kolmansien yliaaltojen johdosta tuleva nollajohtimen kuormittuminen oli suurempi kuin vaihejohtimien kuormittuvuus. Nollajohtimen virta nousi suurimmilleen, kun rinnakkaiskondensaattoriparistot olivat kytkettyinä jakokeskuksilla. Suurimmillaan nollajohtimen virta oli 1100 A, ja suurin vaihejohtimessa oleva virta 750 A. Jakokeskuksien kondensaattoriparistojen verkosta pois ottamisen jälkeen nollajohtimen virta oli noin 820 A, ja suurin vaihejohtimessa oleva virta 600 A.

Kondensaattoriparistojen tarkastuksessa todettiin, että kondensaattoriparistot ottavat symmetristä kuormaa ja ovat kunnossa.

Parannusehdotuksena on tälle muuntajan A syöttämille valaistusosastoille ensimmäiseksi jakokeskuskohtaisten rinnakkaiskondensaattoriparistojen irrotus verkosta. Mittaustuloksista huomataan, että loistehon osuus laski, tehollisarvo parani, kolmannet yliaallot vähenivät, jännitenousu oli pienempi sekä nollajohtimen virta-arvo laski, kun kondensaattoriparistot eivät olleet kytkettyinä.

Toisena parannusehdotuksena on valaistusosastojen valaisimien kuntokartoitus, jotta saadaan tarkasti selville, miten monta lamppua tai valaisinta on hajonnut, ja kuntokartoituksen perusteella tehdään korjaus- ja huoltotoimenpiteet. Kun valaistusosastot ovat näiden toimenpiteiden jälkeen kunnossa, suoritetaan uusintamittaus valaistusosastoittain. On tärkeää tehdä mittaukset valaistusosastottain, eikä esimerkiksi kaikkien valaistusosastojen yhtäaikaista mittausta suoriteta yliaaltojen aiheuttamien nollavirtojen takia. Uusintamittauksessa voidaan todeta verkon nykytilanne, kun se on kuormituksessa, ja verrata tuloksia näihin saatuihin tuloksiin. Uusien tulosten perusteella saadaan

selville, onko verkossa vielä tässä tutkimuksessa todettuja häiriöitä. Jos häiriöitä vielä esiintyy, on häiriöiden laadun perusteella määriteltävä uudet jatkotoimenpiteet.

Mittaustulosten perusteella muuntajan F syöttämällä valaistusosastoilla 15 ja 16 on vähemmän loistehon tuottoa kuin valaistusosastoilla 17 ja 18. Loistehon suuruus valaistusosastoilla 15 ja 16 vaihteli -20 ja -25 kvar:in välillä. Valaistusosastolla 15 keskimääräinen tehokerroin oli 0,94 (kap) ja valaistusosastolla 16 keskimääräinen tehokerroin oli 0,95 (kap). Tehokerroin vastaa purkausvalaisimille yleistä keskimääräistä tehokerrointa 0,9. Valaistusosastolla 17 keskimääräinen tehokerroin oli 0,38 (kap) ja valaistusosastolla 18 0,53 (kap). Loistehon suuruus valaistusosastoilla 17 ja 18 vaihteli -187 ja -200 kvar:in välillä. Muuntajan F kokonaistehoja tarkasteltaessa nähdään, että maksimikuormituksen aikaan, kun kaikki valaistusosastot olivat päällä, keskimääräinen tehokerroin oli 0,59 (kap) ja loistehon tuottoa oli -490,8 kvar. Haitallisia yliaaltoja ei esiintynyt muuntajan F syöttämällä valaistusosastoilla.

Parannusehdotuksena muuntajan F syöttämille valaistusosastoille 17 ja 18, joissa ylikompensointia esiintyy, on valaisimien kuntokartoitus. Näin saadaan tarkasti selville, miten monta lamppua tai valaisinta on hajonnut, ja kuntokartoituksen perusteella voidaan tehdä korjaus- ja huoltotoimenpiteet. Valaistusosastot 15 ja 16 olivat mittaustulosten perusteella lievästi ylikompensoituja loistehon osalta, minkä vuoksi valaisimille on hyvä tehdä kuntokartoitus. Kuitenkin, valaistusosastot 15 ja 16 tuottivat vähitän mittaustulosten perusteella kaikista mitatuista valaistusosastoista loiskuormaa, eikä loiskuorman tuotto ollut niin merkittävää kuin muilla valaistusosastoilla, joten kyseisten osastojen kuntokartoitus voidaan tehdä viimeisenä. Kun valaistusosastot ovat näiden toimenpiteiden jälkeen kunnossa, suoritetaan uusintamittaus valaistusosastoin. Uusien tulosten perusteella saadaan selville, esiintyykö verkossa vielä tässä tutkimuksessa todettuja häiriöitä. Jos häiriöitä vielä esiintyy, on häiriöiden laadun perusteella määriteltävä uudet jatkotoimenpiteet.

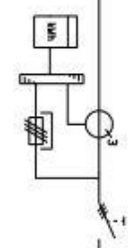
Muuntajien A ja F yhteenlaskettu loistehon tuotto kaikkien osastojen ollessa päällä oli -830 kvar. Pelkästään näiden kahden muuntajan perässä olevien osastojen tuottama loisteho vastaa Fingridiltä saadun raportin arvoja alkuvuodelta 2016. Saaduista tuloksista voidaan päätellä, että suurin osa Partharjun Puutarha Oy:n tuottamasta loistehosta tulee taimenkasvatukseen käytettävistä valaistusosastoilta muuntajilta A ja F.

