



Antti Rokka

Sähköverkkotiedonsiirron häiriöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
11.2.2011

ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin Fortum Oyj:n Espoon yksikölle. Haluan kiittää insinööriyöni aiheen järjestämisestä työnantajaani, projektipäällikkö Heikki Linnasta. Tampereen teknillisestä yliopistosta kiitän tekn. tri Pertti Pakosta. Kiitän myös muuta Fortumin henkilökuntaa arvokkaista kommentteista ja yhteistyöstä.

Espoossa 11.2.2011

Antti Rokka

Tekijä Otsikko	Antti Rokka Sähköverkkotiedonsiirron häiriöt
Sivumäärä Aika	52 sivua 11.2.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	projektipäällikkö Heikki Linnanen lehtori Krister Wikström
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Fortum Oyj:lle. Työssä käsitellään sähköverkkotiedonsiirron häiriöitä. Työn aihe tuli ajankohtaiseksi syksyllä 2010, kun yrityksellä oli edessä muuttaman vuoden kestävä etäluettavien sähkömittareiden AMM-hanke.</p> <p>Työn alussa on käyty läpi PLC-tekniikkaan liittyviä asioita. Samalla tarkasteltiin sähköverkossa tapahtuvia häiriöitä ja niiden kompensointia teoreettisen aineiston pohjalta.</p> <p>Seuraavaksi työssä on tutustuttu sähköverkkotiedonsiirron häiriöihin käytännönläheisten mittausten avulla yhdessä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa. Mittalaitteena toimi Rohde & Schwartz ESPI-3 -spektrianalysointilaite. Tämän jälkeen mittaus tuloksia analysoitiin kuvien pohjalta.</p> <p>Työn lopputuloksena vertailtiin teoriasta saatuja tuloksia käytännönläheisiin tuloksiin. Lisäksi mittalaitteesta saatua tietoa pystytään hyödyntämään Fortumin muissa kohteissa.</p> <p>Työssä on esitelty ohjeet häiriöiden paikantamisesta ja niiden eliminoinnista. Työssä esitettyjä ohjeita ei tule käyttää sellaisinaan muiden kuin Fortumin hankkeen tekemiseen.</p>	
Avainsanat	PLC, häiriö, EMC

Author Title	Antti Rokka Interferences of the PLC (Power Line Communication)
Number of Pages Date	52 11 February 2011
Degree Programme	Electrical Engineering
Degree	Bachelor of Electrical Power Engineering
Supervisor	Krister Wikström, Lecturer, M.Sc., Helsinki Metropolia University of Applied Sciences
Instructor	Heikki Linnanen, Project Manager, M.Sc., Fortum PLC (Public Limited Company)
<p>This final year project was made for company called Fortum PLC. This thesis deals with the interferences of PLC (Power Line Communication). This final year project became current in the autumn 2010 when the company had a four-year AMM project.</p> <p>First PLC-technology is briefly introduced. Also interferences and interference compensation are examined on theoretical basis.</p> <p>Next, power line communication interferences are explored based on hands-on measurements together with the Tampere University of Technology. Rohde & Schwartz ESPI-3 spectrum analyzer was used as a measuring instrument on these field measurements. After this, measurement results are analyzed on the basis of spectrum pictures.</p> <p>Finally theoretical and practical results are compared. In addition instructions for interference locating and eliminating are introduced. Instructions of this work should not be used anywhere else but in Fortum's project.</p>	
Keywords	PLC, interference, EMC

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	PLC-TEKNIikka	2
2.1	PLC-tekniikan historia	2
2.2	PLC-tekniikan toimintaperiaate	2
2.3	PLC-tekniikan standardointi	3
2.4	PLC-tekniikka sähköverkossa	5
2.5	Induktiivinen kytketyminen	6
2.6	Kapasitiivinen kytketyminen	7
2.7	Tietoturva	8
3	MITTARITEKNIikka	8
3.1	AMM-mittari	9
3.2	Landis + Gyr E120Lt -mittari	13
3.3	Mittareiden yhteenveto	14
3.4	Tiedonsiirto keskittimen ja palvelimen välillä	15
3.5	Tiedonsiirto keskittimeltä mittarille	15
3.6	Sähkötekniset vaikutukset mittaritoimintaan	16
4	SÄHKÖVERKON HÄIRIÖT	17
4.1	Häiriöiden synty	17

4.2	Sähkön laatu	18
4.2.1	<i>Ulkoiset häiriöt</i>	18
4.2.2	<i>Sisäiset häiriöt</i>	19
4.3	UPS-laitteet ja PLC-signaali	20
5	PLC-HAASTATTELU	21
5.1	Tampereen teknillinen yliopisto, Pertti Pakonen TKT	21
5.2	PLC-häiriöiden paikantamiseen käytettävät laitteet	23
6	JÄRVENPÄÄN PILOTTIMITTAUKSET	27
6.1	Pilottialueen mittaukset	27
6.1.1	<i>Tammelankadun pilottimittaukset Järvenpäässä</i>	29
6.1.2	<i>Leimupuiston pilottimittaukset Järvenpäässä</i>	34
6.2	Häiriöiden vaikutus mittariluentaan	35
6.3	PLC-signaalin vaikutus asiakkaan laitteistoihin	36
6.3.1	<i>Järvenpään sisäpuhelinjärjestelmä</i>	36
6.3.2	<i>Järvenpään pumppaamo</i>	38
7	HÄIRIÖIDEN KOMPENSOINTI	39
7.1	EMC-suojaus	39
7.2	Esimerkkejä sähkömagneettisista ilmiöistä	41
8	PLC-OHJEET	46
8.1	PLC-häiriöiden aiheuttajat	46
8.2	PLC-häiriöiden eliminointi	47
8.3	PLC-häiriöt ja niiden ratkaisut	49
9	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tutkitaan sähköverkkotiedonsiirrossa tapahtuvia häiriöitä, niiden eliminointia sekä vaikutusta etäluettavien mittareiden AMM (Automatic Meter Management) toimintaan. Kaiken kaikkiaan Suomessa Fortumin alueilla vaihdetaan n. 600 000 etäluettavaa AMM-mittaria 1.1.2014 mennessä.

Sähköverkossa syntyneiden häiriöiden vaikutusta laitteiden ja PLC-signaalin toimintaan ei tunneta kovinkaan hyvin, mutta sen verran tiedetään, että nykyään lähes kaikki uusi teknologia synnyttää häiriöitä verkkoon, jotka häiritsevät PLC-signaalin kulkua sähköverkossa. Esimerkiksi energiansäästölamput ja LED-teknologia aiheuttavat verkkoon häiriöitä.

Tämä insinööriyö tuli ajankohtaiseksi Fortum Oyj:lle syksyllä 2010, kun yrityksellä oli edessä muutaman vuoden kestävä AMM-hanke, jossa vanhat sähkömittarit vaihdetaan etäluettaviin mittareihin. Hankkeen kannalta on tärkeä selvittää sähköverkon häiriöiden vaikutus PLC-signaalin toimintaan, sillä tiedonsiirto tapahtuu keskittimen kautta mittarille sähköverkkoa pitkin.

Työn kohteena on pilottialue, joka sijaitsee suurimmaksi osaksi Järvenpään Kyrölässä. Pilottialueen kiinteistöihin vaihdetaan kaiken kaikkiaan 6 300 mittaria. Pilottialueelta saatuja tuloksia käytetään hyödyksi myös Fortumin muissa kohteissa, jotka sijaitsevat Uudellamaalla, Lounais-Suomessa, Pohjanmaalla, Joensuussa ja Pohjois-Suomessa.

Työn ensimmäisessä osuudessa käsitellään PLC-tekniikkaan (Power Line Communication) liittyviä asioita ja tämän jälkeen tutustutaan häiriöitä aiheuttaviin tekijöihin teorian puolella. Työssä käsitellään työn kohteena olevan pilottialueen kohteita. Lopuksi teoreettisen tutkimuksen lisäksi suoritetaan myös käytännönläheisiä mittauksia Tampereen teknillisen yliopiston kanssa ja verrataan käytännön tilanteista saatuja tuloksia teoreettisiin tuloksiin ja tehdään ohjeet sähköverkkotiedonsiirron häiriöiden paikantamisesta ja eliminoinnista.

2 PLC-TEKNIikka

2.1 PLC-tekniikan historia

PLC-tekniikka (Power Line Communication) tunnetaan myös nimellä datasähkö. Datasähkö ei ole uusi keksintö, vaan sen juuret kantautuvat 1920-luvulle, milloin ensimmäisiä kantoaaltotaajuuteen CTP (Carrier Transmission over Power Lines) perustuvia datalähetyksiä suurjännitelinjaa pitkin aloitettiin. Sähköverkon hyödyntämisen idea tiedonsiirtoon on melkein sata vuotta vanhempi. Vuonna 1838 Edward Davy esitteli etäluettavan menetelmän akkujenvälisen jännitteen mittaukseen miehittämättömältä puolelta Lontoo-Liverpool lennätinjärjestelmästä. [1, s. 13.]

Suurjännitelinja toimi aiemmin sähköyhtiöiden huoltopuheluiden välittämiseen, koska puhelinyhteyksistä oli pulaa. Tässä käyttöyhteydessä sovellusta hyödynnettiin 1960-luvulle saakka. Myöhemmin tekniikka on sovellettu laitteiden kauko-ohjaukseen ja internet-yhteyksien tarjoamiseen.

Alun perin sähköverkossa käyty tiedonsiirto suunniteltiin vain hyvin pienien tietomäärien siirtämiseen, kuten vaikkapa sähköerotin aukaiseminen ja sulkeminen, missä toiminta oli jokseenkin kankea. Suuremmilla nopeuksilla haitat ovat kumminkin olleet liian suuria saavutettuun hyötyyn nähden, joten tekniikka ei ole menestynyt laajakaistayhteyksien tarjoajana. [2.]

2.2 PLC-tekniikan toimintaperiaate

PLC-tekniikan eli datasähkön toiminta perustuu lyhyesti kuvailtuna informaatiota sisältävän signaalin modulointiin. Signaalin häiriökestävyyden tulisi olla mahdollisimman hyvä, joten siirrossa käytetään laajaa taajuusaluetta. Tällöin koko siirtokanavaan ei aiheudu häiriötä vaikka yhdellä taajuusalueella tapahtuisikin. [3, s. 10–11.]

PLC:n etuja ovat seuraavat:

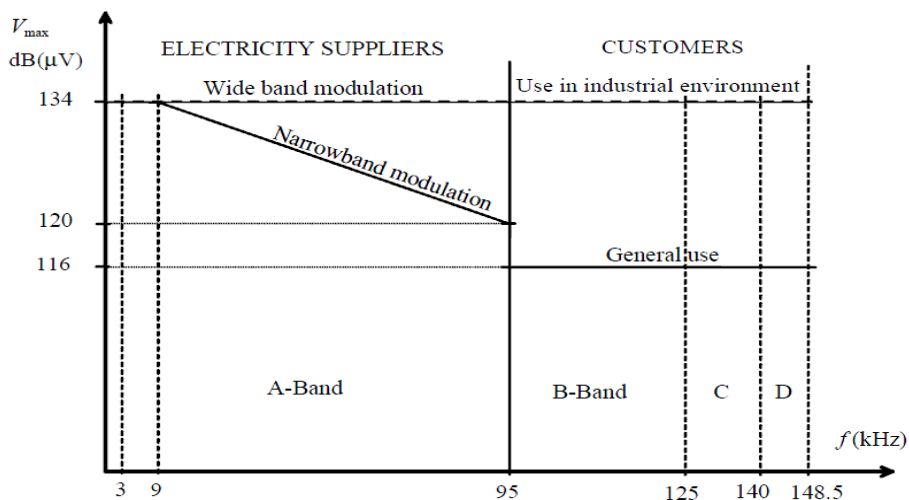
- Tiedonsiirtoinfrastrukturi on valmiina.
- Tiedonsiirtomaksuja ei ole.

PLC:n haittoja ovat seuraavat:

- häiriöaltis sähköverkko
- säteilyhäiriöt
- sisätilojen kenttävoimakkuudet
- energiansäästölamput
- LED-teknologia
- taajuusmuuttajat
- elektroniset kuormat
- standardointi.

