



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# UUSIEN SÄHKÖMITTARITYYPPIEN LANDIS+GYR E450 G3 JA E570 SOVELTUVUUS KUOPION SÄHKÖVERKKOON

Eetu Airaksinen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Sähkötekniikka  
Älykkäät koneet



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Älykkäät koneet

AIRAKSINEN, EETU:

Uusien sähkömittarityyppien Landis+Gyr E450 G3 ja E570 soveltuvuus Kuopion sähköverkkoon

Opinnäytetyö 36 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää uusien sähkömittarityyppien Landis+Gyr E450 G3 ja E570 soveltuvuutta Kuopion Sähköverkkoon. Molemmat ovat etäluettavia sähkömittareita, joiden luennan tiedonsiirtoon käytetään sähköverkkoa eli PLC-tekniikoita. E450 G3 käyttää Suomessa uutta G3-PLC-tekniikkaa, kun taas E570 käyttää jo aiemmin käytössä ollutta PLAN-tekniikkaa. Koska G3-PLC-tekniikasta ei vielä ole kokemuksia Suomessa, sen toimintaa häiriöllisissä ympäristöissä ja samoissa muuntopiireissä muiden mittarityyppien kanssa pyrittiin kartoittamaan. E570 on puhelinverkkojen käyttöä vähentämään tarkoitettu, suuria tehoja mittaava sähkömittari, ja siksi puhelinverkkoyhteyksien korvaamismahdollisuuksia PLAN-tekniikalla tutkittiin.

Mittauksissa käytettiin sekä etäluentaan käytettävästä järjestelmästä saatavia PLC-tiedonsiirron arvoja että magneettikenttää mittaavaa, radiotaajuuksille tarkoitettua spektrianalysaattoria.

E450 G3 -mittareita asennettiin samoihin muuntopiireihin vanhempien mittarityyppien kanssa, jolloin havaittiin eri mittarityyppien häiritsevän toisiaan, johtuen G3-PLC-mittareiden käyttämästä taajuusalueesta. G3-PLC mahdollistaa kuitenkin taajuuksien loveamisen pois käytettävästä taajuusalueesta, joten sekä uusien että vanhojen mittarityyppien tiedonsiirron samassa muuntopiirissä pitäisi parantua. Kun E450 G3 -mittareita asennettiin häiriölliseen ympäristöön, havaittiin niiden toimivan siellä vanhempia PLAN-mittareita paremmin. E570-mittariin liittyen tutkittiin PLAN-yhteyden toimintaa erilaisilla välimatkoilla ja todettiin, ettei PLAN-tiedonsiirto toimi käytännössä yli noin 200 metrin etäisyyksillä.

Työn perusteella on todettavissa, että uudet sähkömittarityypit sopivat Kuopion sähköverkkoon, mikäli niiden erityisominaisuudet otetaan huomioon. Kuopion Sähköverkko Oy:n kannattaa jatkossakin panostaa G3-PLC-tekniikkaan.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Intelligent Machines

AIRAKSINEN, EETU:

Suitability of New Electricity Meter Types Landis+Gyr E450 G3 and E570 for the Kuopio Power Grid

Bachelor's thesis 36 pages

April 2017

---

The purpose of this thesis was to find out if new types of electricity meters Landis+Gyr E450 G3 and E570 were suitable for the power grid of Kuopio. Both types are remotely readable electricity meters which use Power Line Communication (PLC). The E450 G3 uses new G3-PLC-technology, which hasn't been used previously to remotely read electricity meters in Finland. The E570 uses older PLAN-technology. Because there was no earlier experience of using G3-PLC, it was seen necessary to find out how the new technology works in a noisy environment and with older meter types in the same circuit. The E570 is a meter for measuring higher power consumptions meant to replace meters that are using telephone connections for communication and so the ability to replace phone connections with PLAN-communications was investigated.

The Power Line Communication quality available from the system used in remote meter reading and a magnetically coupled radio frequency spectrum analyzer were both used in the measurements.

When E450 G3 meters were installed in same circuits with older meter types, it was noticed that different meter types interfered with each other's communications because of the frequencies used. Using G3-PLC's new features to notch out frequencies used by the older meters in such situations should improve the communication quality of meters both new and old. Installing E450 G3 meters into a noisy environment showed an improvement in communication quality when compared to the older meters using PLAN. Functionality of PLAN in comparison to its communication distance was researched because of the E570 and it was evident that the practical maximum distance for PLAN communication is about 200 meters.

Based on this thesis the new electricity meter types are suitable for the Kuopio power grid, provided their individual restrictions are considered. Kuopion Sähköverkko Oy should continue investing into G3-PLC technology.

---

Key words: remotely readable electricity meters, power line communication, g3-plc, plan

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIAA .....	7
2.1	Power Line Communication -tiedonsiirto.....	7
2.1.1	Etäluentajärjestelmä .....	10
2.1.2	Häiriöiden vaikutus .....	11
2.2	Virtamuuntajamittarit.....	13
2.2.1	PSTN, GPRS vai PLAN?.....	14
2.3	G3-PLC .....	14
2.3.1	G3-PLC-topologia.....	15
3	LANDIS+GYR E450 G3 .....	18
3.1	Yleiskatsaus .....	18
3.2	G3-PLC-mittarit samassa muuntopiirissä muiden mittarityyppien kanssa.....	19
3.2.1	Anritsu MS2713E -spektrianalysaattori.....	19
3.2.2	G3-PLC-tiedonsiirron vaikutus vanhempiin mittarityyppeihin ....	20
3.2.3	PLAN-tiedonsiirron vaikutus G3-PLC-mittareihin .....	23
3.3	G3-PLC-mittarit häiriöllisessä ympäristössä .....	24
3.3.1	Vaihdon tulos .....	26
3.4	E450 G3 -mittareiden toiminnallinen luotettavuus.....	27
4	LANDIS+GYR E570 .....	29
4.1	Yleiskatsaus .....	29
4.2	PLAN-yhteyden laadun riippuvuus johdinpituudesta.....	30
4.2.1	Laskelmissa tarvittava data .....	30
4.2.2	Etäisyyden laskeminen.....	31
4.2.3	Tulosten käsittely .....	31
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	34
	LÄHTEET.....	35

**LYHENTEET JA TERMIT**

ASIC	Application Specific Integrated Circuit, sovelluskohtainen mikropiiri
ASK	Amplitude-Shift Keying, värähdyslaajuuksiin perustuva modulointitapa
FCC	Federal Communications Commission, Yhdysvaltain telehallintovirasto
FSK	Frequency-Shift Keying, taajuuksiin perustuva modulointitapa
G3-PLC	uusi Power Line Communication -tekniikka
GPRS	General Packet Radio Service, matkapuhelinverkossa toimiva tiedonsiirtotekniikka
LON	Local Operating Network, vanha Power Line Communication -tekniikka
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, lukuisiin toisi- aan häiritsemättömiin samaan aikaan käytettäviin taajuuksiin perustuva modulointitapa
PLAN	vanha Power Line Communication -tekniikka
PLC	Power Line Communication, sähköverkossa toimiva tiedon- siirtotekniikka
PSK	Phase-Shift Keying, vaihekulmiin perustuva modulointitapa
PSTN	Public Switched Telephone Network, lankapuhelinverkko

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää uusien sähkömittarityyppien soveltuvuutta Kuopion Sähköverkko Oy:n verkkorakenteeseen ja tukea sähköverkon laitehankintoja. Työssä keskityttiin etäluettavien mittareiden kommunikaatioon. Vaikka nykyiset etäluettavat sähkömittarit helpottavat sähkönkulutuslukemien saamista, ne myös tuovat mukanaan uusia ongelmia. Mittareiden tiedonsiirtoon voivat vaikuttaa erilaiset häiriöt sekä muut mittarityypit.

Etäluettavia mittareita on tutkittu Kuopion sähköverkossa aiemminkin (Kuvaja 2014). Kuvajan opinnäytetyö käsitteli PLAN-järjestelmää ja sen häiriöitä, kuvaten samalla PLC-tekniikan käyttöä sähkömittareiden etäluennassa. Tämä opinnäytetyö jatkaa Kuvajan työn pohjalta, tutkien uutta G3-PLC-järjestelmää ja sen toimintaa Kuopion sähköverkossa suhteessa PLAN-järjestelmään.

Jo opinnäytetyötä aloittaessa oli tiedossa, että sähköverkon häiriöt voivat aiheuttaa ongelmia verkon kautta luettavien sähkömittareiden kanssa. Koska mittarivalmistaja toi markkinoille uuden mittarityypin, jonka pitäisi toimia paremmin häiriöllisessä ympäristössä, nähtiin Kuopion Sähköverkko Oy:ssä tarpeelliseksi selvittää väitteiden paikkansapitävyys. Muutkin verkon etäluettavat sähkömittarit ovat samalta valmistajalta, mutta koska PLC-mittarit käyttävät uuden mittarityypin myötä jo kolmea eri protokollaa, päätettiin myös pyrkiä selvittämään, vaikuttavatko eri mittarityypit toistensa luentaan.

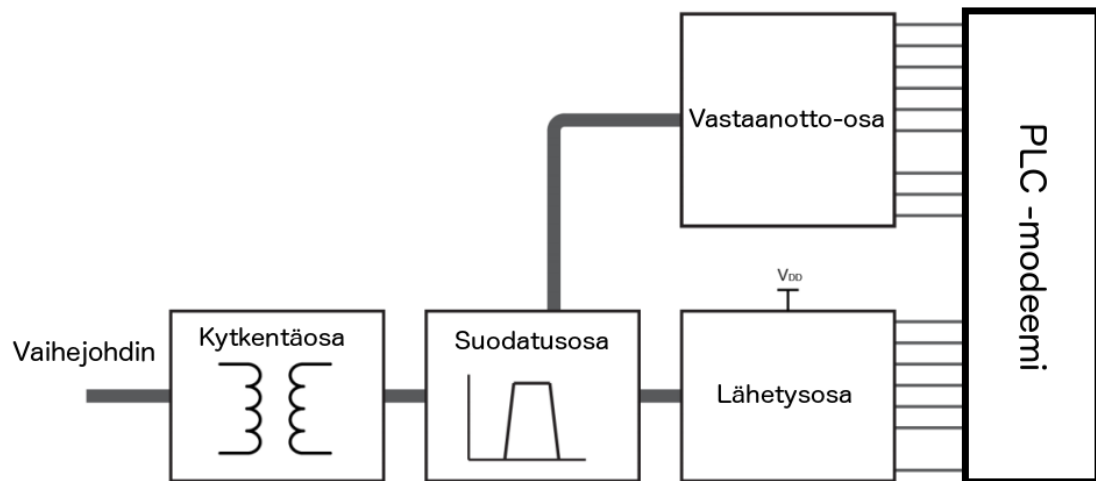
Tämän opinnäytetyön tekeminen ei olisi ollut mahdollista ilman apua Kuopion Sähköverkko Oy:ltä, Landis+Gyr Oy:ltä ja Oy L M Ericsson Ab:lta. Erityiset kiitokset Harri Korhoselle, Kimmo Kolarille, Jarno Visakivelle ja Matti-Pekka Mazzeille.