Mittausajanjaksojen lyhyiden vuoksi kaikki purkausvalaisimet eivät ehtineet syttyä mittausten aikana, koska lämpötila vaikuttaa purkausvalaisimien syttymisaikaan. Valaistusosastoja käytettiin päällä ja pois 10 min jaksoissa mittaussuunnitelman mukaisesti. Purkausvalaisimia on käytössä molempien muuntajien valaistusosastoilla. Muuntajan A mittauksen kokonaiskestoaike oli 2 h, muuntajalla F 1 h ja valaistusosastokohtaisesti molemmilla muuntajilla 10 min. Mittaustulokset ovat suuntaa antavia, jotta pystytään tulkitsemaan puutarhalla esiintyviä ongelmia. Standardin SFS-EN 50160 määrittelemän ja siihen vertailukelpoisen mittaustuloksen saamiseksi olisi suoritettava viikon pituinen mittaus, jossa otetaan huomioon yksittäisten 10 minuutin mittauksien keskiarvot koko viikon ajalta.

LÄHTEET

- ABB OY. Yliaaltosuodatin pienjänniteverkkoon: Laadukkaampaa sähköä, tehokkaampaa energian käyttöä. 2012. [Viitattu 2016-08-11] Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/370bf14314cd9c8ec1257ac3003b691e/HF%20FI%20Esite%2006092012_1TFC902037N1801.pdf
- AHORANTA, Jukka. 2015. Sähkötekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- FINGRID OY. Loissähkön toimitus ja loistehoreservin ylläpito. 2016. [Viitattu 2016-08-16]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kantaverkkopalvelut/Kantaverkkosopimus2016/Loiss%C3%A4hk%C3%B6n%20toimituksen%20ja%20loistehoreservin%20yll%C3%A4pito.pdf>
- FLUKE EUROPE B.V. Internetsivusto. [Viitattu 2016-08-20]. Saatavissa: <http://www.fluke.com/fluke/r0en/power-quality-tools/three-phase/fluke-434-series-ii-energy-analyzer.htm?pid=73937>
- MÄKINEN, Markku ja KALLIO Raimo. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- MÄKELÄ, Mikko, SOININEN, Lauri, TUOMOLA, Seppo ja ÖISTÄMÖ, Juhani. 2012. Tekniikan kaavasto. Tampere: Tammertekniikka.
- MÄNNISTÖ, Matti, HIETALAHTI, Lauri, SEESVUORI, Reino, SEESVUORI, Vesa ja WILÉN, Tarmo. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsija liitto STUL ry.
- NOKIAN CAPASITORS: Pienjännitetuotteiden tuote-opas. [Viitattu 2016-08-11]. Saatavissa: <http://www.sahkonumerot.fi/5704510/doc/brochure/>
- NORELCO NACB Loistehon kompensointijärjestelmät. [Viitattu 2016-08-15] Saatavissa: <http://www.norelco.fi/wp-content/uploads/2016/03/NACB.pdf>
- PARTAHARJUN PUUTARHA OY. Internetsivusto. [Viitattu 2016-05-08]. Saatavissa: <http://partaharju.fi/>
- SFS-Käsikirja 600-2. Sähköasennukset. Osa 2: Sädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. 2012. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SILVONEN, Kimmo. 2003. Sähkötekniikka ja elektroniikka. Helsinki: Hakapaino Oy.

LIITE 2: PÄÄKESKUSKAAVIO KF

		7.18.2016						
A	B	C	D					
11	12	13	14					
15	16	17	18					
19	20	21	22					
23	24	25	26					
27	28	29	30					
31	32	33	34					
35	36	37						
A	KESKUS	Ryhmä	OSOITE	TUNNUS	JOHDOTUS	KVA/KW	A / A	HUOM.
B			YHTEYS TH-SUODIN					
C		01	PLAKKITYN , KISKOSTO SAMA POIKKIPINTA MYÖS PEN, HUUNTALA MF 1600KVA				3150	
D		02	KWH-MITTAUS, VIRTAM, 2500/5A				?	
E		01	KESKUS KF01, VALOTUS OSASTO 18		AXNK 4x185		250/400	
F		02	KESKUS KF02, VALOTUS OSASTO 18		AXNK 4x185		250/400	
G		03	KESKUS KF03, VALOTUS OSASTO 18		AXNK 4x185		250/400	
H		04	KESKUS KF04, VALOTUS OSASTO 18		AXNK 4x185		250/400	
J		05	KESKUS KF05, VALOTUS OSASTO 18		AXNK 4x185		250/400	
K		06	KESKUS KF06, VALOTUS OSASTO 17		AXNK 4x185		250/400	
L		07	KESKUS KF07, VALOTUS OSASTO 17		AXNK 4x185		250/400	
M		08	KESKUS KF08, VALOTUS OSASTO 17		AXNK 4x185		250/400	
N		09	KESKUS KF09, VALOTUS OSASTO 17		AXNK 4x185		250/400	
O		10	KESKUS KF10, VALOTUS OSASTO 17		AXNK 4x185		250/400	
P		11	KESKUS KF11, VALOTUS OSASTO 15		AXNK 4x240		250/400	
R		12	KESKUS KF12, VALOTUS OSASTO 16		AXNK 4x240		250/400	
S		13	KESKUS KF13, VALOTUS OSASTO 16		AXNK 4x240		250/400	



PARTAHARJUN PUUTARHA
PARTAHARJUNTE 431
76280 PEKSAVAKI

PUISTOMUUNTIMON
PENJÄNNITE
PÄÄKESKUS KF

Suunn.
Pirtti
Ei/25.5.2016
Tosk.

Kokonaissuus
Lehti
2 / 3

Pirtin tunnusnumero
SÄHK KF

Sähköpostiosoite
Yhteydenotto
20652

LIITE 4: NOUSUJOHTOKAAVIO KF