2.3 PLC-tekniikan standardointi

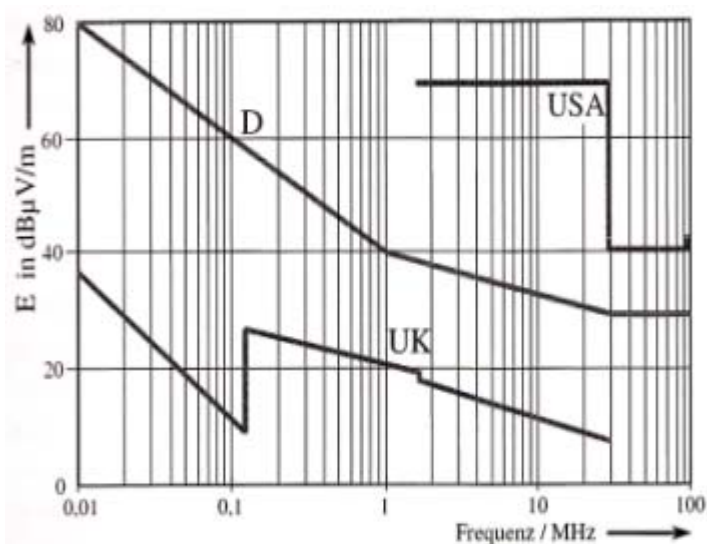
Euroopassa määriteltiin oma standardi pienjänniteverkossa tapahtuvalle signaaloinnille CENELEC (Comité Européen de Normalisation) EN 50 065-1 vuonna 1991. Tämä korvasi kaikki aikaisemmat yksittäiset standardit Euroopassa. Standardi erosi erittäin paljon USA:n ja Japanin standardeista FCC (Federal Communication Commission). Siellä taajuuskaista on sallittu aina 500 kHz:iin saakka. Eurooppalaisen standardin EN 50 065-1 taajuuskaistana 3...148,5 kHz.



Kuva 1. Euroopan standardin EN 50 065-1 sallitut taajuuskaistat ja signaalitasot [1, s. 16]

Euroopan standardin (kuva 1) CENELEC EN 50 065-1 pienjänniteverkossa sallitut taajuuskaistat ja signaalitasot. Taajuuskaista on jaettu viiteen osaan, joista ensimmäinen taajuuskaista 3...95 kHz (A-kaista) on tarkoitettu sähkönjakelijoiden käyttöön ja kaistat 95...148,5 kHz (B, C ja D) ovat tarjolla yksityiseen käyttöön kuten kotitalouksille. [1, s. 16–17.]

Nykyään ei ole eurooppalaista standardia PLC:lle. Alle 150 kHz:n taajuuksille ei määritellä häiriönsietovaatimuksia. Nyt on kehitteillä uusi standardi, joka tulee korvaamaan saksalaisen NB 30 -normin. Nykyään viestintävirasto vaatii, että häiriötason (säteilevät häiriöt) tulee olla alle saksalaisen normin NB 30 -raja-arvon (Nutzungsbestimmung; regulation for use). Kuvassa 2 käyrä D kuvaa NB 30 -raja-arvoa. Kuvassa 2 on myös Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa käytettävät raja-arvot. Sähkökentän voimakkuus ei saa ylittää raja-arvoja ympäristössä. [4, s. 30.]



Kuva 2. Sallitut kentänvoimakkuusrajat [5, s. 279]

PLC:n kannalta standardoinnin osa-alueet voidaan jaotella käytettäviin taajuusalueisiin, sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen ja järjestelmän rajapintoihin sekä yhteyskäytäntöihin. Sähköalan standardoinnista vastaa Euroopassa CENELEC. CENELECin tärkeimmät standardit EN 50 065 ja myös EN 50 082.

EN 50 065 määritteli yleiset vaatimukset sähköverkossa tapahtuvalle tiedonsiirrolle taajuuskaistalla 3...148,5 kHz:iin. Standardi määrittelee myös sallitut lähtöjännitteen raja-arvot johtuville häiriöille ja häiriösäteilyille ja suurimmat sallitut siirtojännitteet. [4, s. 24–25.]

EN 50 082 on puolestaan standardi, joka koskee häiriösietoja ja siinä käsitellään erikseen kotitalous-, toimisto- ja pienteollisuus- sekä teollisuusympäristölaitteiden häiriönsietoa. [4, s. 24–25.]

2.4 PLC-tekniikka sähköverkossa

Ensimmäiset sähköverkot on rakennettu Suomeen runsaat sata vuotta sitten. Tuolloin sähköverkon perusrakenne oli jo lähes sama, kuin se on nykyisin. Sähköverkkoa ei ole suunniteltu alun perin tiedonsiirtoon, jota datasähkö käyttää hyväkseen tiedonsiirrossa. [3, s. 7, 27.]

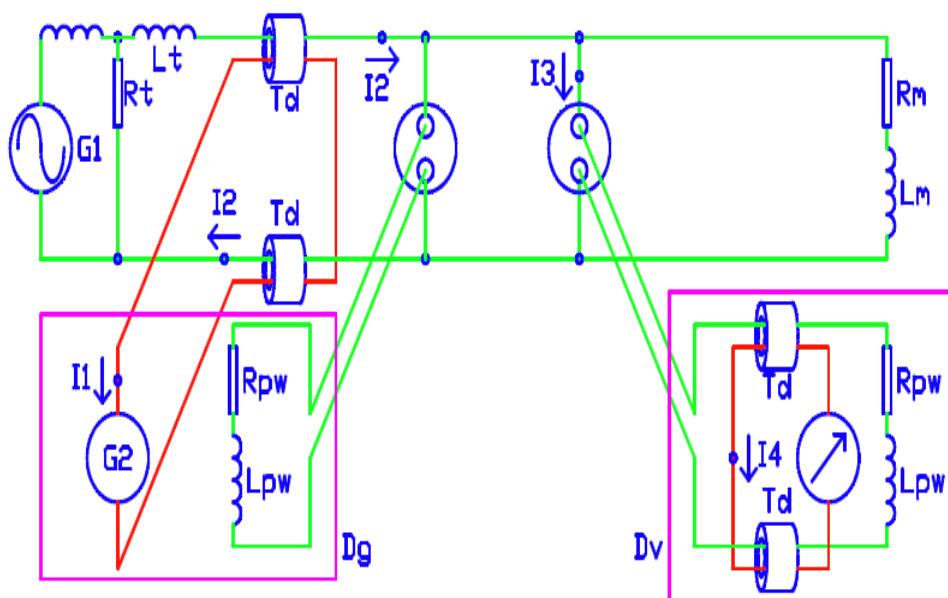
Datasähkön signaalitaajuus on hyvin korkea verrattuna sähköjakelusignaalin (50 Hz) taajuuteen. Tästä seuraa, että datasähkö läpäisee vaimentumatta sarjaan kytketyn kapasitanssin ja maadoittuu rinnan kuorman kanssa kytketyssä kapasitanssissa, mutta sähköjakelusignaalille tilanne on aivan päinvastainen.

Molemmat signaalit vaimenevat sarjaresistanssissa ja molemmat signaalit maadoittuvat samalla tavalla kuorman kanssa rinnan kytketyssä resistanssissa. Sähköverkon kuorma ei suinkaan pysy stabiilina vaan vaihtelee koko ajan, joten datasähkölaitteiden on mukauduttava muuttuviin tilanteisiin. [3, s. 10; 6, s. 6–7.]

Sähköverkkoa tarkastellessa erilaisten kytkeytymisten suhteen (ks. 2.5–2.6.) kuorman ollessa resistiivinen, induktiivinen tai kapasitiivinen ei PLC-signaali saa häiriintyä niin, että signaali vaimentuisi liikaa tai muuten kärsi toiminnan kannalta.

2.5 Induktiivinen kytkeytyminen

PLC-laitteiden induktiivinen kytkeytyminen sähköjakeluverkkoon. Kuvassa 3 on esiteltyä sähköjakeluverkko ja siihen kytketyt datasähkölaitteet D_g ja D_v . D_g toimii generaattorina ja D_v -vastaanottimena.



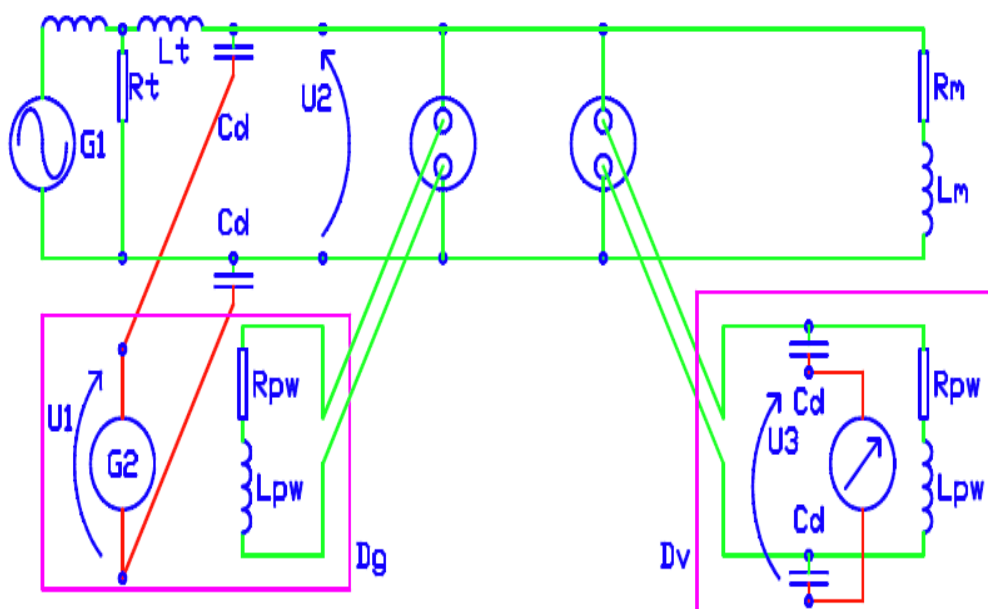
Kuva 3. Induktiivinen kytkeytyminen [3, s. 11]

Sarjaankytkentä R_m ja L_m kuvaa koko sähköjakeluverkon kuormaa ilman datasähköä ja niillä pyritään yksinkertaisesti kuvaamaan jakeluverkon kuormia ja ominaisuuksia. Samalla idealla toimivat kytkennät R_{pw} ja L_{pw} sekä R_t ja L_t . Kytkennät muodostavat yhdessä suljetun jakelusähköverkon, joka kuormittaa generaattoria G_1 .

Generaattorin G_2 signaali kytketään induktiivisesti sähköjakeluverkkoon muuntajakytkennällä T_d ja siitä edelleen muuntajakytkennällä T_v -vastaanottimelle. Datasähkön kannalta oleellista on, että Muuntajan T_1 (R_t L_t) induktanssi L_t edustaa suurta impedanssia, jotta datasähkö ei pääse tunkeutumaan pääverkkoon muuntajan ensiöpuolelle. [3, s. 11.]

2.6 Kapasitiivinen kytkeytyminen

PLC-laitteiden kytkeytyminen sähköjako- ja havainnollistaminen kapasitiivisella kuormalla. Kuvassa 4 on sama sähköjako- ja havainnollistaminen samoilla päätelaitteilla D_g ja D_v kapasitansseilla C_g ja C_v . [3, s. 12–13.]



Kuva 4. Kapasitiivinen kytkeytyminen [3, s. 13]

Generaattorin muodostava jännite U_1 kytkeytyy kapasitanssien C_g yli sähköjako- ja havainnollistaminen puolelle muodostaen jännitteen U_2 . Kuormaksi kytketyt laitteet saavat sisäänmenoonsa datasähkön jännitteen U_2 , jonka suuruus on riippuvainen tästä kuormasta. Vastaanotin saadaan kytkettyä sähköjako- ja havainnollistaminen verkkoon kapasitanssien C_v avulla, jolloin vastaanottimen indikaattoriin syntyy jännite U_3 . Näin ollen osa generaattorin G_2 muodostamasta jännitteestä U_1 kytkeytyy vastaanottimen indikaattoriin. [3, s. 12–14; 6, s. 8.]

Kapasitanssit C_g ja C_v lienevät kriittisimpiä komponentteja hyötysignaalin kannalta, koska ne ovat toisaalta helpoimmin valittavissa erilaisiin tapauksiin parhaiten soveltuviksi. Pääasiallisena erona kuvien 3 ja 4 tarkasteluille on, että ensimmäisessä tapauksessa induktiivinen kytkeytymistapa (virtakytkentä) ja toisessa kapasitiivinen kytkeytymistapa (jännitekytkentä).

Kapasitiivisilla kuormilla saattaa olla vaikutusta PLC-signaaliin esim. kun tassauntaajan jälkeinen kapasitanssi verkkoon päin. Myös suurien taajuuksien pieni impedanssi saattaa vaikuttaa PLC-signaaliin. Pienloistelamppujen aiheuttama kapasitiivinen kuorma mahdollisesti häiritsee PLC-signaalia. [7.]

2.7 Tietoturva

PLC-verkot ovat alttiita useille erilaisille tietosuojahyökkäyksille. Suojautumisen kannalta yleinen käytäntö on tietomurron vaikeuden vastakkainasettelu suojattavan tiedon tarpeen mukaan. Lähtökohtaisesti mikä tahansa suojausmenetelmä voidaan murtaa. Tämän pohjalta asetellaan vastakkain murtamisen vaikeus.