## 2 TEORIAA

### 2.1 Power Line Communication -tiedonsiirto

Kuopion Sähköverkko Oy:n alueelle asennetut sähkömittarit voidaan jakaa tiedonsiirtotapansa mukaan karkeasti kahteen luokkaan: puhelinverkon ja sähköverkon kautta toimiviin. Nämä luokat voidaan vastaavasti jakaa pienempiin osiin. Lähes kaikki puhelinverkon kautta toimivat mittarit käyttävät matkapuhelinverkon tiedonsiirto-protokollaa (GPRS), mutta edelleen joitakin vanhoja mittareita on kytketty lankapuhelinverkkoon (PSTN).

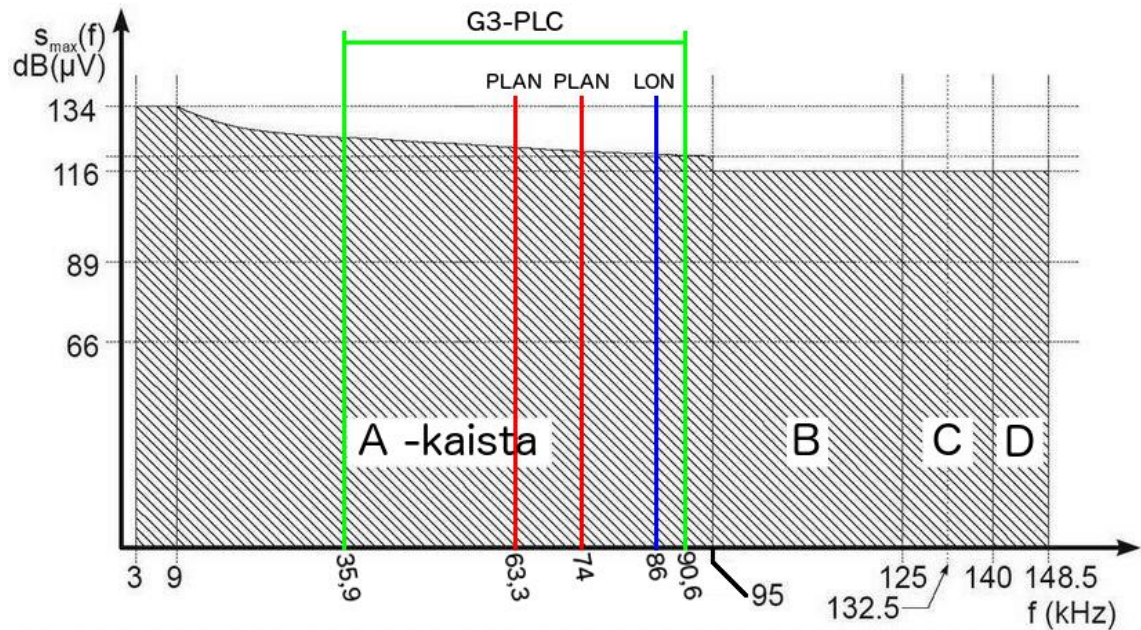
Tässä työssä tutkittiin erityisesti sähköverkon kautta viestiviä mittareita. Nämä mittarit käyttävät tiedonsiirtoon PLC-tekniikkaa (Power Line Communication), eli dataa siirretään sähköverkon vaihejohtimessa. Kuviossa 1 on kuvattu, kuinka PLC-modeemin kytkentään käytetään induktiivista kytkentää ja vaihejohtimen ylimääräiset taajuudet suodatetaan pois kaistanpäästösuodattimella, jotta ne eivät häiritsisi tiedonsiirtoa (Atmel 2016, 20–21). Kuvatun piirin lähettimen vahvistin tuottaa kanttiaaltoa, jonka jännite voi olla joko 12 V tai 16 V (Atmel 2016, 17). Eri mittarityypit käyttävät tiedonsiirtoon kuitenkin erilaisia protokollia, joiden merkittävimpinä eroina ovat niiden tiedonsiirrossa käytetyt taajuudet. Sähköverkkoa tiedonsiirtoon käyttävien mittarityyppien suurin ongelma on tiedonsiirron epäluotettavuus. Koska sähköverkkoon on liitetty paljon muitakin laitteita, ei verkossa liikkuva vaihtosähkö ole koskaan täysin puhdasta siniaaltoa, vaan se sisältää erilaisia ylitaajuuksia ja häiriöitä. Se tuottaa ongelmia etäluettaville mittareille, joiden datapaketit saattavat hukkua erityisen voimakkaiden häiriötaajuuksien alle.



KUVIO 1. Power Line Communication -tiedonsiirron kytkentä sähköverkkoon (Atmel 2016, muokattu)

PLC-tekniikka mahdollistaa datan siirtämisen ilman erillistä tiedonsiirtokaapelointia. Tiedon sähköverkkoon moduloimiseen voidaan käyttää erilaisia tekniikoita: FSK (Frequency-Shift Keying) -tekniikka, jossa binääridata koodataan taajuuksiksi siten, että yksi taajuus vastaa binääridatan ykköstä ja toinen taajuus nollaa; ASK (Amplitude-Shift Keying) -tekniikka, jossa saman taajuuden kaksi eri amplitudia vastaavat binääridatan ykköstä ja nollaa; PSK (Phase-Shift Keying) -tekniikka, jossa binääridata koodataan kantotaajuuden vaihekulmaa moduloimalla. (Ahola 2003, 14.) Euroopassa PLC-tekniikoiden käyttöä määrittelee CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) EN 50065-1 -standardi vuodelta 1991, jonka energiayhtiöiden käyttöön sallimat taajuudet ovat A-kaistalla, eli väliltä 3 kHz – 95 kHz (kuvio 2). PLC-tiedonsiirtoon perustuvia järjestelmiä on useampia, joista kaikki käyttävät jossain määrin eri taajuuksia ja protokollia.





KUVIO 2. CENELEC EN 50065-1 määrittelemät PLC-taajuuskaistat ja eri protokollien käyttämät taajuudet

Tässä opinnäytetyössä käsitellään PLAN- ja G3-PLC-järjestelmien mittareita. PLAN-tekniikassa tiedonsiirtoon käytetään ensisijaisesti FSK-modulointia, mutta myös ASK-moduloinnin käyttäminen on mahdollista. Käytettävät taajuudet ovat 63,3 kHz ja 74 kHz (Landis+Gyr 2013, 4). G3-PLC käyttää taajuusaluetta, joka sijoittuu taajuuksien 35,9 kHz ja 90,6 kHz väliin ja moduloi datan käyttäen PSK-modulointia (Hoch 2011, 1). Vanhemmat mittarit käyttävät myös LON-tekniikkaa, jossa data on ASK-moduloitu taajuudelle 86 kHz.

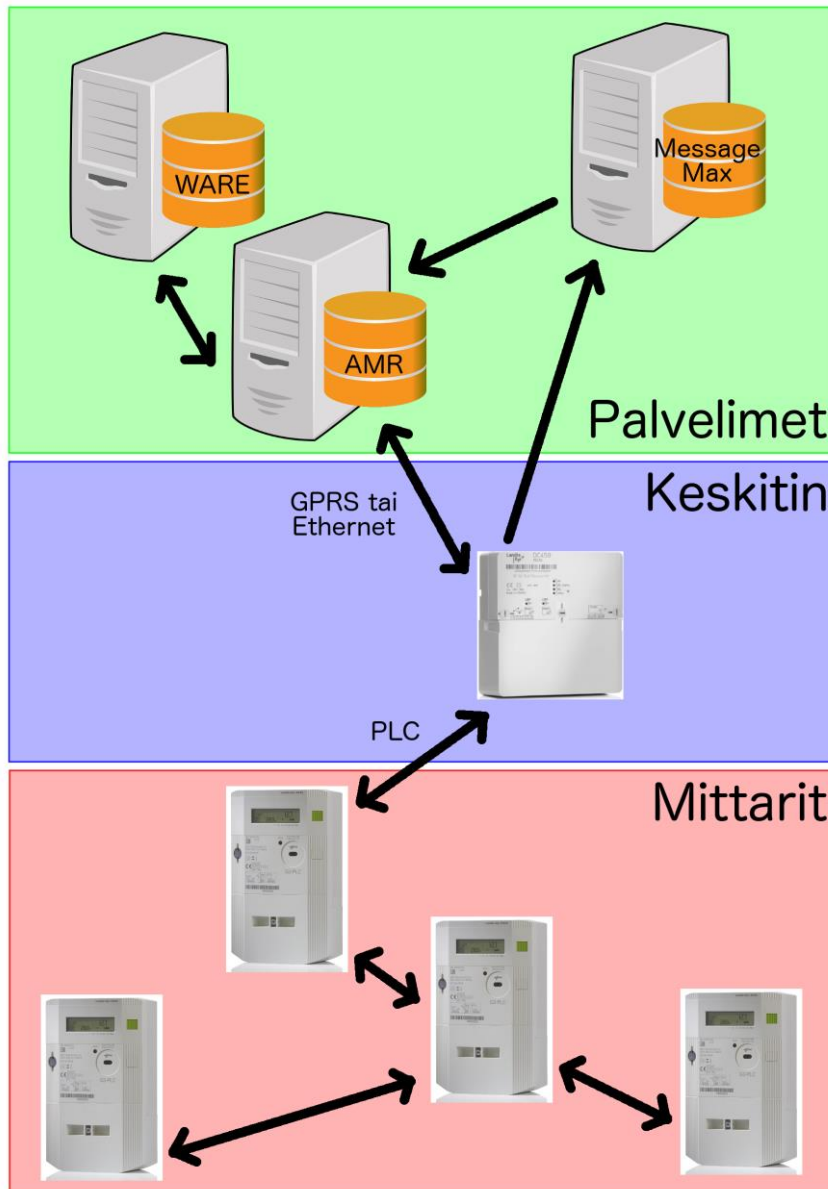
PLAN-mittareiden lukeminen tapahtuu siten, että muuntajalla sijaitseva keskitin lähettää muuntopiiriin kyselyn. Viestin vastaanottavat mittarit vastaavat siihen ja toistavat kyselyn muille mittareille. Mittarit toistavat keskittimen ja toistensa viestejä, jotta myös muuntopiirin perällä sijaitsevat mittarit voisivat kommunikoida keskittimen kanssa. Kaikki laitteet voivat liittyä verkkoon, vaikka se ei olisi toivottavaa. G3-PLC-järjestelmässä keskitin koordinoi verkkoa ja verkkoon liittyvät mittarit etsivät sitä lähettäen pyyntöjä. Keskitin päättää, mitkä mittarit saavat liittyä verkkoon. Tämä mahdollistaa useamman keskittimen käyttämisen samassa muuntopiirissä ilman ongelmia. G3-mittarit toistavat viestin vain, jos ovat osa viestin käyttämää reittiä, eli turhia toistoja ei tehdä. (Landis+Gyr 2015a.)