Yleisin salaustekniikka fyysisellä tasolla on RC4, jota on hyödynnetty myös tässä sovelluksessa. Kaikki data on suojattu päästä päähän, mittarilta järjestelmän ohjelmistoon ja takaisin. Sen lisäksi jokainen paketti vahvistetaan aidoiksi. Nämä turvallisuusmittaukset estävät nauhoitus- ja kuunteluhyökkäykset, tiedon kaikenlaisen manipuloinnin ja osoitehujaukset. [8, s. 100–101.]

Suojaus perustuu kahden laitteen (keskitin ja päätelaite) tuntemaan salaiseen avaimen. Menetelmä ei aseta salausavaimien pituuksille rajoituksia ja se on nopea ja helppokäyttöinen. Tällä avaimella kyetään salaamaan liikenne nopeasti pienellä prosessiteholla.

Kaikilla suojausmekanismeilla on heikkoutensa, avain on mahdollista laskea auki, mikäli liikennettä voidaan seurata. Kumminkin suojaus on monikerroksista ja suojausavaimet ovat sattumanvaraisia. Yhden mittarin yksilöavaimen perusteella ei voida selvittää muiden mittareiden yksilöavaimia. [3, s. 25–27; 9, s. 41.]

3 MITTARITEKNIikka

Tarkastellaan kahden erityyppisen mittarin ominaisuuksia, joista Landiksen mittaria, sekä ECHELON-mittaria (Ruotsissa) on jo hyödynnetty PLC-sovelluksissa. Ensimmäisenä tutustutaan AMM-hankkeen mittariin (ECHELON) ja jälkimmäisessä tapauksessa Landiksen käyttämään mittariin LON (Local Operating Network) E120Lt.

3.1 AMM-mittari

ECHELON-mittareita on saatavana yksivaiheisena (1-V) sekä kolmivaiheisena (3-V). ECHELON-sähköl mittarit ja NES-keskittimet operoivat keskenään ja tarjoavat kokonaisvaltaisia energiapalveluja. ECHELON-mittarit ovat AMM-projektissa hyödynnettäviä mittareita. [10, s. 2–4.]

Kaikkiin suomalaisiin koteihin vaihdetaan etäluettavat sähkömittarit 1.1.2014 mennessä. Mittareiden vaihto perustuu uuteen mittausasetukseen, joka tuli voimaan maaliskuussa 2009.

Uusien AMM-mittareiden myötä laskutus selkeytyy, koska lasku perustuu todelliseen kulutukseen, eikä näin ollen tasauskulutusta tarvitse enää tehdä. Omat kulutustiedot on helposti saatavilla netin kautta aluksi kuukausitasolla kesään 2012 saakka ja tämän jälkeen kesästä 2012 tuntitasolla päivittäin. Laskulla on kalenterikuukauden kulutus.

Älyboksin johdosta sähkökäyttöä ei tarvitse enää lukea tai raportoida manuaalisesti, vaan kaikki tapahtuu etäluentana. Esimerkiksi sopimuksen päättyessä sähköjen katkaisuun ei tarvitse enää lähettää asentajaa paikalle, vaan sähköjen katkaisu tapahtuu etänä. Etäluettavia mittareita voidaan käyttää myös häiriöiden aikana vikojen paikallistamiseen. [11, s. 4; 12, s. 14–15.]



Kuva 5. AMM-mittarin asennus



Kuva 6. 1-vaiheinen ECHELON-mittari

Mittarin tekniset tiedot ja toiminnot ovat seuraavat:

- PLC-kommunikointi mittarin ja keskittimen välillä
- optinen viestintäportti tarjoaa rajapinnan yhteyden suoraan tietokoneen tai kannettavan lukijan kautta.
- pulssitiedon keruu kaas- tai vesimittarilta
- nimellisjännite U_n yksivaiheisella (1-V) 220...240 V
- nimellisjännite U_n kolmivaiheisella (3-V) 380...415 V
- mittausero -20...+15 % U_n
- taajuus 50 Hz \pm 2,5 Hz

- nimellisvirta $I_b = 5 \text{ A}$
- maksimivirta $I_{\max} = 100 \text{ A}$
- tiedonsiirto suojattu salasanasuojauksella
- taajuuskaistana kaista (A) 3...95 kHz
- tyypillinen PLC teho lähetyksen aikana 1,4 W
- absoluuttinen PLC maksimiteho lähetyksen aikana 2,5 W
- mittarin toimintalämpötila $-40...+70^\circ \text{C}$
- nestekidenäytön lämpötila $-25...+60^\circ \text{C}$
- kosteus $\leq 95 \%$, ei kondensointia
- kuormanohjaus 2 A rele
- loismittaus
- 2-suuntainen mittaus (anto–otto)
- käynnistysvirta 20 mA. [10, s. 103–105.]

Kuvan 7 mittari on toiminnaltaan samanlainen kuin ns. *pikkuveli* eli 1-vaiheinen mittari. Ainoa eroavaisuus nimellisjännitteessä U_n , mikä kolmivaiheisella mittarilla on 380...415 V. Mittarit ylittävät testien mukaan kaikkien soveltuvien standardien asettamat vaatimukset. (Ks. seur. s.)



Kuva 7. 3-vaiheinen ECHELON-mittari

Mittareille on tehty seuraavat testit:

- äärimmäinen virtapiikki- ja sykäystesti
- kohinasietotesti tavanomaisilla lähteillä
- virran katkaisun ja kytkennän vaikutukset *on-* ja *off-* nousuilla
- itsetestauksen (toiminnot ja muisti) käynnistyessään. [9, s. 18.]

3.2 Landis + Gyr E120Lt -mittari

E120Lt-mittari on integroitu sähkömittari. Mittari koostuu sähkömittarin mittausosasta sekä integroidusta tiedonsiirto-osasta. Tiedonsiirtoyhteys mittausjärjestelmään on suojattu todennuksen avulla. [13, s. 4.]



Kuva 8. Landis + Gyr E120Lt -mittari

Mittarin toimintoihin kuuluvat tuntitiedon sarjarekisteriarvojen keruu ja sähkökatkotietojen keruu. Mittarissa on kertyvä päiväkohtainen sarjarekisteri sähkönmittaukseen, kaksi kertyvää päiväkohtaista sarjarekisteriä vastaanotetuille tiedoille, sisäinen tariffinlaskenta, laatuloki, hälytys- ja tapahtumaloki, neljä sarjarekisteriä mittausjärjestelmästä ladatuille arvoille sekä kaksi relelähtöä. [13, s. 4–5.]

Mittarin tekniset tiedot ovat seuraavat:

- jännite $U_n = 3 \times 230/400 \text{ V}$
- mittausalue $-20\dots+15 \% U_n$
- nimellisvirta $I_b = 5 \text{ A}$ tai 10 A
- enimmäisvirta $I_{\max} = 85 \text{ A}$
- lämpövirta $I_{\text{th}} = 100 \text{ A}$
- tehonkulutus virtapiirissä $0,05 \text{ VA}$
- taajuus $50 \text{ Hz} \pm 1\text{Hz}$
- käyttölämpötila $-40\dots+60^\circ \text{C}$
- nestekidenäytön käyttölämpötila $-20\dots+55^\circ \text{C}$
- tiedonsiirto LONTALK -protokolla (PL-3120-lähetin-vastaanotin)
- paino $1,6 \text{ kg}$
- sisäiset hälytykset
- muisti
- vaihevirhe
- vahtikoiratoiminto. [13, s. 21–22.]

3.3 Mittareiden yhteenveto

Mittareiden ominaisuudet ovat hyvin samanlaisia ja kilpailukykyisiä. Mittareita vertaillessa huomataan, että ECHELON-mittarissa on ominaisuutena laatu-tietojen keruu, mikä ei ole niin laaja Landiksen vastaavanlaisessa E120Lt -mittarissa.

ECHELON kykenee myös olemaan toistimena, ja siinä on PLC-signaalin laatuominaisuus, joka mahdollistaa PLC-signaalin näkemisen palkeittain. ECHELON-mittari toimii n. 76...86 kHz:n taajuudella. Myös ohjelmistollinen laatu on hyvä ja mahdollistaa ohjelmistojen asennuksen vaivattomasti. [14.]

3.4 Tiedonsiirto keskittimen ja palvelimen välillä

Datapaketti siirtyy keskittimeltä palvelimeen sen jälkeen, kun datapaketti on ensin siirtynyt sähköverkkoa pitkin mittarilta keskittimelle. Datapaketin tiedonsiirto tapahtuu ilmaitse 3G-verkkoa hyödyntäen aivan kuten puhelimitäkin nykyään tai GPRS-yhteyttä (General Packet Radio Service) hyödyntäen.

Langattomien tiedonsiirtotekniikoiden kehitys on nopeaa ja uusia entistä kehittyneempiä tiedonsiirtosovelluksia kehitetään jatkuvasti. GPRS-yhteyttä ei tarvitse pitää varattuna, kun tiedonsiirtoa ei tapahdu, eli fyysinen yhteys on aktiivinen vain dataa lähetettäessä. [15, s. 42–43.]

3.5 Tiedonsiirto keskittimeltä mittarille

PLC-signaalin kulku mittarille tapahtuu sähköverkkoa pitkin keskittimen (DC-1000/SL) kautta. Keskittimen tehtävänä on mittareiden hallinnointi, joka mahdollistaa tiedon etäkäytön. Kommunikointi tapahtuu taajuuskaistalla (A) 3...95 kHz. Keskitin kommunikoi laitteiden kanssa kaikissa kolmessa vaiheessa, havaitsee linja- ja laitehäiriöt ja takaa luotettavan tiedonsiirron tarkkailemalla mittareita jatkuvasti. [9, s. 21–28.]

Jokaiseen muuntopiiriin tarvitaan yksi keskitin, jonka alla voi periaatteessa olla 1 024 mittaria. Käytännössä tämä on kuitenkin mahdotonta, sillä jokaisella mittarilla on n. 10 eri kommunikointireittiä sähköverkossa, ja tämä yksinään ylikuormittaa keskittimen toimintaa. [9, s. 21–22; 14.]

Ruotsissa todettiin keskitintä vaihtaessa pitkiä, jopa kuukaudenmittaisia viivästyksiä, ennen kuin keskitin sai tarvitsemansa datan ladattua. Keskittimen alla oli yli 500 mittaria, jolloin keskittimen suorituskyky laskee oleellisesti.

Optimaalinen mittarimäärä keskitintä kohden on n. 300...500 mittaria. Data-keskitin kykenee ylläpitämään enintään 2 048 löydetyn laitteen luettelo, joka sisältää toistimen polkureitit ja signaalin vahvuuden. [9, s. 33; 14.]

Keskittimen ja mittarin välisessä kommunikoinnissa voi tapahtua ongelmia, jos sähköverkko haarautuu useaan osaan, ja näin ollen signaali vaimenee, eikä signaaliteho riitä mittarille asti. Ongelmia tulee myös haja-asutusalueilla, sillä muuntamot yleensä kaukana asutuksesta, jolloin kaapelia on jouduttu vetämään pitkiä matkoja ilmassa, jolloin signaali karkaa ympäristöön ja vaimenee.



Kuva 13. Keskitin DC-1000/SL

3.6 Sähkötekniset vaikutukset mittaritoimintaan

Jännitteen nousua aiheuttavat luonnonilmiöt, kuten ukkonen, saattavat aiheuttaa sähköverkkoon voimakkaita jännitepiikkejä. PLC-signaalin kannalta jännitteen nousulla ei ole havaittu yhteyttä signaalin häiriintymiseen tai toimintaan pienjänniteverkossa. Mittarin kannalta taas suurehkot jännitteen nousut voivat aiheuttaa mittarissa vikatoimintoja tai rikkoa sen kokonaan.

Yksittäiset virtapiikit voivat aiheuttaa PLC-signaalin katkeamisen, jos se tapahtuu PLC-signaalin kannalta väärään aikaan. Mittaridatan kannalta sähköverkossa on jokaisella mittarilla n. 10 erilaista reittiä keskitimen ja mittarin välillä.

Jos yksittäinen virtapiikki estää datan kulun, data etsii toisen reitin sähköverkosta. Yksivaiheiset laitteet tuottavat yleensä suurempia kytkentävirtapiikkejä verkkoon verrattuna kolmivaiheisiin laitteisiin.

Yksivaiheisilla laitteilla välkyntäongelmat ovat paljon yleisimpiä verrattuna kolmivaiheisiin laitteisiin, koska kolmessa vaiheessa virta pääsee jakautumaan kolmeen suuntaan toisin kuin yhdessä vaiheessa.