### 2.1.1 Etäluentajärjestelmä

Etäluentajärjestelmä (kuvio 3) koostuu seuraavista komponenteista:

- Tietokantapalvelin WARE
- Tietokantapalvelin AMR
- Message Max -palvelin
- Keskitin
- Sähkömittarit

WARE-tietokantapalvelimen tehtävä on mahdollistaa tiedonkäsittely ja raportointi sekä olla yhteydessä laskutusjärjestelmään. AMR-tietokantapalvelin säilyttää muun muassa mittausdatan ja mittareiden tiedot. Keskitimen lähettämä mittausdata puskuroidaan Message Max -palvelimelle. Keskitimen tehtävä on kerätä tiedot ja mittausdata mittareilta ja lähettää sen mittauspalvelimelle, josta se on luettavissa. Keskitin käyttää tiedonsiirrossaan joko GPRS-modeemia tai Ethernet-yhteyttä. (Kuvaja 2014, 9.)



KUVIO 3. Luentajärjestelmän rakenne

### 2.1.2 Häiriöiden vaikutus

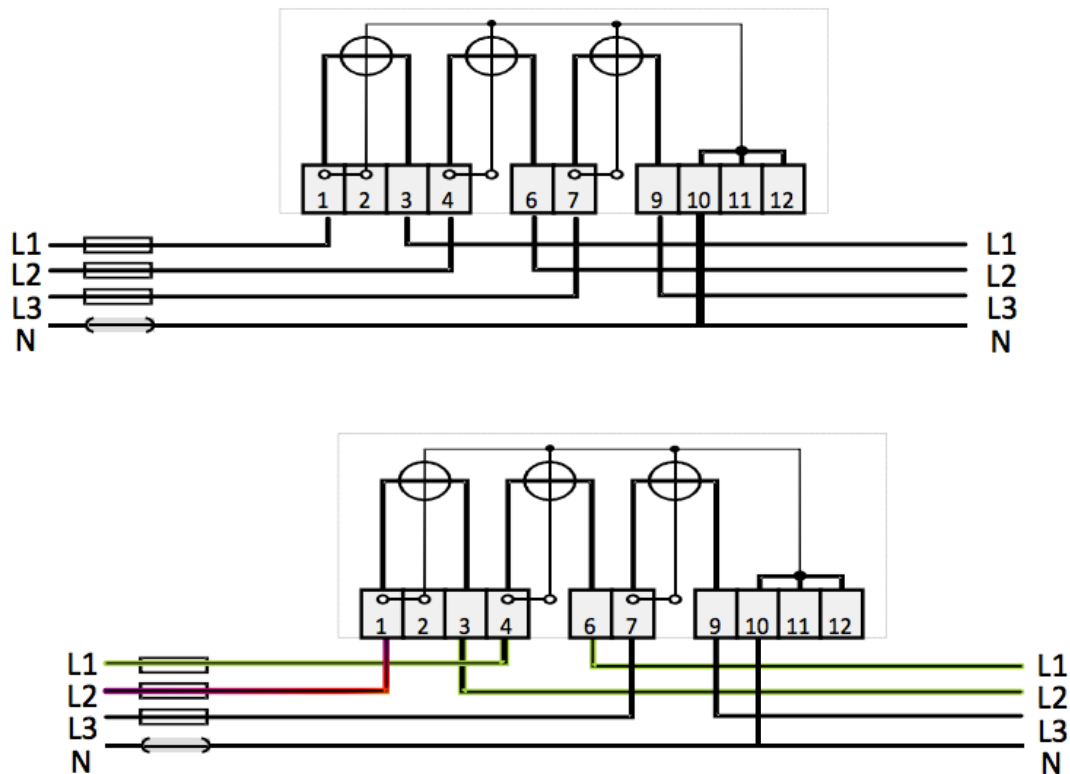
Koska PLC-tiedonsiirto tapahtuu vaihejohtimessa, on se erityisen altis sähköverkon häiriöille. Esimerkiksi nykyään laajasti käytössä olevat hakkuriteholähteet voivat aiheuttaa verkkoon häiriötä laajoillekin taajuuskaistoille. Erityisen voimakkaita häiriölähteitä ovat vanhat ja halvat hakkurit, joiden suodatinkondensaattorit voivat olla huonoja, riittämättömiä tai olemattomia. Lisäksi suurin osa suodatuksista sijaitsee tehonlähteen toisipuolella, sillä siihen kytkettyyn laitteeseen halutaan yleensä syöttää mahdollisimman häiriötöntä sähköä.

Toinen huomattava sähköverkon häiriölähteiden luokka ovat sähkömoottoreiden ohjaamiseen käytettävät taajuusmuuttajat. Vaikka taajuusmuuttajien häiriönsuodatus on lähes aina toteutettu hyvin, voivat asennusvaiheessa tehdyt virheet saada aikaan häiriöitä verkkoon. Taajuusmuuttajavalmistajat määrittelevät moottorikaapeleiden maksimipituuden asennusohjeissaan. Jos tämä pituus ylitetään, toimivat moottorikaapelit pahimmassa tapauksessa antennina, jotka säteilevät taajuusmuuttajan luomia häiriötaajuuksia sähköverkkoon. Tällainen tilanne syntyy yleensä, kun kerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän taajuusmuuttajat sijoitetaan rakennuksen alimmassa kerroksessa sijaitsevaan sähköpääkeskukseen ja moottorikaapelit asennetaan sieltä rakennuksen yläosassa sijaitsevaan ilmanvaihtokoneistoon. Suojavaipalla varustettujen moottorikaapelien käyttö voi vähentää häiriöiden määrää.

Myös verkossa tapahtuva vaimennus voi aiheuttaa PLC-tiedonsiirron epäluotettavuutta. Vaimennusta aiheuttavat esimerkiksi kaapelijatkokset ja kaapelityypin vaihtuminen. Tärkein vaimennusta lisäävä tekijä on mittarin ja keskittimen välinen etäisyys. Tästä syystä PLC-mittareita ei yleensä voida asentaa kuin korkeintaan noin 200 metrin päähän muuntajalta.

Sähköverkon häiriöt vaikuttavat PLC-tiedonsiirtoon siten, että ne peittävät alleen mitta-reiden käyttämät taajuudet. Eli jos mittarin kanssa samalla taajuudella on häiriö, jonka voimakkuus on suurempi kuin keskittimen signaalin teho mittarilla, ei mittari voi erottaa viestiä häiriöstä. Häiriö voi myös olla lähellä keskitintä, jolloin mittarin viesti peittyy häiriön alle. Vaimennustapauksissa mittarin tai keskittimen signaali vaimenee matkalla niin paljon, ettei se kohteessaan enää ole erotettavissa taustamelusta. (Visakivi 2017a, 5–6.) Virheitä tiedonsiirrossa voi esiintyä jo silloin, jos samalla taajuudella olevan häiriön voimakkuus on yli puolet mittarin signaalin voimakkuudesta.

Koska keskitin kommunikoi kaikilla kolmella vaiheella, mutta mittarit vain ensimmäisellä, on joissakin tapauksissa tiedonsiirron laatua mahdollista parantaa vaihtamalla mittarin vaiheistusta (kuvio 4). Se mahdollistaa paremman tiedonsiirron vaikuttamatta kuitenkaan asiakkaan verkkoon. Asiakkaan puolen vaihejärjestys pysyy samana ja mittari mittaa kolmivaihetehoa oikein.



KUVIO 4. Kahden vaiheen vaihtaminen keskenään mittarilla

## 2.2 Virtamuuntajamittarit

Virtamuuntajamittareita eli epäsuoria mittareita käytetään sähkömittareina käyttöpai-koissa, joissa sulakekoko on yli 63 A (SFS 3381 2014, 3). Tällaisissa suurikulutuksissa paikoissa vaihejohtimet eivät kulje sähkömittarin läpi, vaan mittari mittaa jännitettä vaihejohtimista ja virtaa johtimien ympärille asennettujen virtamuuntajien avulla.

Landis+Gyr E570 on uusi virtamuuntajamittarityyppi, joka käyttää tiedonsiirtoon PLAN-protokollaa. Se on tarkoitettu korvaamaan aiemmin käytössä olleet puhelinverkkoa (PSTN) käyttävät mittarit halvemmillä käyttökustannuksilla, kuin GPRS-yhteyttä käyttävät mittarit.

Epäsuoria mittareita on jossain määrin yritetty aiemminkin korvata PLC-tekniikka käytävillä mittareilla. Esimerkiksi Kuopion sähköverkossa joitakin virtamuuntajamittareita on aikaisemmin korvattu myös vanhempaa LON-protokollaa käyttävillä mittareilla.

### 2.2.1 PSTN, GPRS vai PLAN?

Aiemmin kaikissa etäluettavissa virtamuuntajamittauskohteissa käytettiin mittareita, jotka luettiin käyttäen lankapuhelinverkkoa (PSTN, Public Switched Telephone Network). Mittausdata siinä siirretään käyttäen ääntä, kuten puhelinmodeemeissa. PSTN-mittareita on aiemmin korvattu GPRS-mittareilla, koska lankapuhelinverkkoa pyritään purkamaan monin paikoin. Molemmissa ratkaisuisissa ongelmana on puhelinliittymien hinta, jonka takia mittarit pyritään korvaamaan sähköverkon kautta luettavilla mittareilla.

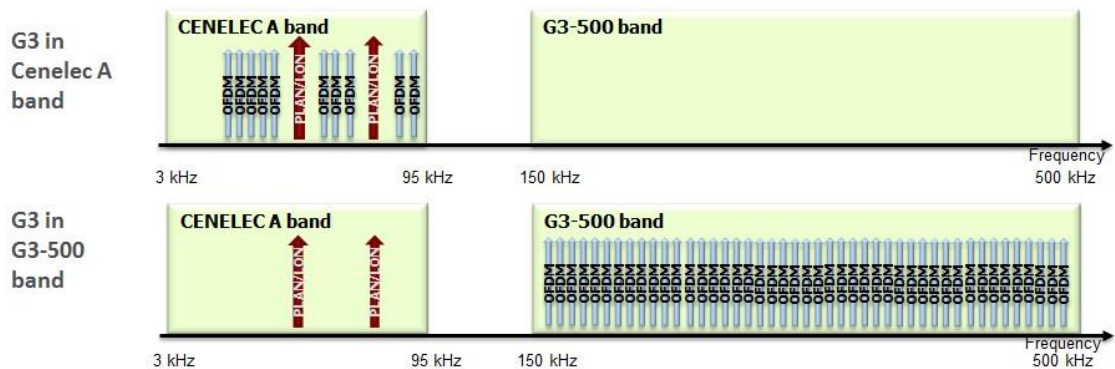
Lankapuhelinverkon kautta luettavissa mittareissa rajoituksia mittarin sijainnin suhteen ei käytännössä ole. GPRS-mittarien täytyy olla paikassa, jossa ne voivat vastaanottaa matkapuhelinsignaalia, eli niiden käyttäminen ei yleensä ole mahdollista maanalaisissa kohteissa. PLAN-mittarin etäisyys keskittimeen on rajoitettu, sillä sähköverkossa liikkuva signaali vaimenee suhteessa etäisyyteen.

### 2.3 G3-PLC

E450 G3 -mittari on kommunikointitapaansa lukuun ottamatta toiminnaltaan identtinen alkuperäisen E450 PLAN -mittarin kanssa. Se käyttää tiedonsiirtoonsa uutta G3-PLC-tekniikkaa jossa data on moduloitu sähköverkkoon käyttäen OFDM-modulointia yhdistettynä PSK-modulointiin (Hoch 2011, 1). G3-PLC-tiedonsiirron pisin mahdollinen toimintaetäisyys on sama kuin aiemmilla PLC-tekniikoilla, eli n. 200 m. OFDM eli Orthogonal Frequency Division Multiplexing on ylemmän tason modulointitekniikka, jossa leveä taajuuskaista muutetaan joukoksi toisistaan erotettuja kapeampia kantotaajuuksia, jotka lisäävät signaalin lujutusta häiriöllisessä ympäristössä (Debbah 2009, s). G3-PLC-tekniikassa jaetut kapeammat kantotaajuudet on moduloitu PSK-moduloinnilla. Kapeiden kantotaajuuksien tiedonsiirtonopeus on matalampi, kuin perinteisten PLC-tekniikoiden, mutta koska taajuuksia on useampia, niiden yhteenlaskettu nopeus on kuitenkin suurempi, kuin vanhemmilla PLC-tekniikoilla (Landis+Gyr 2016b).

Koska taajuuskaista on jaettu useisiin kapeisiin taajuuksiin, osa taajuuksista voidaan jättää käyttämättä, jos G3-PLC-mittareita on asennettuna samaan muuntopiiriin vanhempien

mittarityyppien, kuten PLAN ja LON kanssa niin kuin kuvio 5 on nähtävissä (Landis+Gyr 2016b). Tämä toiminto (tone mask) estää mittarityyppien keskinäisen häirinnän, mutta tone mask on kytkettävä päälle erikseen ja se laskee G3-PLC-tiedonsiirtonopeutta.



KUVIO 5. G3-PLC-taajuuskaistat (Landis+Gyr 2016b)

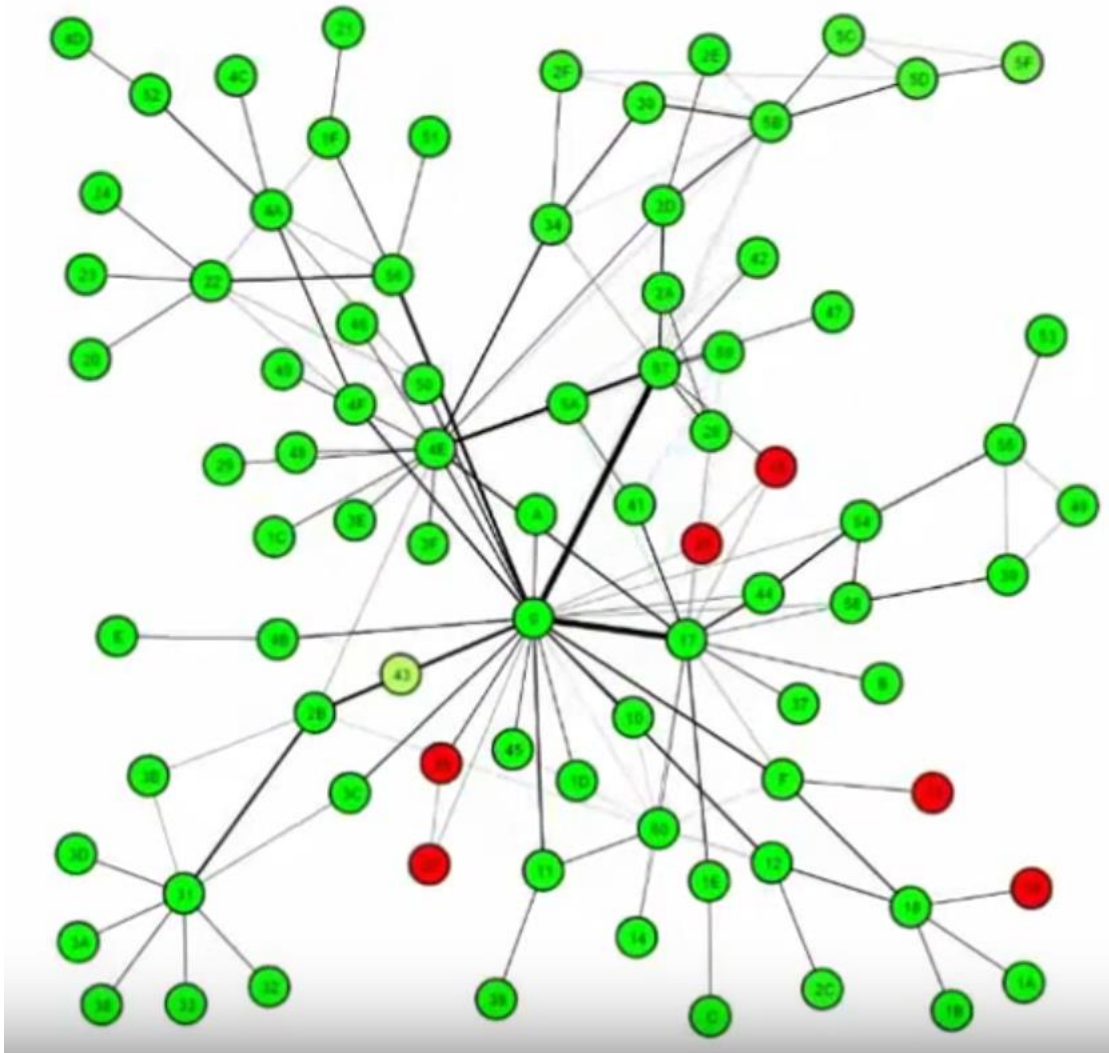
Kuten kuvio 5 esittää, PLC-G3 mahdollistaa myös niin sanotun FCC-kaistan (150 – 500 kHz) käyttämisen. Kyseinen taajuuskaista mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron johdun taajuusalueen laajuudesta (enemmän kantotaajuuksia, joista jokainen lähettää tietyllä nopeudella). FCC-kaistan käyttö eliminoi myös kaikki mahdolliset ongelmat joita asentaminen samaan muuntopiiriin muiden PLC-mittareiden kanssa voisi aiheuttaa. (Landis+Gyr 2016a.) Myös joissakin häiriötilanteissa, joissa häiriötaajuudet jäävät alle 150 kHz:n, korkeamman taajuuskaistan käyttö voi olla suotavaa. Koska Suomessa käytetään Euroopassa standardoituja PLC-taajuuksia (3 – 148 kHz), ei FCC-kaistan käyttö kuitenkaan ole mahdollista ainakaan ilman Viestintäviraston lupaa.

### 2.3.1 G3-PLC-topologia

Toisin kuin PLAN, jonka mittarit toistavat keskittimen kyselyt automaattisesti, G3-PLC etsii helpoimman reitin viestille, toistaen sen ainoastaan silloin, kun se on tarpeen. Koska G3-PLC reitittää viestit molempiin suuntiin erikseen, keskittimeltä mittarille matkaava viesti voi kulkea eri reittiä, kuin viesti mittarilta keskittimelle. Esimerkiksi yhteen suuntaan viesti voi kulkea yhden mittarin läpi eli ”hypätä” kerran ja toiseen suuntaan hypätä kahden mittarin kautta. E450 V2 G3 -keskitin näyttää käyttöliittymässään kaikki siihen yhteydessä olevat mittarit, niiden yhteyden laadun ja viestien käyttämät reitit. (Landis+Gyr 2015b.) Kuviossa 6 keskitin on keskimäinen ympyrä ja kaikki siihen yhteydessä olevat mittarit on kuvattu siihen liittyvinä ympyröinä. Kuviossa tiedonsiirron laatu



on kuvattu sitten, että parhaat tiedonsiirron laadut on luokiteltu parhaasta huonoimpaan väreillä vihreästä punaiseen. Mittareiden välisten viivojen paksuus kuvastaa niiden läpi kulkevien viestireittien määrää: mitä enemmän reittejä kulkee viivaa pitkin, sitä paksumpi viiva on. Tämä topologianäkymä voi auttaa sähköverkon häiriöiden etsimisessä ja helpottaa tiedonsiirto-ongelmien diagnosoimista.



KUVIO 6. Yhden DC450 V2 G3 -keskittimen topologianäkymä (Landis+Gyr 2015b)

G3-PLC-verkkoon on mahdollista asentaa useampi keskitin ja määrätä mittarit yhden keskitimen alaisuuteen, jolloin ne viestivät vain sen kanssa. Kuviossa 6 punaisella merkityt mittarit ovat toisen keskitimen alaisuudessa, eivätkä siksi ole tarkasteltavan keskitimen tavoitettavissa. (Landis+Gyr 2015b.) Useamman keskitimen käyttäminen voi auttaa häiriötilanteissa. Jos esimerkiksi kerrostalon kaikki mittarit ovat häiriöstä johtuen tavoitta-



mattomissa, voidaan sähköpääkeskukseen asentaa keskitin, joka lukee ainoastaan kyseisen talon mittarit. Lyhyen etäisyyden mittareiden ja keskitimen välillä pitäisi saada tiedonsiirto toimimaan häiriöstä huolimatta.

### 3 LANDIS+GYR E450 G3

#### 3.1 Yleiskatsaus

Landis+Gyr E450 G3 (kuva 1) on suora sähkömittari, joka on tarkoitettu luettavaksi sähköverkon kautta käyttäen uutta G3-PLC-tekniikkaa. Sen on tarkoitus korvata vanhempia PLC-tekniikoita käyttävät etäluettavat mittarityypit. E450 G3 -mittarin etulevyssä on kaksi painiketta, joilla näytöllä näkyviä tietoja ja mittarin valikoita on mahdollista selata. Toinen painikkeista on sinetöitävä, sillä se mahdollistaa mittarin asetusten, kuten ajan muuttamisen.