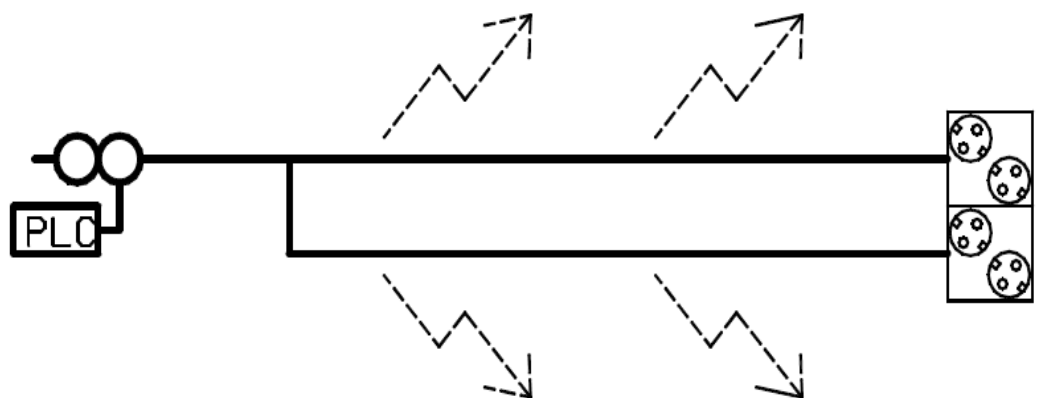
4 SÄHKÖVERKON HÄIRIÖT

4.1 Häiriöiden synty

Sähköverkkoa ei ole alun perin suunniteltu tiedonsiirtotarkoituksiin, eikä tästä syystä johtimilla ole minkäänlaista häiriöeristystä. Häiriöt voivat kytkeytyä verkkoon, joko induktiivisesti, kapasitiivisesti, resistiivisesti tai sähkömagneettisen kentän vaikutuksesta.

Tiedonsiirto keskittimeltä mittarille tapahtuu sähköverkkoa pitkin 3...95 kHz:n taajuudella, ja koska johtimia ei ole suojattu, toimii johdin aivan kuten antenni, ja vastaanottaa näin ollen erilaisia häiriösignaaleja joista datasähkö mahdollisesti häiriintyy.

Johtimien vuotavat säteilyt lähettävät datasähkösignaaleita, jotka voivat aiheuttaa häiriötä radiotaajuuksilla. Sähkömagneettinen yhteensopivuus EMC (Electromagnetic compatibility) tulee tällöin ajankohtaiseksi, (ks. 7). Kuvassa 9 on havainnollistettu signaalin vuotaminen.



Kuva 9. Datasähkön aiheuttamat häiriöt ympäristöön [3, s. 30]

Datasähkön aiheuttamat häiriöt (kuva 9). Voimakas datasähkösignaali kytkeytyy antennipistorasian hyötysignaaliin esimerkiksi sisäjohtojen ja antennikaapelin läheisyydestä johtuen. [3, s. 27–31.]

4.2 Sähkön laatu

Sähkönlaadulla tarkoitetaan jakelujännitteen ominaisuuksia, joita ovat taajuus, suuruus, aaltomuoto ja jännitteen symmetria kolmivaiheisena. Jakelujännitteen tulisi pysyä tiettyjen arvojen ja rajojen sisällä, jotka on standardissa SFS-EN 50 160. Lisäksi standardissa käsitellään mm. jännitekuoppia sekä erilaisia ylijännitteitä, jotka ovat sähkölaadullisesti tärkeitä ominaisuuksia. Sähkönlaadulla on oleellisesti vaikutusta myös PLC-signaaliin. [16, s. 14–15.]

Harmoniset ja epäharmoniset jännitteen yliaallot aiheuttavat häiriöitä verkkoon. Harmoniset yliaallot summautuvat verkkotaajuuden päälle aiheuttaen lisähäviöitä laitteissa.

Harmoniset yliaallot saavat alkunsa epälineaaristen kuormien johdosta, joiden ottama virta ei ole sinimuotoista. Laitteiden ottama virta on säröytynyttä, ja virta aiheuttaa verkon yliaaltoimpedanssissa jännitteen säröytymisen. Yliaaltoja aiheuttavia laitteita ovat esim. taajuusmuuttajat, UPS-laitteet, tasasuuntaajat, sähkönsuodattimet, purkaus- ja loistelamput ja atk-laitteet. [16, s. 16.]

4.2.1 Ulkoiset häiriöt

Datasähköä ja pienjänniteverkkoa ulkoisesti häiritseviä tekijöitä kohdistuu pienjänniteverkkoon useita paikasta riippumatta. Useat laitteet ja järjestelmät käyttävät samaa taajuuskaistaa datasähkön kanssa, mistä aiheutuu häiriöitä kaistalle.

Elektroniset kuormat, kuten hakkuriteholähteet, taajuusmuuttajat, suurtaajuuskuumentimet ja purkauslamput ovat hyvä esimerkki häiriöitä aiheuttavista laitteista. Laitteiden lisäksi häiriöitä aiheuttavat luonnonilmiöt kuten ukkonen ja taustasäteily. [3, s. 27.]

4.2.2 Sisäiset häiriöt

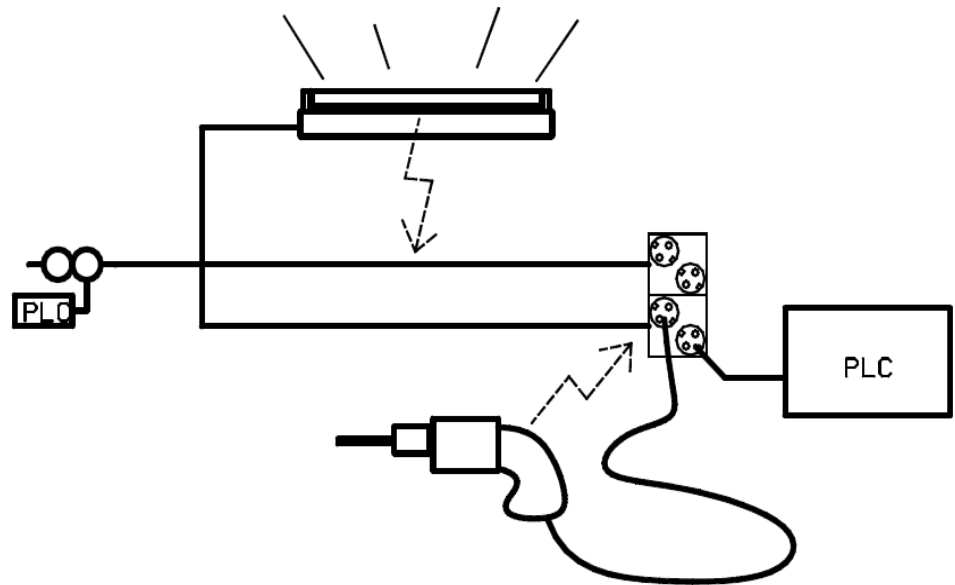
Syyskuuhun 2012 mennessä kaikki yli 7 W:n hehkulamput poistuvat markkinoilta energiansäästölamppujen tieltä. Energiansäästölamput voivat perustua pienloistelamppu- tai LED (Light Emitting Diode) -tekniikkaan. Molemmilla uusilla lamputyypeillä on omat ominaisuutensa, joita hehkulampulla ei ole. Hehkulamput kuluttavat pätötehoa P ja vastaavasti energiansäästölamput ja LED-lamput synnyttävät loistehoa Q , joka aiheuttaa häiriöitä sähköverkkoon.

Energiansäästölamput aiheuttavat verkkoon yliaalloja ja suuritaajuisia häiriöitä, jotka saattavat ylittää radiotaajuuksille asti. Nämä johtuvat lamppujen sisältämistä tasa- ja vaihtosuuntaajista. Yleensä alle 25 W:n energiansäästölamppuissa ei ole loistehon kompensointia eikä niissä ole minkäänlaista EMC-suojauksia. Kotitalouksissa lähes kaikki valaistus tapahtuu alle 25 W:n energiansäästölamppuilla, ja tämä ajaa asiakkaat ostamaan erilaisia suojausmenetelmiä häiriöiden eliminoimiseksi.

Suurilla taajuuksilla myös energiansäästölamppuilla impedanssi on erilainen kuin hehkulamppuilla. Impedanssin eroavaisuus sekä yliaallot yhdessä voivat aiheuttaa häiriöitä etäluettavien mittareiden tiedonsiirtoon niin, ettei energialukemia saada tai kuormanohjaukset eivät mene päälle odotetulla tavalla. [17, s. 1–2.]

Pienjänniteverkossa olevat laitteet aiheuttavat häiriöitä, jotka saattavat häiritä tai estää kokonaan signaalin kulun. Kytettäessä ja sammuttaessa laitteet aiheuttavat verkkoon kytkentäpiikkejä esim. jääkaapin kompressori tai loistelampun sytytin ovat haitallisia tiedonsiirron kannalta.

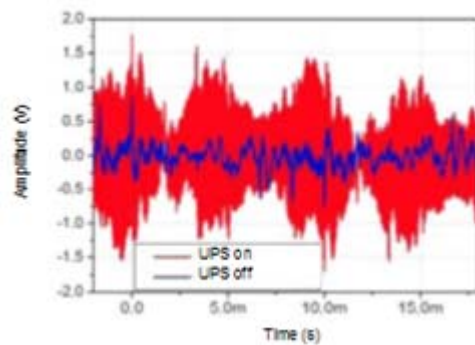
Kuvassa 10 havainnollistetaan verkon sisäisiä häiriöitä, kun verkkoon on kytketty loistelamppu ja porakone. (Ks. seur. s.) [3, s. 27–29.]



Kuva 10. Datasähkön sisäiset häiriöt [3, s. 28]

4.3 UPS-laitteet ja PLC-signaali

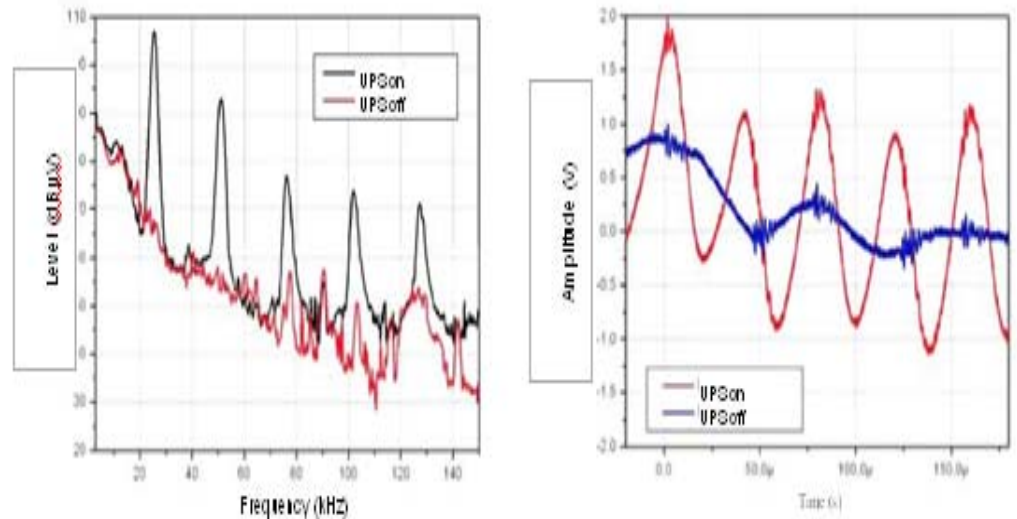
UPS-laitteet ovat laitteita, jotka turvaavat häiriöttömän sähkönsyötön mahdollisen sähkökatkon aikana. Kuitenkin laboratoriomittauksissa on tutkittu UPS-laitteiden aiheuttamaa häiriötä PLC-signaalille. Kuvassa 11 on havainnollistettu häiriötasoja. [18, s. 8–9.]



Kuva 11. UPS-laitteiden aiheuttamat häiriöt PLC-signaalissa [18, s. 8]

UPS-laitteiden ollessa päällä kuvassa 11 näkyy punaisella selvä häiriötaso taajuuden ollessa n. 25,4 kHz.

Kuvista (kuva 12) näkyy laitteiston aiheuttamat häiriöt verkkoon. Vasemmalla on häiriöt taajuuden funktiona ja oikeanpuoleisessa kuvassa on häiriöt ajan funktiona. Lisäksi havaitaan laitteen lähettämä häiriö n. 25 kHz:n taajuudella. Häiriötaso alenee tuntuvasti korkeammilla taajuuksilla mutta pysyy silti läpi alueen aina 150 kHz:iin saakka. [18, s. 36–37.]



Kuva 12. UPS-laitteiden aiheuttamat häiriöt taajuuden ja ajan funktiona [18, s. 36]

5 PLC-HAASTATTELU

5.1 Tampereen teknillinen yliopisto, Pertti Pakonen TkT

Tutkijatohtori Pertti Pakosta haastattellessa ilmeni seuraavia PLC-signaalin kannalta haitallisia häiriötekijöitä:

- Laboratoriomittauksissa on todettu PLC-signaalin ja himmentimen välisiä ongelmia, kun PLC-signaalin tasoa nostetaan tarpeeksi korkealle, alkaa lamppu himmetä ja kirkastua vuoronperään. Mahdollisesti PLC-signaali ja himmennin operoivat samalla taajuusalueella ja näin ollen häiritsevät toisiaan.
- Kapasitiivisten kuormien aiheuttama mahdollinen häiriö tai signaalin vaimeneva vaikutus kapasitanssin lähellä. Pienloistelampuilla voi olla vaikutusta signaalin laatuun. Jos PLC-vastaanottimen lähellä on loistelamppuja, niin ne saattavat vaimentaa signaalia. Kyseinen tapaus on havaittu laboratoriomittauksissa, mutta kenttämittauksissa ilmiötä ei ole havaittu.

- Mittariluetaan syntyy häiriötä, kun suuritaajuinen häiriö (kohina) peittää alleen PLC-signaalin. Toiseksi signaali vaimenee, jos verkkoon liitettävä laite on impedanssiltaan pieni ja taajuuksiltaan suuri. Tämä näkyy kommunikoinnissa varsinkin haja-asutusalueilla, missä on vedetty pitkiä kaapelivetoja. Tällöin signaali vaimenee ja säteilee ns. harakoille ilmajohdoissa.
- Signaalin vaimenemiseen vaikuttavat mm. matka, kaapelityyppi ja laitteet, jotka ovat syöttölinjan varrella. Laitteet ovat oleellinen osa signaalin vaimenemisessa. Pelkkä vaimeneminen ei kerro koko totuutta vaan on katsottava myös häiriötasoja.
- Elektroniset kuormat eli tehoelektroniikka on suuri häiriöiden aiheuttaja. Taajuusmuuttajien EMC-suotimet eivät ole ideaalisia eivätkä näin ollen riitä vaimentamaan häiriötä riittävästi.
- Asuinkiinteistöjen kerrostaloissa ongelmana on ollut taajuusmuuttajien vääränlainen valinta. Valittu teollisuuteen tarkoitettuja taajuusmuuttajia asuinkiinteistöjen tarkoitettujen taajuusmuuttajien sijaan. Halvan ratkaisun myötä ongelma syntyy, koska EMC-suojaus jää puutteelliseksi.
- MELKO-järjestelmä ja liikennevalojen ohjausjärjestelmä häiriintynyt PLC-signaalista. PLC-signaalilla saattaa olla vaikutuksia myös asiakkaiden kuormanohjausjärjestelmiin.

Häiriötä eliminoitaessa EMC-suojaus on tärkeä asia. Kuitenkin PLC-signaali käyttää taajuuskaistaa (A) 3...95 kHz, eikä EMC-standardeja ole tehty <150 kHz:n alueelle. Niin kauan, kun standardointi puuttuu, mikään ei edellytä valmistajien laitteiden EMC-suojaukselta parannuksia, eikä näin ollen täytyä vaadittuja häiriöeliminoiteja PLC-signaalin kannalta. [7.]

5.2 PLC-häiriöiden paikantamiseen käytettävät laitteet

Johtuvien häiriöiden mittaustilteistoon kuuluu Rohde & Schwartz ESPI-3 radiohäiriövastaanotin/RF-spektrianalysaattori ja RF-radiohäiriömittapää.



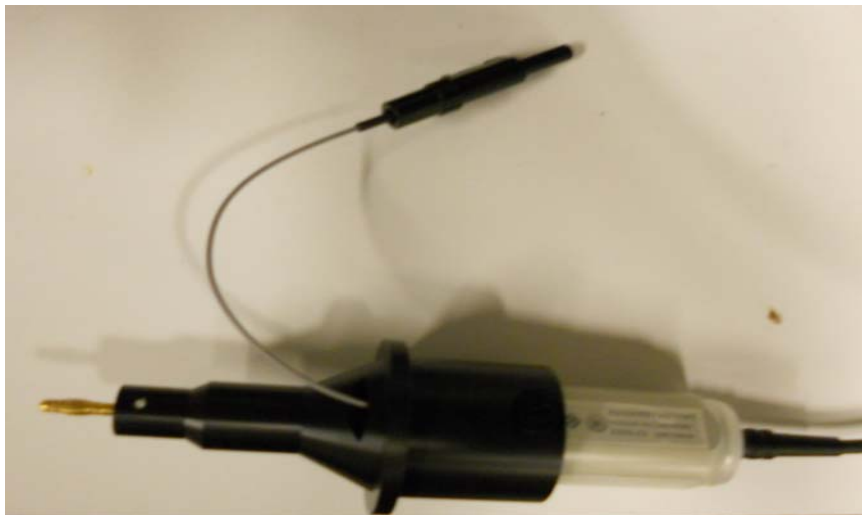
Kuva 14. Spektrianalysaattori

Kuvien (14) ja (15) spektrianalysaattori kykenee mittaamaan taajuudet 9 kHz...3 GHz:iin. Laite soveltuu hyvin taajuuskaistan (A) 3...95 kHz:n mittauksiin, jota PLC-signaali käyttää. EHELON-mittarin taajuusalue n. 76...86 kHz. Analysaattoria voidaan ohjata näyttöpaneelin sijaan myös tietokoneelta käsin. [7.]



Kuva 15. Spektrianalysointilaitte

Kuvan 16 RF (Radio Frequency) -jännitemittapää kykenee mittaamaan 10 kHz:sta...30 MHz:n taajuuksia. PLC-signaalin häiriöistä suuri osa on johtuvia häiriöitä, jotka syntyvät sähköverkon johdoissa. RF-mittapää yhdessä spektrianalysointilaitteen kanssa soveltuu johtuvien häiriöiden mittaamiseen.



Kuva 16. RF-jännitemittapää

Häiriöitä on olemassa kahdenlaisia; johtuvia häiriöitä, joita suurin osa on ja säteileviä häiriöitä, joita voidaan mitata yhdessä spektrianalysaattorin kanssa kuvan 17 LOOP-antennilla.



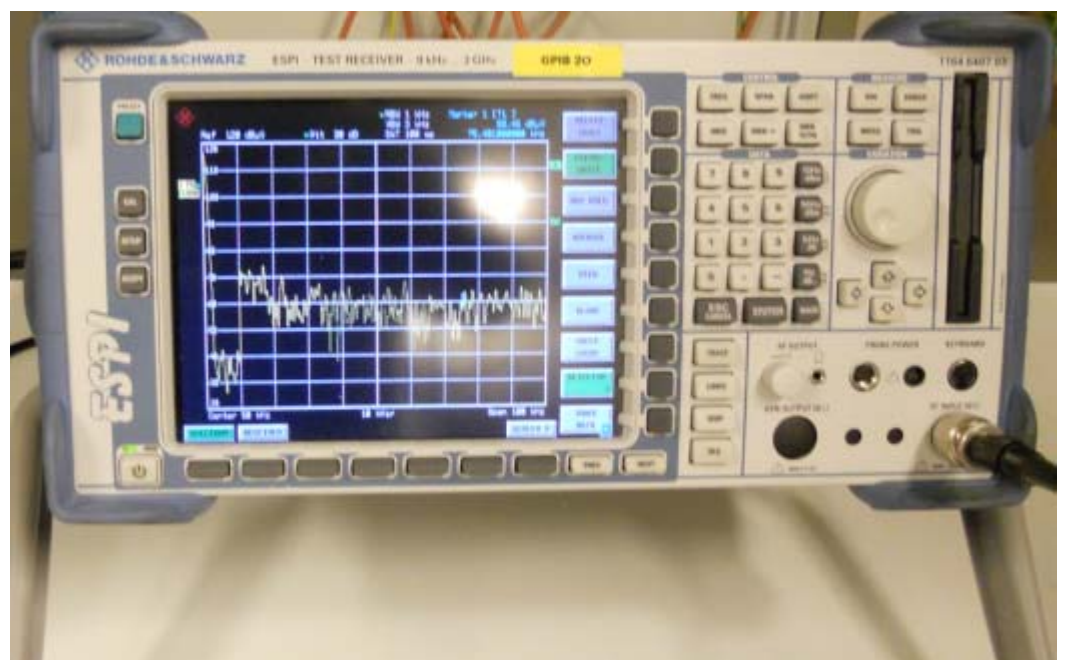
Kuva 17. LOOP-antenni

Aktiivinen LOOP-antenni EMCO-6502 kykenee mittaamaan taajuusalueella 10 kHz...30 MHz. LOOP-antenni mittaa ympäristön sähkömagneettista voimakkuutta.



Kuva 18. Antennin kytkentäpisteet

Kuvassa 19 nähdään taustakohinan aiheuttama signaalitaso, joka on mitattu ympäristöstä.



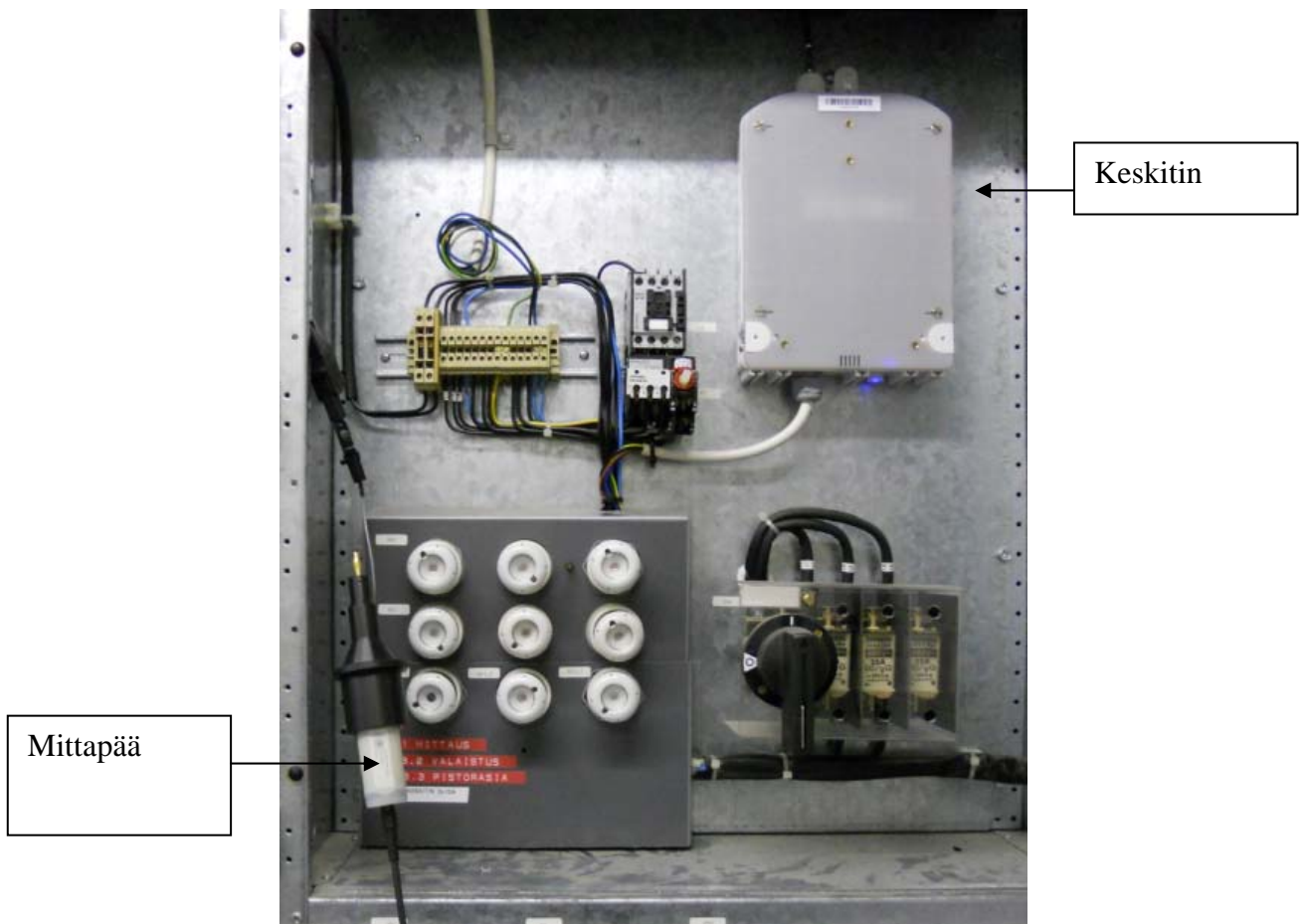
Kuva 19. Spektrianalysaattori

6 JÄRVENPÄÄN PILOTTIMITTAUKSET

Pilottialueella keskitytään mittauksiin, jotka tehdään muutaman muuntamon luona (Puisto- ja kiinteistömuuntamoita) sekä yhdessä mittarikohteessa (monimittarikeskus). Mittaukset tehdään mittarin tai keskittimen liitäntäterminaalista tai mahdollisimman läheltä niitä. Signaali/kohinasuhde on verkossa niin paikallinen suure, varsinkin, jos häiriöitä on niin paljon, että jokainen keskitin, ja mittari on enemmän tai vähemmän yksilöllinen. Pilottialueelta pyritään löytämään mahdollisia ongelma-alueita, joissa luenta ei toimi, tai signaali/kohinasuhde on mittarin oman indikaattorin mukaan huono.