KUVA 1. Landis+Gyr E450 G3 -mittareita asennettuna häiriöllisen kerrostalon sähköpääkeskuksessa

## **3.2 G3-PLC-mittarit samassa muuntopiirissä muiden mittarityyppien kanssa**

Kuopion sähköverkossa G3-PLC-mittareiden massa-asentaminen aloitettiin Neulamäen alueelta. Kyseisellä alueella on aiemmin ollut asennettuna mittarityyppejä ET10, E120 ja E450, jotka käyttävät tiedonsiirtoon LON- ja PLAN-protokollia. G3-PLC-protokollan vaikutusta vanhempiin tiedonsiirtoprotokolliin pyrittiin selvittämään mittaamalla muuntopiirin häiriötaajuusspektri ennen kuin G3-PLC-mittareita asennettiin ja toisen kerran sen jälkeen, kun osaan piiristä oli vaihdettu E450 G3 -mittarit.

Taajuusspektrin mittaamiseen käytettiin Anritsu MS2713E -spektrianalysointilaitetta. Molemmat mittaukset suoritettiin saman jakokaapin syöttökaapelin ensimmäisestä vaiheesta. Kun ensimmäinen mittaus suoritettiin, muuntopiiriin ei vielä ollut asennettu yhtään G3-PLC-mittaria. Toinen mittaus suoritettiin seuraavana päivänä sen jälkeen, kun osa muuntopiirin mittareista oli vaihdettu.

### **3.2.1 Anritsu MS2713E -spektrianalysointilaitte**

Häiriötaajuuksien mittaamiseen käytettiin Anritsu MS2713E -spektrianalysointilaitetta (kuva 2), joka on alun perin radiotaajuuksien mittaamiseen tarkoitettu laite. Se voidaan kuitenkin asettaa mittaamaan suhteellisen mataliakin taajuuksia, kuten PLC-tekniikassa käytettäviä joidenkin kymmenien kilohertsien taajuuksia. Mittalaitteeseen voidaan kytkeä joko sähkö- tai magneettikenttää mittaava mittapää. Sähköverkon häiriöitä mitataan käyttäen magneettikenttiä. Siten taajuusmittauksia voidaan tehdä asettamalla mittapää vaihejohtimen pintaan, jolloin johtimessa kulkevan virran aiheuttama muuttuva magneettikenttä indusoi mittapäähän mitattavissa olevan jännitteen. Tämä tarkoittaa sitä, että verkossa esiintyviä taajuuksia voidaan mitata turvallisesti ilman galvaanista yhteyttä.



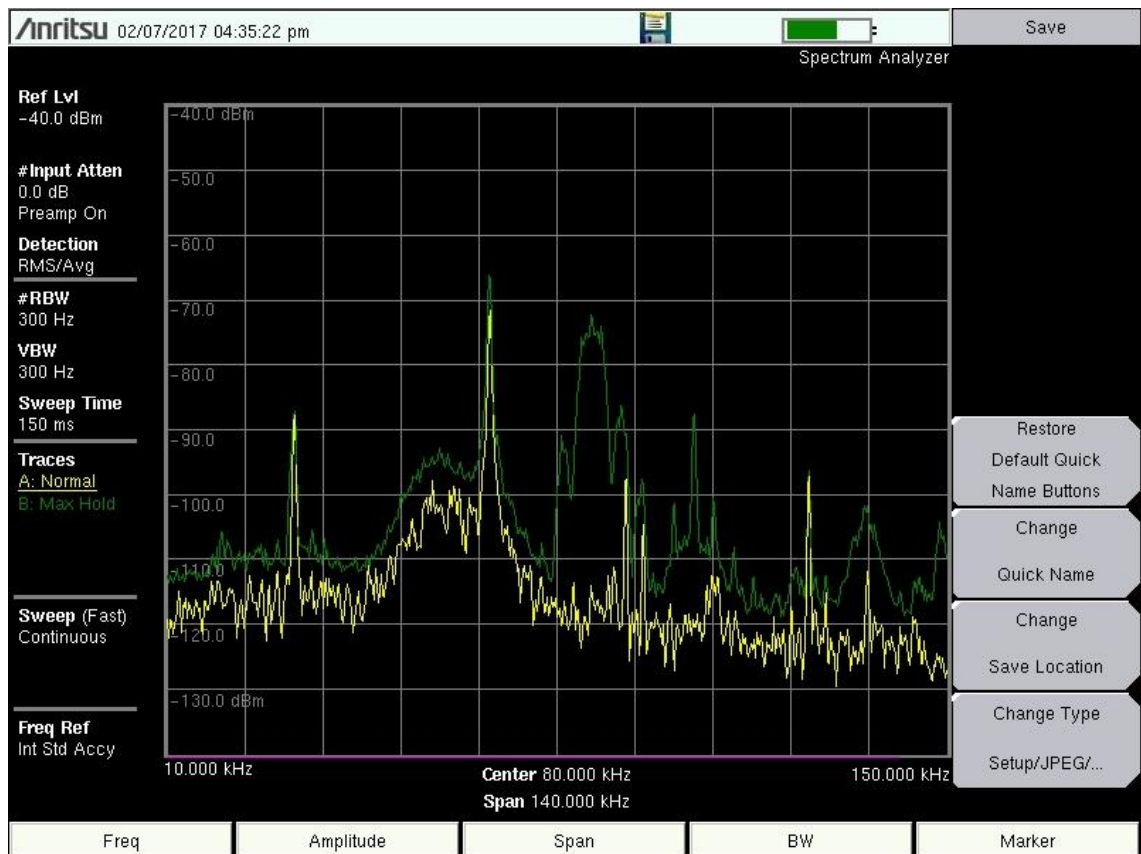
KUVA 2. Anritsu MS2713E -spektrianalysointilaitteeseen ja mittapää magneettikentän mittaamiseen

Anritsu MS2713E on tehokas apuväline sähköverkon häiriöiden etsimiseen. Akkukäyttöisenä ja käyttöliittymän sisältävänä työkaluna se on helppo viedä kohteeseen mittauksia varten. Magneettikentän mittaaminen mahdollistaa useiden perättäisten kohteiden (esimerkiksi sulakkeiden) nopean mittaamisen häiriölähteen paikantamiseksi.

### 3.2.2 G3-PLC-tiedonsiirron vaikutus vanhempiin mittarityyppeihin

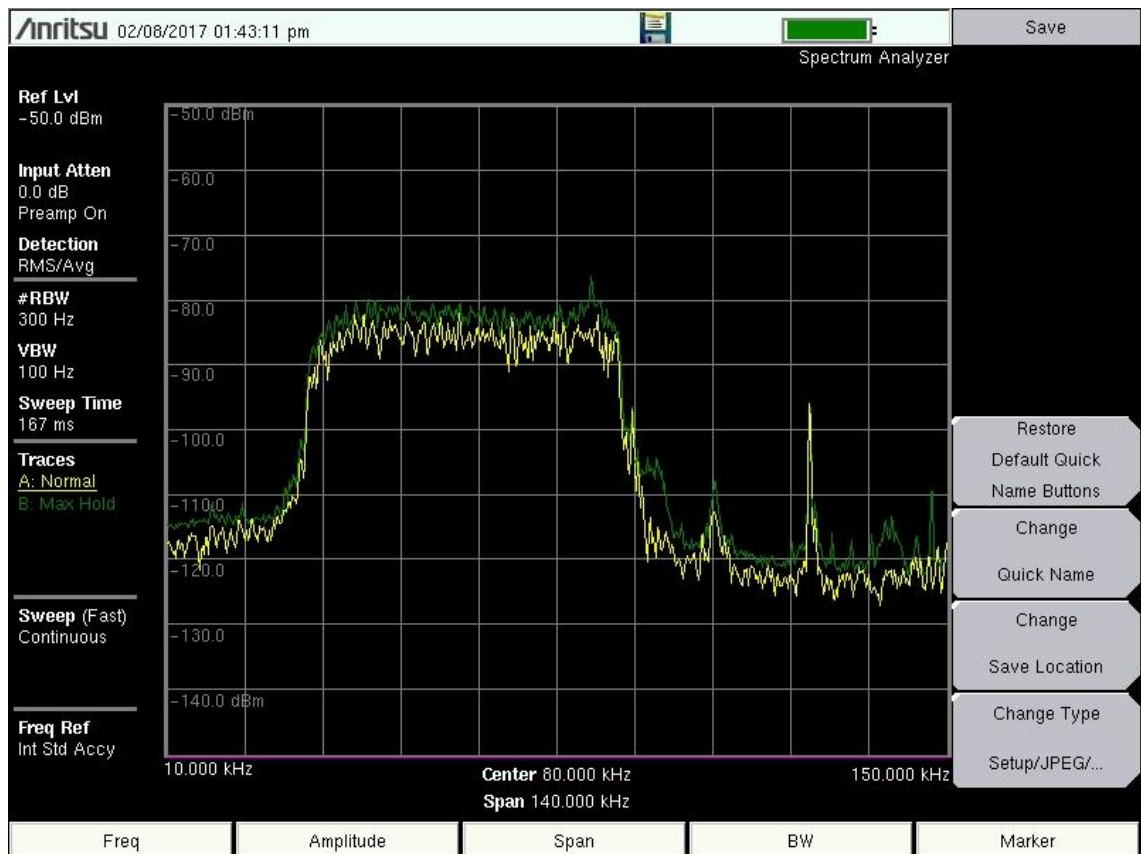
Spektrianalysointilaitteella tehdyt mittaukset tallennettiin laitteen muistiin, josta ne siirrettiin tietokoneelle. Mittalaite voi tallentaa mittauksistaan .jpg- ja .spa-tiedostot, joista ensimmäinen on kuvakaappaus laitteen näytöstä ja toinen on Anritsun käyttämä mittausdatatiedostomuoto, jonka voi avata Anritsu Master Software Tools -nimisellä tietokoneohjelmalla. Kyseisestä ohjelmasta mittausdata saatiin vietyä .csv-tiedostona taulukkolaskentaohjelmaan, jossa datan jatkokäsittely oli mahdollista.

Kuvassa 3 näkyy mitatun muuntopiirin taajuusspektri ennen kuin piiriin asennettiin E450 G3 -mittareita. Kuvasta on havaittavissa LON-taajuus (86 kHz) ja PLAN-taajuudet (63,3 kHz ja 74 kHz) korkeina piikkeinä. Käyrä A (keltainen) esittää hetkellistä mittausarvoa ja käyrä B (vihreä) korkeinta mitattua arvoa.