6.1 Pilottialueen mittaukset

AMM-projektin pilottialue sijaitsee Järvenpäässä, jossa vaihdetaan 6 300 AMM-mittaria. Pilottialueen mittauksilla on tarkoitus paikallistaa mahdolliset häiriöt ja niiden syntyperä. Järvenpäästä valittiin alueet, joissa on havaittu kuuluvuusongelmia.



Kuva 20. Tammelankadun muuntamokeskus Järvenpäässä

Tammelankadun puistomuuntamolta (kuva 20) mitataan johtuvia ja säteileviä häiriöitä vaiheista L1, L2 ja L3. Mittaukset suoritetaan RF-mittapäällä yhdessä Rohde & Schwartz ESPI-3 spektrianalysaattorin kanssa. Mittapää on maadoitettava asettamalla maadoitusjohdin runkoon.



Kuva 21. Tammelankadun monimittarikeskus Järvenpäässä

Kuvassa 21 mitataan johtuvia häiriöitä ensimmäisestä vaiheesta L1. Osalla Tammelankadun monimittarikeskuksen mittareissa kuuluvuus (PLC-signaali vaimenee liikaa) on heikko, ja tästä syystä kaikkien mittareiden lukemaa ei kyetä saamaan samaan aikaan. Kuvassa 22 on esitettyä Tammelankadun monimittarikeskus ja muuntamo. Vihreä, sininen ja punainen katkoviiva kuvaa maakaapelin osuutta, ja yhtenäinen viiva ilmajohtoverkkoa. Vihreä kuvaa pienjännitettä, sininen keskijännitettä ja punainen suurjännitettä (Ks. seur. s.)

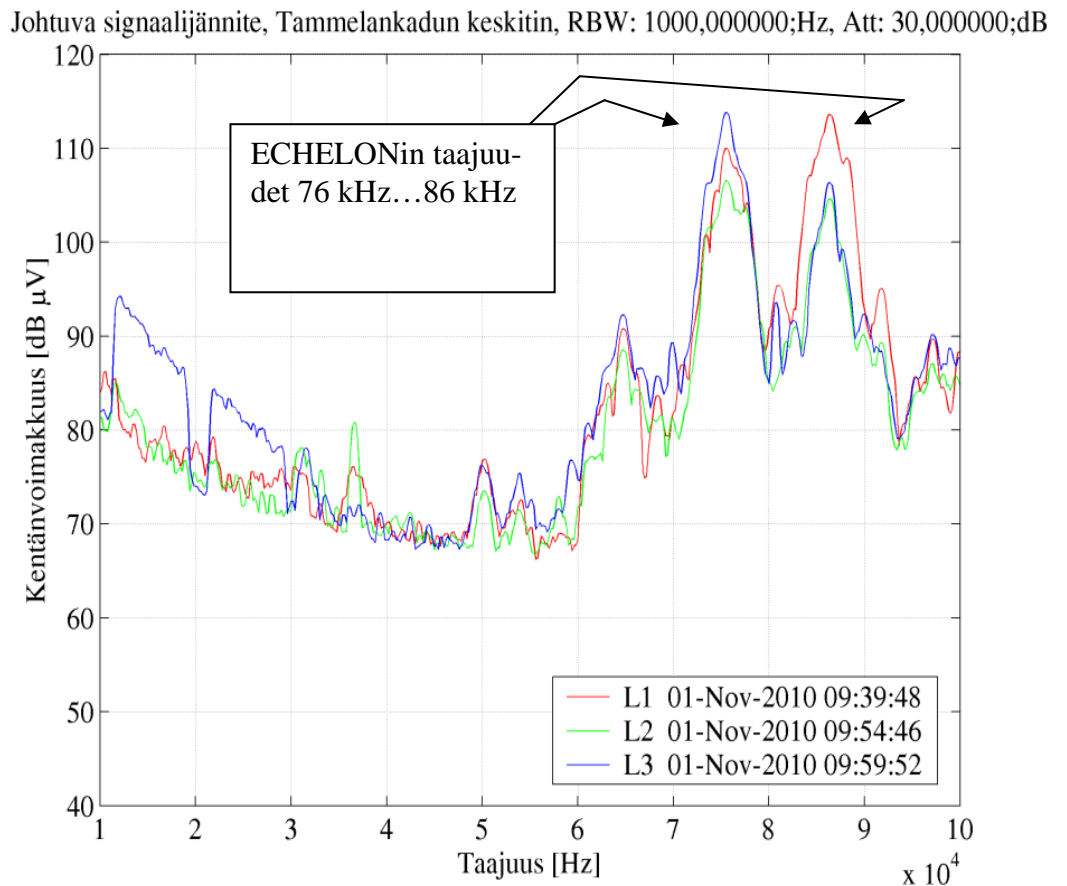


Kuva 22. Verkon topologiakuva Tammelankadulta

6.1.1 Tammelankadun pilottimittaukset Järvenpäässä

Yhteenvetokuvat 23 ja 24 on tehty Matlab-ohjelmalla. Kuvissa 23 ja 24 näkyy vaiheiden L1, L2 ja L3 johtuvien signaalijännitteiden 0 kHz:sta...100 kHz:iin spektrianalysaattorin mittaustuloksia Tammelankadun MMK:lta (monimittarikeskus). Kuvassa 24 on spektrianalysaattorin kuvaa PLC-signaalista, joka havainnollistaa signaalin vaimenemisen verkossa. [7.]

Mittauksien ajankohta sijoittui aamupäivälle, jolloin suuri osa asiakkaista ei ole kotona, eikä näin ollen elektronisia kuormia ollut paljon päällä. Tästä johtuen PLC-signaalia häiritseviä tekijöitä ei pystytä paikantamaan niin hyvin. PLC-signaalin kannalta vaimeneminen osoittautui ainoaksi ongelmaksi monimittarikeskuksessa.



Kuva 23. Tammelankadun keskitin

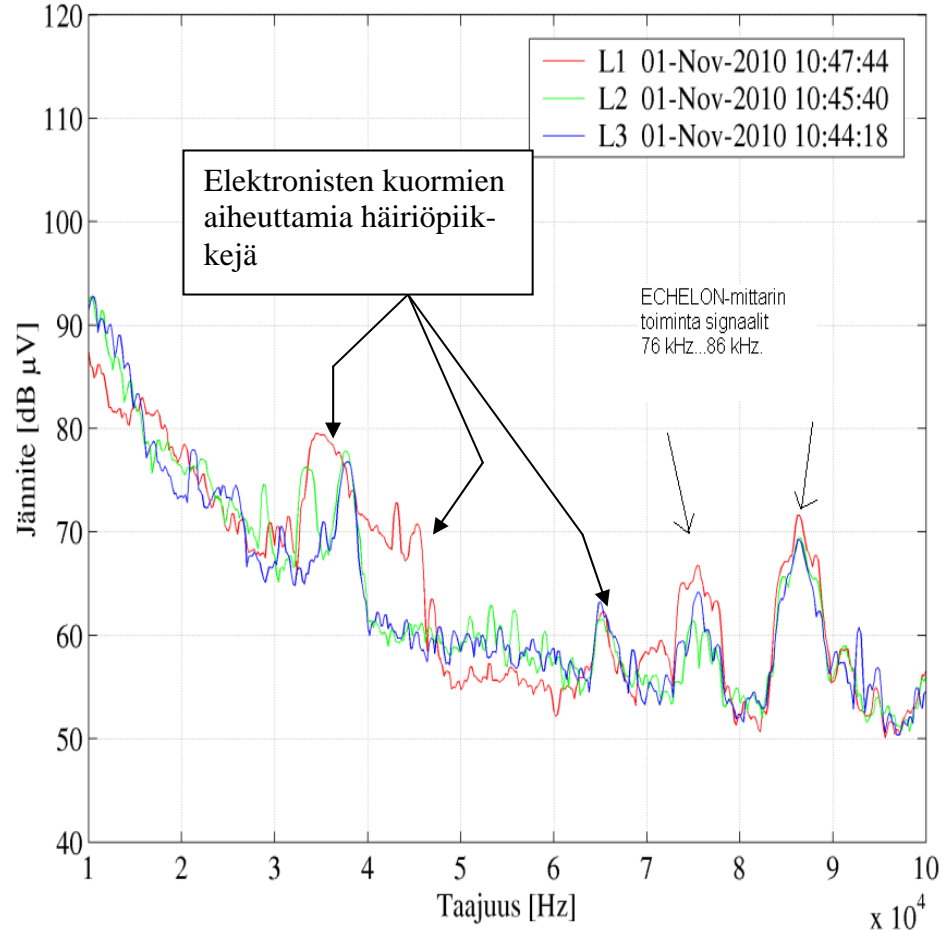
Kuvassa 23 on mitattuja arvoja Tammelankadun keskittimeltä. ECHELON-mittarin toimintataajuuksilla 76 kHz...86 kHz. Signaalijännitteen taso on hyvä, koska se ei ole juurikaan vaimentunut. Verrattaessa kuvien 23 ja 24 signaalijännitetasoja huomataan sen vaimenneen paljon monimittarikeskuksessa (kuva 24).

Monimittarikeskuksen ja muuntamon välinen matka on arviolta n. 50 m, eikä sen pitäisi vaikuttaa signaalin laatuun oleellisesti, mutta silti monimittarikeskuksessa signaalijännite on vaimentunut yli 40 dBμV, mikä vaikeuttaa mittarien ja keskittimen välistä kommunikaatiota.

Vaimeneminen johtuu mahdollisesti liiallisen kaapelipituuden takia muuntamon ja monimittarikeskuksen välillä. Kaapeli ei siis kulje suoraan linnuntietä muuntamolta MMK:lle vaan kiertää n. 180 metrin lenkin, jonka vuoksi signaali pääsee vaimenemaan. (Ks. kuva 22.)

Toisena syynä voi olla, että mittareissa on eroavaisuuksia vastaanottimesa/lähettimessä, jotka mahdollisesti eivät tunnista PLC-signaalia niin hyvin kuin toiset mittarit, ja siten estävät lukemien keruun.

Johtuva signaalijännite, Tammelankadun MMK, RBW: 1000,000000;Hz, Att: 10,000000;dB

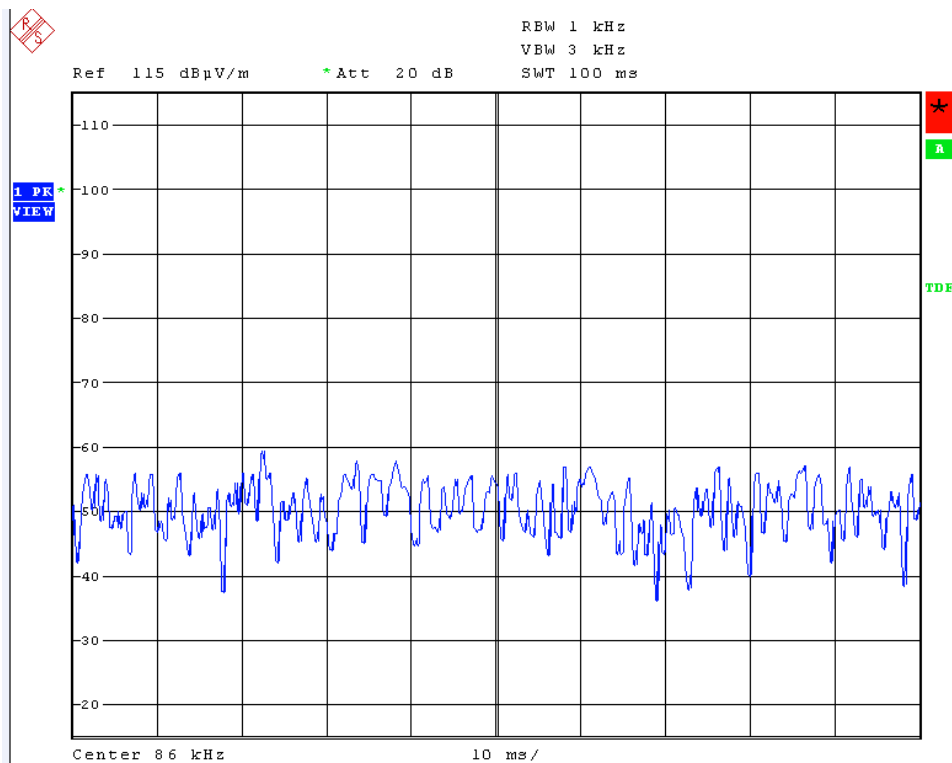


Kuva 24. Tammelankadun monimittarikeskuksen spektrianalysaattori kuva

ECHELONin toimintataajuudet ovat 76 kHz ja 86 kHz. Ensisijainen lähetystaajuus tapahtuu 86 kHz:lla ja toissijainen lähetystaajuus 76 kHz:lla. Monimittarikeskuksen mittauksissa signaali vaimenee 76 kHz:n taajuudella alle $70 \text{ dB}\mu\text{V}$. Signaalin voimakkuus on melko heikko mittarin toimintataajuuksilla 76 kHz ja 86 kHz. Lukemien keruussa syntyy ongelmia, kun PLC-signaali vaimenee liikaa.

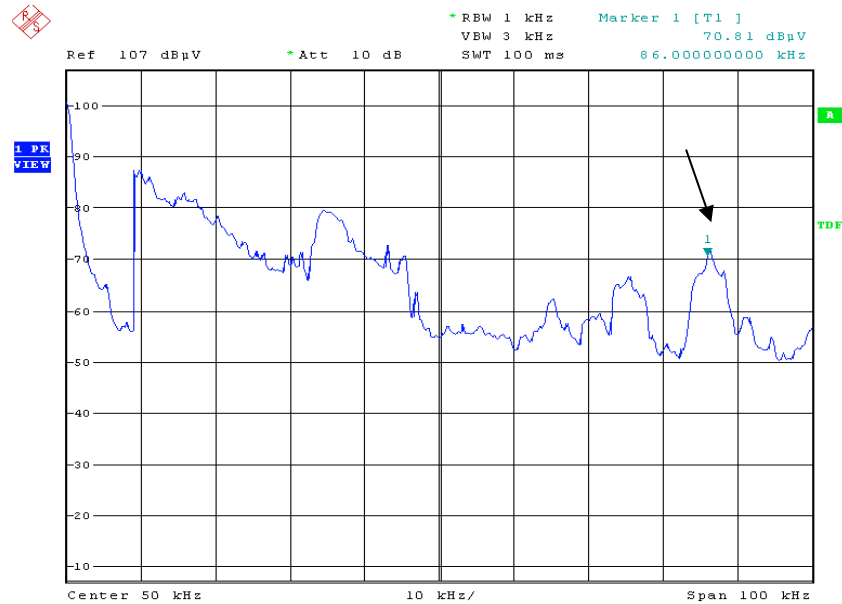
Kuvasta 24 huomataan alemmilla taajuuksilla esim. 30 kHz:sta...50 kHz:iin häiriötasoja, jotka ovat syntyneet erilaisten kuormien aiheuttamista häiriöistä, kuten tietokoneiden hakkuriteholähteet ja muut elektroniset kuormat, jotka eivät kumminkaan häirinneet PLC-signaalia taajuvälillä 76 kHz...86 kHz.

Kuvassa 25 on esiteltyä Tammelankadun monimittarikeskuksen kentänvoimakkuuksia. Spektrianalysaattorin keskusta on 86 kHz:n kohdalla. Säteilevien häiriöiden kentänvoimakkuudet pysyvät sallitulla alueella eivätkä näin ollen ylitä saksalaisen NB 30 -normin rajoja. (Ks. kuva 2.)



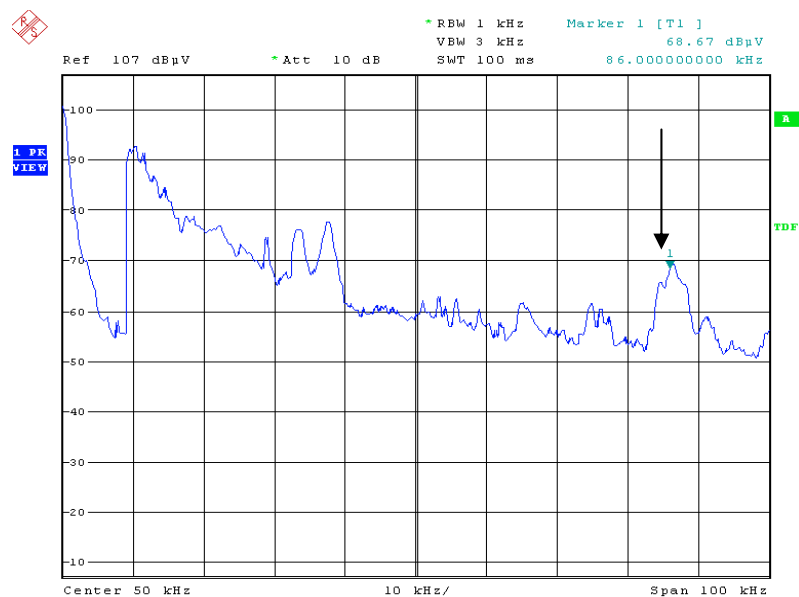
Kuva 25. Säteilevät häiriöt

Kuvissa 26 ja 27 on Tammelankadulla vaiheen L1 ja L2 lisämittaukset. Pienemmällä vaimenninasetuksella 10 db saadaan aikaiseksi parempi herkkyys ja samalla tarkemmat mittaustulokset.



Kuva 26. Tammelankadun vaiheen L1-mittaus

Spektrianalysoijan kuvaajan vihreästä ykkösestä nähdään ECHELONin lähetystaajuus 86 kHz. Alemmilla taajuuksilla olevat häiriötasot ovat todennäköisesti hakkuriteholähteiden ja muiden elektronisten kuormien aiheuttamia häiriötasoja, jotka eivät kumminkaan häiritse PLC-signaalia kyseisellä hetkellä.



Kuva 27. Tammelankadun vaiheen L2-mittaus

6.1.2 Leimupuiston pilottimittaukset Järvenpäässä

Pilottialueen toinen muuntamokohde sijaitsee Järvenpään Leimupuistossa. Leimupuiston puistomuuntamolta mitataan johtuvia ja säteileviä häiriöitä vaiheista L1, L2 ja L3. Mittaukset suoritetaan RF-mittapäällä yhdessä Rohde & Schwartz ESPI-3 -spektrianalysaattorin kanssa.

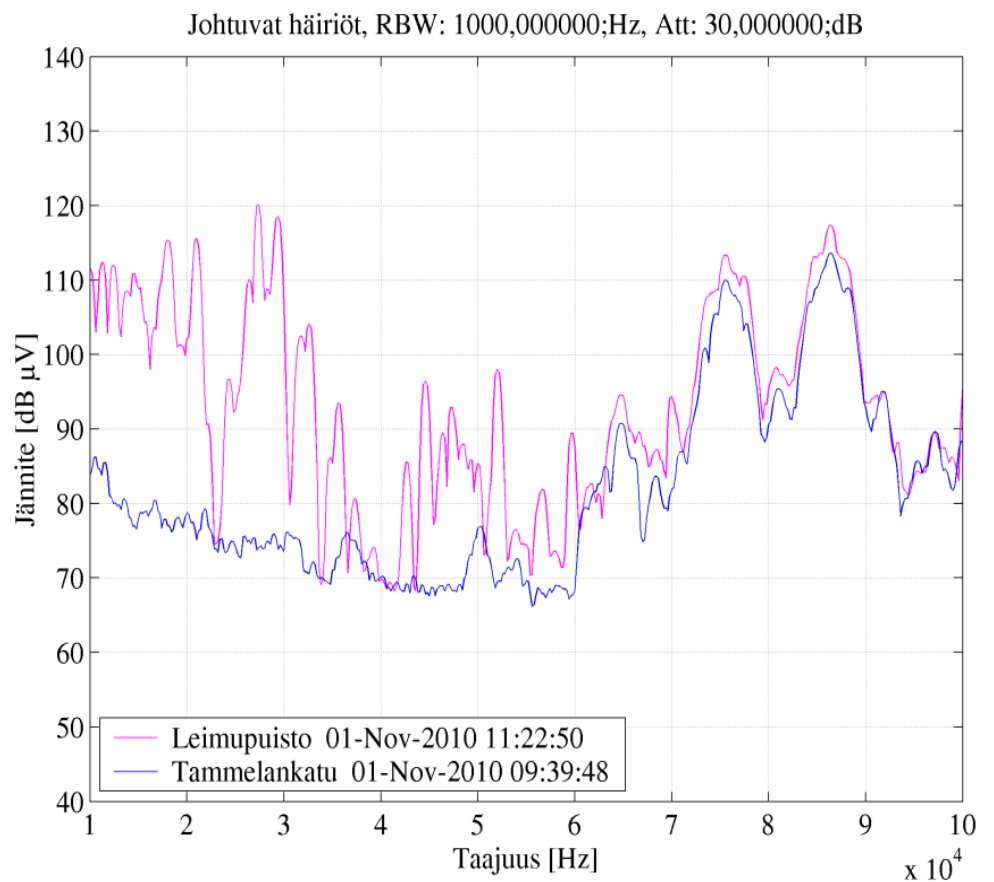


Kuva 28. Leimupuiston muuntamomittaukset Järvenpäässä

Kuvassa 29 on yhteenveto Leimupuiston ja Tammelankadun johtuvista häiriöistä. Mittaukset on suoritettu muuntamolta keskittimen luota. Kuvasta nähdään molemmissa kohteissa ECHELON-mittarin toimintataajuuDET 76 kHz ja 86 kHz.

Leimupuiston muuntopiirissä häiriötaso on selvästi korkeampi alemmilla taajuuksilla 10 kHz...60 kHz verrattuna Tammelankatuun. Leimupuiston alueella elektronisten kuormien määrä on suurempi kuin Tammelankadun alueella. Häiriöpiikkejä aiheuttavat mm. hakkuriteholähteet, taajuusmuuttajat, ja elektroniset kuormat. Kummassakaan tilanteessa elektronisten kuormien aiheuttamat häiriöpiikit eivät aiheuttaneet ongelmia PLC-signaalin kannalta.

PLC-signaalin signaalijännitearvo on hyvä, koska mittaukset on suoritettu keskittimen vierestä, missä signaali ei juuri pääse vaimenemaan. Vaimeneminen tapahtuu yleensä mittarin ja keskittimen välisellä matkalla, kun sähköverkko haarautuu. Vaimenemiseen vaikuttaa mm. kaapelien pituudet muuntamon ja mittarin välillä. Muutamassa Tammelankadun monimittarikeskuksen mittarissa havaittiin PLC-signaalin vaimenemista. Kyseisten mittareiden signaalijännitearvot olivat n. $70 \text{ dB}\mu\text{V}$, kun vastaava suure keskittimellä n. $110\text{--}118 \text{ dB}\mu\text{V}$.



Kuva 29. Tammelankadun ja Leimupuiston Johtuvat häiriöt

6.2 Häiriöiden vaikutus mittariluentaan

Pilottialueen mittauksissa häiriötasot eivät haitanneet PLC-signaalin kulkua. Mahdollisesti tilanne olisi aivan toinen, jos mittaukset olisi suoritettu myöhemmin asiakkaiden ollessa kotona. Tällöin verkon kuormitus kasvaisi oleellisesti.

Mittariluentaan eli PLC-signaaliin vaikuttaa oleellisesti sähköverkon rakenne, kaapelipituudet ja kaapeleiden puutteellinen suojaus ulkoisilta häiriöiltä, elektroniset kuormat, taajuusmuuttajat, hakkuriteholähteet, jotka voivat sotkea PLC-signaalin kulun osittain tai kokonaan. Yleisin syy lienee signaalin vaimeneminen tai signaali/kohinasuhteen kasvaessa siten, että hyötysignaali jää kohinan taustalle, eikä mittari pysty tunnistamaan hyötysignaalia eikä kykene toimimaan toistimena signaalin kannalta. Tästä seuraa kommunikointikatkos, ja mittarilta ei saada tällöin kerättyä lukemia.

6.3 PLC-signaalin vaikutus asiakkaan laitteistoihin

PLC-signaali saattaa vaikuttaa asiakkaiden erilaisiin kuormanohjausjärjestelmiin, esim. lämmityksen ohjaukseen. Myös valot voivat kytkeytyä itsestään päälle PLC-signaalin johdosta. Vaarallisia tilanteita voi syntyä, jos kuormanohjaukset menevät päälle tilanteissa kuten saunan kiukaan kytkeytyminen.