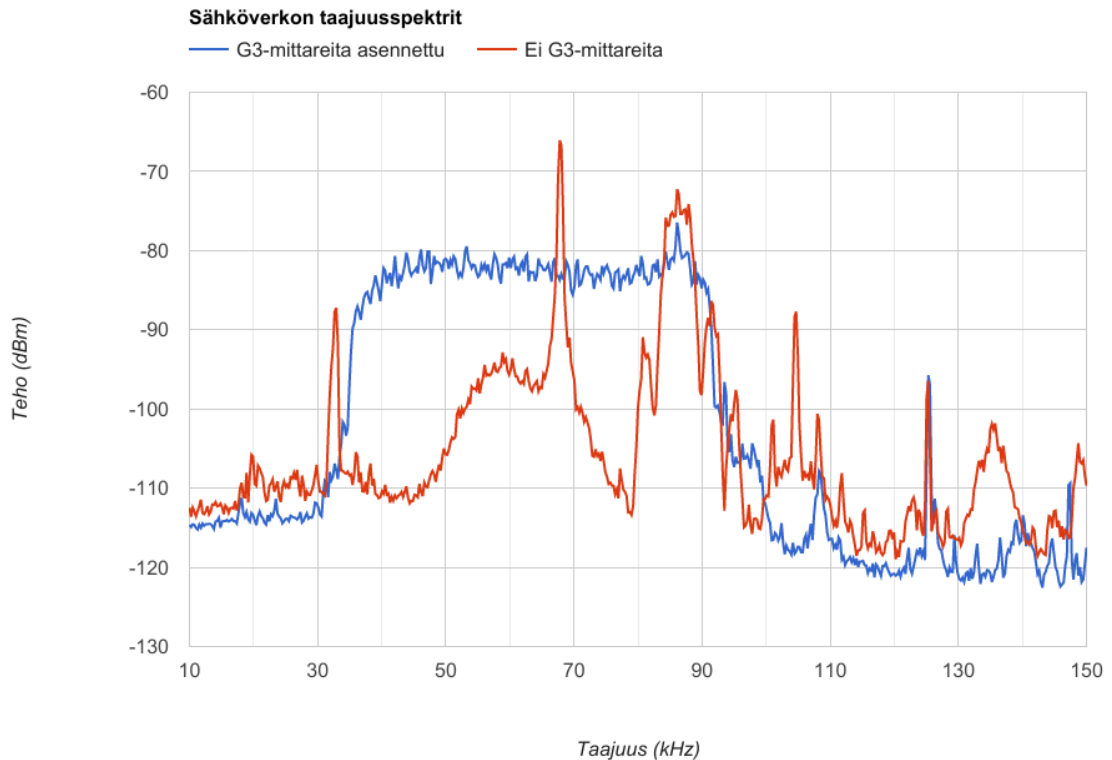
KUVA 3. Sähköverkon taajuusspektrin mittaus ennen E450 G3 -mittareiden asentamista

E450 G3 -mittareiden asennuksen jälkeen suoritetusta mittauksesta on selvästi havaittavissa taajuusspektrin muutos (kuva 4). PLAN- ja LON-taajuudet eivät enää ole havaittavissa, vaan G3-PLC-mittareiden käyttämä laaja taajuusalue peittää ne alleen.



KUVA 4. Sähköverkon taajuusspektri mitattuna E450 G3 -mittareiden asentamisen jälkeen

Kuvissa 3 ja 4 esitetyt mittaukset siirrettiin taulukkolaskentaohjelmaan, jossa korkeimman arvon käyrät yhdistettiin samaan kuvaajaan (kuvio 7). Kuvaajasta on helppo nähdä, kuinka E450 G3 -mittareiden kommunikaatio voi häiritä vanhempia mittarityyppejä: LON- ja PLAN-signaalit erottuvat voimakkaampina, kun G3-PLC-mittareita ei ole muuntopiirissä. Esimerkiksi LON-signaalin tuottama piikki taajuudella 86 kHz on havaittavissa myös E450 G3 -asennusten jälkeen, mutta sen taso on alhaisempi. Jos tone mask -ominaisuus otettaisiin käyttöön G3-PLC-tiedonsiirrossa, se vähentäisi negatiivista vaikutusta muiden mittarityyppien tiedonsiirtoon.



KUVIO 7. Muuntopiirin taajuusspektri ennen ja jälkeen G3-PLC-mittareiden asennuksen

### 3.2.3 PLAN-tiedonsiirron vaikutus G3-PLC-mittareihin

G3-PLC-keskitin DC450 V2 G3 kerää alaisuudessaan olevien mittareiden kulutuslukuja ja tallentaa samalla tiedonsiirtoon liittyviä tietoja, kuten tiedonsiirron laadun, joka on lukema siitä, kuinka monta prosenttia lähetetyistä viesteistä menee perille. Tätä ominaisuutta käyttäen G3-PLC-kommunikaatiota testattiin muuntopiirissä, jossa suurin osa mittareista oli PLAN-mittareita ja vain muutama oli vaihdettu G3-PLC-mittareiksi. Koe toteutettiin siten, että PLAN-keskitin DC450 kytkettiin etäyhteydellä pois päältä noin viiden tunnin ajaksi, jonka seurauksena PLAN-tiedonsiirto muuntopiirissä lakkasi. Tarkastelemalla G3-PLC-tiedonsiirron laatua DC450 V2 G3 -keskittimeltä voitiin PLAN-tiedonsiirron vaikutusta G3-PLC-tiedonsiirtoon samassa muuntopiirissä arvioida. G3-PLC-keskittimeltä saatiin mittareiden tiedonsiirron laatu PLAN-katkoksen ajalta sekä vastaavalta ajalta edellisen vuorokauden puolelta (Visakivi 2016). Taulukossa 1 on lueteltuna kuuden mittarin tiedonsiirtoprosentit sekä perättäisten epäonnistuneiden viestien määrä PLAN päällä ja PLAN poissa.

TAULUKKO 1. PLAN-tiedonsiirron laatu G3-PLC-tiedonsiirtoon

Mittarinumero	PLAN-tiedonsiirto päällä							Perättäiset yritykset
	klo					Keski-arvo (%)		
	11	12	13	14	15			
17937909	100	100	93,9	100	75	93,78	0	
17937912	0	6,5	77,1	82,1	44,7	42,08	57	
17937914	100	100	100	89,5	86,7	95,24	0	
17937918	66,7	28,6	68,6	52	71,1	57,4	0	
17937919	50	12,1	24,5	48,9	63	39,7	0	
17937922	33,3	75	56,1	50	44	51,68	0	
Mittarinumero	PLAN-tiedonsiirto pois							Perättäiset yritykset
	klo					Keski-arvo (%)		
	11	12	13	14	15			
17937909	100	100	97,6	100	100	99,52	0	
17937912	10,8	0	14	18,8	22	13,12	21	
17937914	100	100	100	100	100	100	0	
17937918	81,5	100	90,7	81	82,4	87,12	4	
17937919	82,8	100	89,4	91,3	86,2	89,94	3	
17937922	72,4	100	81,8	72,9	93,3	84,08	0	

Taulukoiduista mittauksista voidaan huomata joitakin mielenkiintoisia tuloksia. Suurimaksi osaksi G3-PLC-mittareiden tiedonsiirron laatu parani, kun samassa muuntopiirissä ei ollut PLAN-tiedonsiirtoa. Mittari 17937912 näytti kuitenkin selvästi huonompia laatu-lukemia, kun PLAN-tiedonsiirto ei ollut päällä. Kyseiselle mittarille keskittimen lähettämien yhteydenottoyritysten määrä sen sijaan laski huomattavasti.

Näistä tuloksista on alustavasti pääteltävissä, että vanhemmat mittarityypit voivat vaikuttaa negatiivisesti G3-PLC-mittareiden tiedonsiirron laatuun. Tässä tapauksessa otanta on kuitenkin hyvin pieni, eikä sen takia välttämättä edusta todellista tilannetta. Tone mask - ominaisuuden pitäisi parantaa myös G3-PLC-tiedonsiirron laatua näissä tilanteissa, mutta tämän opinnäytetyön valmistumiseen mennessä Kuopion sähköverkkoon asennetut G3-PLC-mittarit ovat kuitenkin toimineet normaalisti samoissa muuntopiireissä vanhempien mittarityyppien kanssa.

### 3.3 G3-PLC-mittarit häiriöllisessä ympäristössä

Kuopion keskusta-alueen sähköverkko on suhteellisen häiriöllinen, johtuen tiheään asutun alueen suuresta häiriölähteiden määrästä. Jotta E450 G3 -mittarityypin toiminta häi-



riöllisessä ympäristössä saataisiin selville, päätettiin häiriöistä kärsivän kerrostalon mittarit vaihtaa G3-PLC-mittareiksi. Kyseisen keskusta-alueella sijaitsevan kerrostalon häiriölähte on väärin asennettu ilmanvaihtopumpun Mitsubishi-merkkinen taajuusmuuttaja. Kuten kuvasta 5 näkyy, asennuksessa ei ole käytetty suojattuja kaapeleita. Lisäksi taajuusmuuttajan valmistaja suosittelee käyttämään asennuksessa suodattimia sähköisten häiriöiden vähentämiseksi (Mitsubishi 2001, 40). Vaikka asiasta on huomautettu Kuopion Sähköverkko Oy:n toimesta useita kertoja, ei taloyhtiön isännöijä ole korjauttanut asennusta. Moottorikaapelien vaihtaminen suojavaipallisiksi olisi voinut olla riittävä toimenpide.



KUVA 5. Väärin asennettu taajuusmuuttaja kerrostalon sähköpääkeskuksessa

Kerrostalossa aiemmin asennettuna olleet E450-mittarit kärsivät huonosta PLAN-kommunikaatiosta häiriön takia. Keskittimen huoltovalikko näytti parhaiten toimineen mittarin kuuluvuushistorian keskiarvoksi 17,2 % ja huonoiten toimineen mittarin keskiarvoksi 16,5 % (Mazzei 2017b).

### 3.3.1 Vaihdon tulos

G3-PLC-keskitin asennettiin kerrostaloa syöttävälle muuntajalle, jonka jälkeen kerrostalon kaikki mittarit vaihdettiin kerralla E450 G3 -mittareiksi (kuva 6). Mittarit rekisteröityivät keskittimelle, mutta niitä ei saatu luettua. Landis+Gyrin insinööri Visakiven (2017b) mukaan keskittimen konfiguroinnissa oli tapahtunut virhe. Virheen korjaamisen jälkeen luenta alkoi toimia normaalisti.

Verratessa PLAN-mittareiden ja G3-PLC-mittareiden toimintaa kyseisessä häiriöllisessä ympäristössä, kävi ilmi, että uusi mittarityyppi toimi vanhaa paremmin. Ericssonin luentapalvelun insinööri Mazzein (2017b) mukaan PLAN-keskittimen tiedoissa vanhojen mittareiden viimeisen vuorokauden tiedonsiirron laatu oli huonoimmalla mittarilla 39,0 % ja parhaimmalla mittarilla 53,9 %, kun taas G3-PLC-keskittimellä uusien mittarien viimeisimmän vuorokauden huonoin laatulukema oli 82,7 % ja paras oli 89,4 %.

Jos häiriö olisi estänyt G3-PLC-mittareiden ja keskittimen välisen tiedonsiirron, olisi ongelman voinut yrittää ratkaista asentamalla keskittimen samaan sähköpääkeskukseen mittareiden kanssa, jolloin signaalin voimakkuus mittareiden ja keskittimen välillä olisi voinut olla riittävä erottamaan viestit häiriötaajuuksista. Kuvasta 6 on nähtävissä, kuinka sähköpääkeskuksessa oli kiinteistömittarin yläpuolella vapaita mittarin alustoja, jollaiseen keskitin olisi mahdollista asentaa helposti.



KUVA 6. Uudet mittarit sähköpääkeskuksessa

### 3.4 E450 G3 -mittareiden toiminnallinen luotettavuus

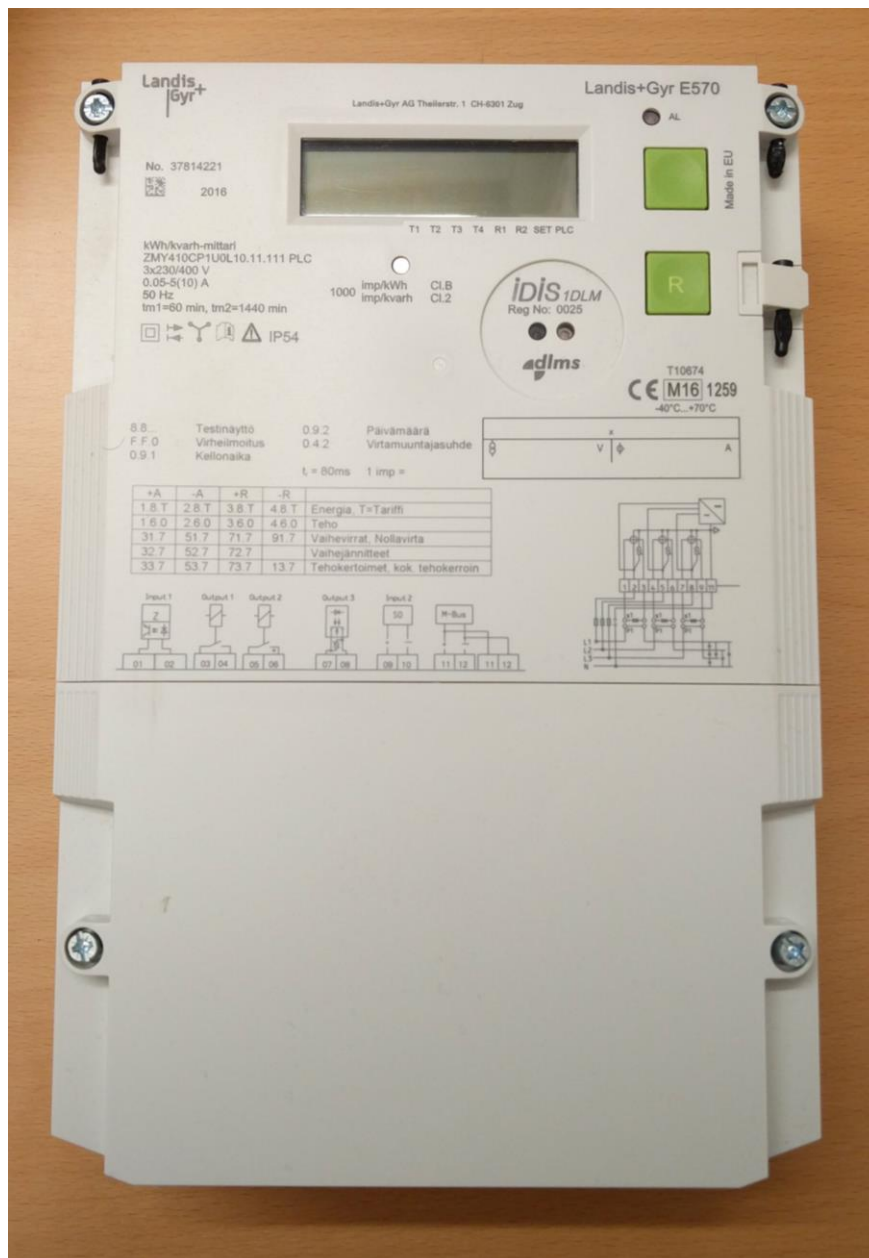
Kuten monet muutkin uudet teknologiat ja laitteet, myös E450 G3 -mittarityyppi voi osoittaa luotettavuusongelmia käyttökänsä alussa. Tämän opinnäytetyön valmistuessa Kuopion sähköverkkoon asennetuissa mittareissa oli havaittu joitakin ongelmia. Landis+Gyr kutsui takaisin osan yksivaihemittareista, sillä niihin oli tehtaalla asennettu viallinen ASIC-mikropiiri (Harjanne 2017). Viasta ei kuitenkaan ehtinyt aiheutua ongelmia Kuopion Sähköverkko Oy:lle, koska valmistaja havaitsi vian ajoissa.

Lisäksi yksi Neulamäkeen asennetuista kolmivaihemittareista lakkasi lähettämästä mitausdataa. Mittarin huoltovalikko ei raportoinut vikakoodeja ja mittari toimi normaalisti sähkökatkon jälkeen. Syy kommunikaatiokatkokseen ei selvinnyt, mutta se olisi selvitetävää, jos vastaavia tapauksia ilmenee lisää. On mahdollista, että kyseisessä mittarissa oli vika, koska muut samaan mittarikomeroon asennetut mittarit toimivat normaalisti.

## 4 LANDIS+GYR E570

### 4.1 Yleiskatsaus

Landis+Gyr E570 (kuva 7) on epäsuora mittari, jonka lukeminen tapahtuu sähköverkon yli PLAN-tekniikkaa käyttäen ja se käyttää tiedonsiirtoon jännitemittausjohtimiaan. Jotta käyttöpaikkaan voidaan asentaa E570-mittari, on muuntopiirissä oltava DC450-keskitin lukemassa mittausdataa sekä etäisyyden muuntajalle oltava tarpeeksi lyhyt ja verkon oltava riittävän häiriötön, jotta PLAN-tiedonsiirto onnistuu.



KUVA 7. Landis+Gyr E570 -virtamuuntajamittari

## 4.2 PLAN-yhteyden laadun riippuvuus johdinpituudesta

Koska E570-mittarin on tarkoitus korvata puhelinverkkoyhteyden kautta toimivat mittarit, on tarpeen tietää, kuinka hyvin PLAN-tiedonsiirto toimii pitkien etäisyyksien yli. Puhelinverkkoon kytketyt mittarit voivat periaatteessa olla hyvinkin kaukana muuntajasta ja jos puhelinverkkoon kytketty mittari korvataan PLAN-mittarilla, voi mittarin ja muuntajalla sijaitsevan keskittimen välinen etäisyys aiheuttaa ongelmia PLAN-tiedonsiirrolle.

### 4.2.1 Laskelmissa tarvittava data

Jotta mittarin ja keskittimen välisen etäisyyden vaikutus tiedonsiirron laatuun saataisiin selville, tarvittiin kaksi datajoukkoa: Mittareiden etäisyydet muuntajilta ja samojen mittareiden yhteyden laatu. Kuopion sähköverkosta valittiin kolme muuntopiiriä, joista tiedot kerättäisiin. Kyseisissä muuntopiireissä mittareita on useilla eri etäisyyksillä ja siksi ne edustavat kattavasti Kuopion sähköverkon muuntopiirejä.

Mittareiden ja muuntajien välimatkan saamiseksi käännyttiin Kuopin Sähköverkko Oy:n puoleen. Vaikka heidän käyttämänsä Trimble NIS -verkkokarttaohjelmisto näyttääkin sähköliittymän etäisyyden muuntajalle johdinta pitkin, sitä ei saa helposti siirrettyä tiedostoon muuntopiireittäin siten, että jokaisen muuntopiirin liittymän etäisyyden saisi taulukoitua. Mutta koska samasta ohjelmistosta on mahdollista tuottaa tiedosto, johon on taulukoituna muuntopiirin jokainen liittymä ja niiden karttakoordinaatit, päätettiin mittareiden ja muuntajien välimatka arvioida karttakoordinaattien perusteella. Lisäksi tarvittiin asiakastietojärjestelmästä mittalaitetunnus jokaiselle sähköliittymälle ja kyseisten muuntopiirien muuntajien karttakoordinaatit. Kuopion Sähköverkko Oy:ltä saatiin sekä mittalaitteiden tunnuksia ja koordinaatit (Kuisma-Heikkinen 2017) sekä muuntamoiden koordinaatit (Lantta 2017).

Mittareiden ja keskittimien välisen tiedonsiirron laadusta saatiin tietoa luentapalvelusta, jota hoitaa Oy L M Ericsson Ab. Ericssonilta saatiin taulukoituna muuntopiireittäin mittalaitetunnukset sekä tietoa mittareiden tiedonsiirrosta 24 tunnin ajalta (Mazzei 2017a).

### 4.2.2 Etäisyyden laskeminen

Koska liittymäpisteiden etäisyyttä muuntajalta johdinta pitkin ei ollut mahdollista saada, oli seuraavaksi paras vaihtoehto laskea etäisyydet karttakoordinaateista. Laskemisen helpottamiseksi koordinaatit päätettiin asettaa tasaväliseen lieriöprojektiioon, sillä laskettavat välimatkat olivat suhteellisen lyhyitä (korkeintaan n. 200 metriä). Tasavälinen lieriöprojektiio soveltuu pienille alueille ja mahdollistaa oikean mittakaavan valitulla alueella (Snyder, 1993, 6). Koska kyseessä oli pelkkä välimatkan arviointi, joka ei todellisuudessa täysin vastaa muuntajan ja liittymäpisteiden välisiä johdinpituuksia, ei etäisyyttä nähty tarpeelliseksi laskea äärimmäisen tarkasti. Kun käytössä on tasavälinen lieriöprojektiio, pituus- ja leveyspiirit ovat suorassa kulmassa toisiinsa nähden ja etäisyyden laskemisessa voidaan hyödyntää Pythagoraan lausetta.

Etäisyyden laskemisessa käytetty kaava (1) oli seuraava:

$$D = R\sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\cos(\phi_m)\Delta\lambda)^2}, \quad (1)$$

jossa:

$D$  on koordinaattien välinen etäisyys;

$R$  on maapallon säde samoissa yksiköissä, kuin  $D$  halutaan;

$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ , eli koordinaattipisteiden leveyspiirien erotus;

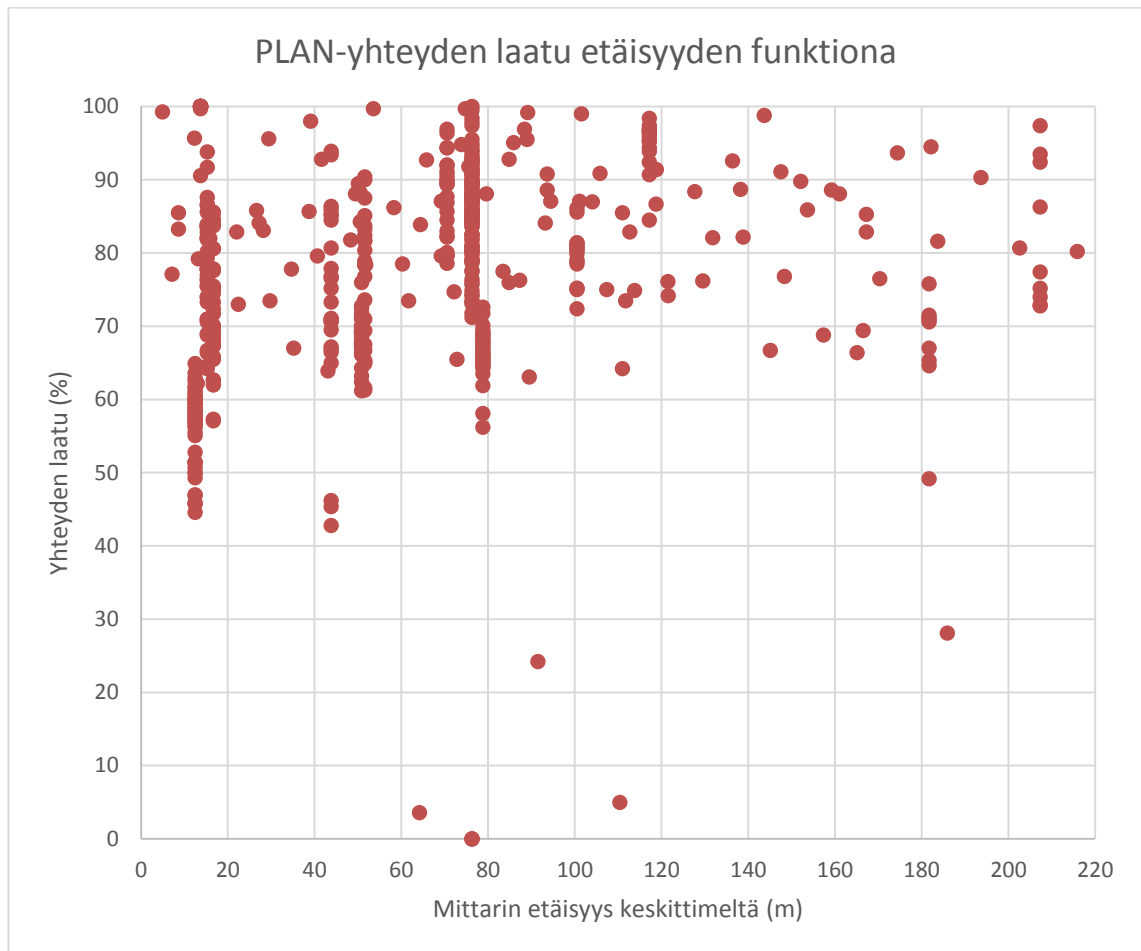
$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ , eli koordinaattipisteiden pituuspiirien erotus;

$\phi_m = (\phi_1 + \phi_2) / 2$ , eli leveyspiirien keskiarvo.

### 4.2.3 Tulosten käsittely

Kun arvot oli syötetty kaavaan (1) ja pyöristetty lähimpään metriin, voitiin tuloksista tehdä kuvaaja (kuvio 8), joka näyttää PLAN-tiedonsiirron laadun suhteessa mittareiden ja keskittimien välisiin etäisyyksiin. Kuvaajan pisteistä muodostuvat pystysuorat palkit kuvaavat kerrostaloja, joissa on paljon mittareita, joiden tiedonsiirron laatu eroaa toisistaan, mutta joiden liittymäpisteet sijaitsevat samoissa koordinaateissa. Näitä palkkeja lukuun ottamatta kuvaaja on suhteellisen hajanainen, eikä etäisyyden ja tiedonsiirron laadun välillä ole huomattavaa suhdetta.

Kuvaajasta on kuitenkin havaittavissa, että mitä kauemmas keskittimeltä siirrytään, sitä vähemmän asennettuja mittareita on. Tämä johtuu siitä, ettei PLAN-tiedonsiirto toimi kovin pitkien matkojen päästä. Kuten kuvaajakin osoittaa, käytännössä pisin mahdollinen välimatka PLAN-tiedonsiirrolle on noin 200 metriä, eikä mittareita kannata asentaa sen kauemmas keskittimestä, johtuen signaalin vaimenemisesta sähköverkossa.



KUVIO 8. Kuvaaja PLAN-yhteyden laadusta suhteessa etäisyyteen keskittimeltä

Landis+Gyr E570 -mittareilla on siis mahdollista korvata osa lankapuhelinverkkomittareista, mutta jos etäisyys muuntajalle on liian pitkä tai sähköverkossa on liikaa häiriötä, tulisi korvaamiseen käyttää matkapuhelinverkon kautta luettavia mittareita, jos mahdollista. Myös soveltuvissa paikoissa sijaitsevat matkapuhelinverkkomittarit voidaan korvata tällä uudella mittarityypillä, vähentäen etäluennan käyttökustannuksia. Lisäksi tunneleissa tai kellareissa sijaitsevat mittauspisteet, joissa matkapuhelinverkko ei toimi, ovat erinomaisia asennuspaikkoja E570-mittarille. Esimerkiksi väestönsuojatunnelin sähköpääkeskus voi sijaita syvällä maan alla. Jos tunnelin sähköverkko on tarpeeksi häiriötön, on sähköpääkeskukseen mahdollista asentaa E570-mittari ja käyttää keskitintä lähellä



tunnelin suuaukkoa, josta sen on mahdollista lähettää mittausdataa matkapuhelinverkkoa käyttäen.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön pohjalta on todettavissa, että uudet mittarityypit Landis+Gyr E450 G3 ja E570 soveltuvat Kuopion sähköverkkoon hyvin, jos niiden erityisominaisuudet otetaan huomioon. E450 G3 toimii häiriötilanteissa vanhempaa E450-mittarityyppiä paremmin ja toimii hyvin samassa muuntopiirissä vanhempien mittarityyppien kanssa, olettaen että tone mask -ominaisuus otetaan käyttöön. Epäsuorissa mittauskohteissa puhelinverkkomittareiden korvaaminen E570-mittarilla on mahdollista ja jopa suotavaa, mikäli etäisyys muuntajalle ei ylitä PLAN-tekniikan asettamia rajoja. E570 on myös mahdollista asentaa kohteisiin, joissa matkapuhelinverkon signaalinvoimakkuus ei ole riittävä mittareiden lukemiseen.

Työn tarkoitus oli selvittää, kuinka G3-PLC-järjestelmä sopii Kuopion sähköverkkoon ja tämä tarkoitus saavutettiin toivotuin tuloksin: Kuopion Sähköverkko Oy:n kannattaa jatkaa panostamista G3-PLC-tekniikkaan.

Jatkossa G3-PLC-tiedonsiirron käyttämistä Suomessa FCC-kaistalla olisi tutkittava, sillä se voisi parantaa tiedonsiirtoa häiriöllisissä ympäristöissä. Sen käyttöön vaadittaisiin kuitenkin lupa Viestintävirastolta ja sen mahdollista vaikutusta muihin järjestelmiin tulisi selvittää.

## LÄHTEET

Ahola, J. 2003. Applicability of Power-Line Communications to Data Transfer of On-Line Condition Monitoring of Electrical Drivers. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Väitöskirja.

Atmel. 2016. SAM4CP16C-EK Kit User Manual. Käyttöohje. <http://www.atmel.com/Images/doc43086.pdf>

CENELEC EN 50065-1. 2001. Standardi.

Debbah M. 2009. Short introduction to OFDM. Luettu 21.4.2017. <http://www.supelec.fr:80/d2ri/flexibleradio/cours/ofdm/tutorial.pdf>

Harjanne, H. project engineer. 2017. Puhelu 18.4.2017.

Hoch, M. 2011. Comparison of PLC G3 and PRIME. Institute for Information Transmission, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Saksa.

Kuisma-Heikkinen P. järjestelmäasiantuntija. 2017. Raportit. Sähköpostiviesti. pauliina.kuisma@kuopionenergia.fi. Luettu 21.3.2017.

Kuvaja P. 2014. PLAN-tekniikalla toteutetun etäluentajärjestelmän häiriöt. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Landis+Gyr. 2013. PLAN kommunikointi -koulutusmateriaali. Luentokansio. Saatavissa: Kuopion Sähköverkko Oy. Kuopio.

Landis+Gyr. 2015a. How to set up a G3 PLC Network. Julkaistu 5.10.2015. Luettu 30.4.2017. <http://eu.landisgyr.com/blog/how-to-set-up-a-g3-plc-network>

Landis+Gyr. 2015b. Landis+Gyr G3 PLC Live Demo. Julkaistu 7.12.2015. Katsottu 21.4.2017. <https://www.youtube.com/watch?v=5jpC9Ki3SZ0>

Landis+Gyr. 2016a. Etäluennan tiedonsiirtoon lisää nopeutta: Landis+Gyrin 150–500 kHz:n taajuuden G3 PLC -tekniikalle sertifiointi. Julkaistu 3.2.2016. Luettu 21.4.2017. <http://eu.landisgyr.com/blog-fi/etaluennan-tiedonsiirtoon-lisaa-nopeutta-landisgyrin-150-500-khzn-taajuuden-g3-plc-tekniikalle-sertifiointi>

Landis+Gyr. 2016b. Migrating from 1st generation PLC to G3-PLC. Julkaistu 29.2.2016 Luettu 21.4.2017. <http://eu.landisgyr.com/blog/migrating-from-1st-generation-plc-to-g3-plc>

Lantta E. hankevastaava. 2017. Muuntamoiden koordinaatit. Sähköpostiviesti. emma.lantta@kuopionenergia.fi. Luettu 23.3.2017.

Mazzei M-P. operations engineer. 2017a. Muuntopiirit 206,324,253. Sähköpostiviesti. matti-pekka.mazzei@ericsson.com. Luettu 22.3.2017.

Mazzei M-P. operations engineer. 2017b. Puhelu 18.4.2017.

Mitsubishi. 2001. Transistorized inverter FR-E500 instruction manual. Käyttöohje.

SFS 3381. 2014. Standardi.

Snyder, J. 1993. Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections. Yhdysvallat: The University of Chicago Press.

Visakivi J. field engineer. 2016. G3 -mittaukset. Sähköpostiviesti. jarno.visakivi@landisgyr.com. Luettu 17.3.2017.

Visakivi J. field engineer. 2017a. G3 PLC Cleanup. Luentomateriaali.

Visakivi J. field engineer. 2017b. Keskitin 47001163. Sähköpostiviesti. jarno.visakivi@landisgyr.com. Luettu 13.4.2017.