Pienloistelamppujen häiriöiden ongelma verkossa, koska pienloistelampuilta ei edellytetä EMC-suojausta, ja näin ollen häiriö saattaa vaikuttaa erilaisten kuormien toimintaan. Ongelma saataisiin poistettua passiivisella kokoaaltotasasuuntaajalla. [7.]

Järvenpään pilottialueen mittauksissa Leimupuistossa ja Tammelankadulla ei havaittu asiakkaan laitteisiin kohdistuvia häiriöitä. Sen sijaan pilottialueella havaittiin kaksi häiriötapausta, jossa ensimmäisessä tapauksessa asiakkaan sisäinen puhelinjärjestelmä häiriintyy mahdollisesti PLC-signaalista. Toisessa tapauksessa Järvenpään pumppaamon tiedonsiirto häiriintyy ja aiheuttaa virheellistä sanomaa matkan varrella.

6.3.1 Järvenpään sisäpuhelinjärjestelmä

Asiakkaan mukaan laitteistoa käytettäessä taustalta kuuluu *potpottava* ääni, mikä suurenee koko ajan mittareiden yleistyessä. Laitteisto on ostettu n. 5 vuotta sitten, eikä laitteistolla ole välttämättä minkäänlaista häiriösuojausta, tai jos on, se on heikko.

Asiakkaan sisäpuhelinjärjestelmä toimii kahdella eri taajuudella 100 kHz tai 120 kHz. ECHELON-mittari kommunikoi taajuuksilla 76...86 kHz, joten mittarin ei pitäisi vaikuttaa asiakkaan laitteiston toimintaan.

On kumminkin mahdollista, että ECHELON-mittarit häiritsevät sisäpuhelinlaitteistoa, vaikka ne toimivat eri taajuuksilla. Sisäpuhelimien vastaanotin ei välttämättä ole kovin selektiivinen, eli se voi häiriintyä muistakin kuin toiminta-taajuudellaan esiintyvistä häiriöistä. Toinen mahdollinen syy on se, että ECHELON-mittarin lähete ei rajoitu pelkästään kahdelle hyötysignaalin kanto-taajuudelle (76 ja 86 kHz) vaan lisäksi syntyy jonkin verran harmonisia yliaaltoja, eli edellä mainittujen taajuuksien monikertoja, ja myös laajakaistaisempia häiriöitä, jotka voivat häiritä laitteita.

Häiriöriski on suuri erityisesti, jos laitteiden vastaanottimet eivät ole riittävän selektiivisiä, tai jos vastaanottimen taajuus osuu PLC:n hyöty- tai häiriösignaalien taajuuksille. ECHELON-mittarit toimivat toistimina, joten mitä lähemmäs häiriintyvää asiakasta uusia mittareita tulee, sitä suuremmaksi nousee PLC-signaalien ja häiriöiden tasot.

Sisäpuhelinjärjestelmässä kannattaa valita mahdollisimman kaukana oleva taajuus PLC-taajuuksista (jos mahdollista) olettaen, että se ei osu PLC:n harmonisille tai muille häiriötaajuuksille. PLC-signaalitasot ovat eri vaiheissa todennäköisesti likimain yhtä suuret, joten sisäpuhelinlaitteiston kytkeminen eri vaiheelle tuskin auttaa ja on myös todennäköisesti hankala toteuttaa. [7.]

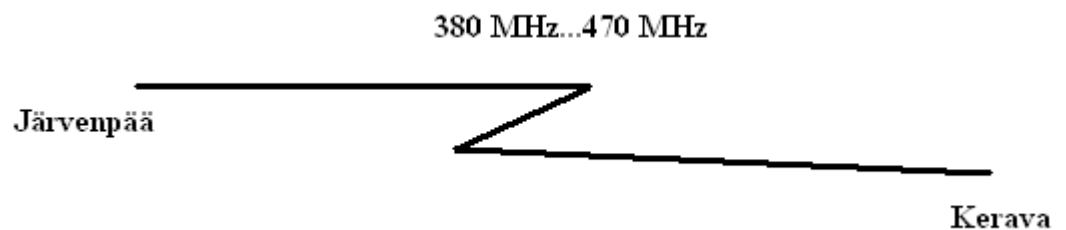
Lopputulos on se, että Fortum asentaa asiakkaan tiloihin suotimet. Kuvan 30 suodin tilattiin kyseiseen kohteeseen. Suodin on 3-vaiheinen, ja siinä on myös nollajohtimen suodatus. Suotimen tehtävänä on suodattaa sisäpuhelinjärjestelmän kannalta epäedulliset taajuudet pois.



Kuva 30. 3-vaiheinen EMC-suodin

6.3.2 Järvenpään pumppaamo

Toisessa tapauksessa esiintyi ongelmia kaukovalvonnan ala-aseman kanssa. Mahdollisesti PLC-signaali/tai keskittimen 3G-verkon ilmaitse välittyvä tiedonsiirto häiritsee pumppaamon viestiliikennettä. Radiomodeemi on Suomalaisen Satel Oy:n valmistama laite, joka operoi taajuuksilla 380...470 MHz. Modeemi siirtää viestit viestijohtimessa antenniin ja siitä radioviestinä Keravalle.



Kuva 31. Järvenpään ja Keravan välinen kommunikointi ilmaitse

PLC-signaali voi häiritä viestijohtimessa tapahtuvaa tiedonsiirtoa johtumalla tai säteilemällä. Häiriöiden siirtyessä viestijohtimeen tiedonlaatu kärsii ja pumppaamolta lähtevä data on virheellistä, joka ilmenee siten, että kaukovalvonnalle menee virhesanomaa pumppaamon toiminnasta, vaikka todellisuudessa kaikki olisikin kunnossa.

Ongelmaa on selvitelty laitevalmistajan kanssa. Radiomodeemyhteyttä on testattu ja mitattu Keravan ja Järvenpää väliltä, jonka jälkeen modeemi ja logiikka vaihdettiin. Modeemin ja logiikan vaihdosta ei ollut hyötyä häiriön eliminoinnissa. Seuraavaksi radiomodeemin valmistaja lainasi suodatinta (kaistanpäästösuodin) asiakkaalle. Suodin asennettiin 3.1.2011 Järvenpään ala-aseman luo. Myöhemmin todettiin, että radiomodeemisuotimesta ei ollut hyötyä tässä tapauksessa. Suotimien asennus radiomodeemin syötön jälkeen voisi eliminoida haitalliset häiriöt laitteiston toiminnan kannalta.

Järvenpään pumppaamon viestiliikenteen häiriöt ovat kumminkin niin satunnaisia, joskus vain kerran viikossa, että PLC-signaalilla ei pitäisi olla tekemistä asian kanssa, tai jos on, niin se ei johdu pelkästään PLC:stä. Keskitin kommunikoi mittareiden kanssa koko ajan, joten häiriönkin pitäisi olla näin ollen jatkuvaa.

31.1.2011 viestiyhteydet olivat aamulla huonot. Asiakas avasi kaukovalvonnan ala-asemakaapin ja löysäsi/kiristi tiedonsiirron tuloliitintä. Viestin laatu parani liitoksen löysäys/kiristys toimenpiteen jälkeen tasolta n. 20 % tasolle n. 80 %. Liittimet ovat herkkiä lämpötilamuutoksille. Huonot liittimet/liitokset aiheuttavat resistanssissa vaihtelua sekä synnyttävät erilaisia jännitteitä, jotka puolestaan johtavat tiedonsiirtolaadun heikkenemiseen. Tapausta seurataan vielä yhteistyössä asiakkaan ja laitevalmistajan kanssa.

7 HÄIRIÖIDEN KOMPENSOINTI

Häiriöiden eliminointia suunniteltaessa on tarpeellista pohtia, mitkä laitteet aiheuttavat häiriötä ja miten paljon. Häiriötä pystytään mittaamaan spektrianalysaattorilla (ks. 5.2). Yleisiä häiriölähteitä ovat hakkuriteholähteet, taajuusmuuttajat ja elektroniset kuormat.

7.1 EMC-suojaus

Sähkölaitteelta edellytetään moitteetonta toimintaa muiden laitteiden kanssa sille tarkoitettuun toimintaympäristössä. Samaan käyttöympäristöön tarkoitettujen laitteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus takaa häiriöttömän toiminnan, mutta valitettavasti asia ei ole näin helppo PLC-signaalia ajateltaessa, mikä johtuu puutteellisesta standardoinnista.

Ideaalisen sähkölaitteen tulisi sietää kaikenlainen ulkopuolinen häiriö, ja se ei saisi lähettää kohtuuttoman paljon häiriötä ympäristöön. Laitteiden toimivuuden kannalta asunto- ja teollisuusympäristöön on määritelty erilaiset häiriötasot. Kaikki laitteet on periaatteessa mahdollista tehdä yhteensopiviksi kussakin käyttöympäristössä, kun pidetään mielessä kaksi asiaa:

1. Mikään laitteista ei aiheuta sovittua tasoa suurempia häiriöitä.
2. Kaikkien laitteiden tulee sietää sovitun tasoiset häiriöt.

Laitteen kaikki sähkömagneettiset ilmiöt, jotka eivät ole sen hyötykäyttöön tarkoitettuja, ovat laitteen ympäristöön päästämiä häiriöitä. Häiriöt siirtyvät laitteesta toiseen joko johtimia pitkin (johtuvat häiriöt) tai säteilemällä (säteilevät häiriöt).

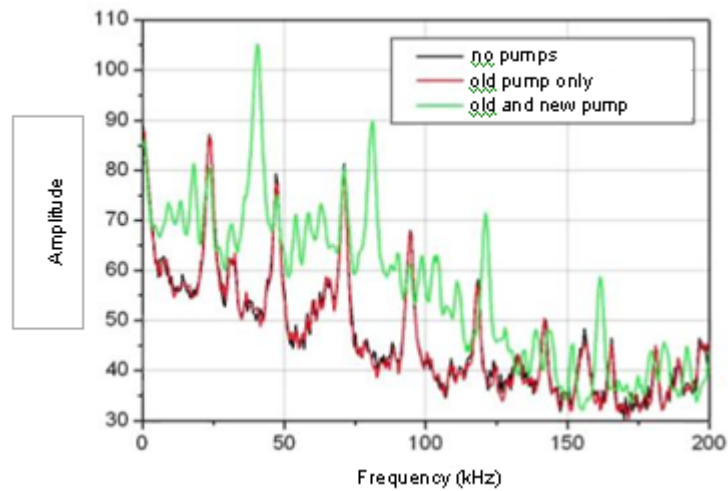
Laitteiden aiheuttama häiriötaso voi ilmetä esim. valojen välkkymisenä, televisiokuvan säröilyinä ja ruudussa esiintyvinä raitoina, radion rätinä sekä tietokoneen virhetoiminnot ovat usein laitteiden aiheuttamia häiriöitä, ja nämä samat häiriötilanteet ovat myös haitallisia sähköverkossa tapahtuvan tiedonsiirron kannalta. [19.]

EMC:llä tarkoitetaan sähkömagneettista yhteensopivuutta, jolla on pyritty standardoimaan laitteiden toiminta toistensa läheisyydessä. Standardoinnissa on pyritty asettamaan rajoja laitteiden häiriönsietoa ja niiden aiheuttamaa häiriötasoa. Tällä pyritään saamaan aikaan EMC-yhteensopivia laitteita valmistajien kesken. Puutteellinen standardointi PLC-taajuuksilla 3...148,5 kHz hankaloittaa yhteensopivuuden mahdollisuuden, eikä näin ollen häiriöiltä vältyä. Häiriöt vaikeuttavat datasähkön siirtonopeutta tai pahimmillaan estävät sen käytön PLC-signaalin jäädessä taustakohinan peittoon. [3, s. 27.]

Sähkömagneettisen yhteensopivuuden nimissä on huomioitava, että ongelma voi kasvaa oleellisesti laitteiden koon pienentyessä ja niiden toimiessa yhä korkeammilla taajuuksilla. Suurnopeuksiset kytkentälogiikat lisäävät häiriöpäästöjä samalla, kun matalat käyttöjännitteet ja virrat piirien pakkaustiheyden yhä kasvaessa vähentävät häiriönsietoa.

Laitteissa on useita aktiivisia häiriölähteitä, joiden määrä, luonne ja keskinäinen vaikutus vaihtelevat. Tästä syystä laitteesta tuleva säteilymekanismi on monimutkainen. [20, s. 55–56.]

Kuvassa 32 pumppujen välinen vertailu, jossa tarkastellaan vanhan ja uuden pumpun häiriötasoja. [18, s. 11–12.]



Kuva 32. Häiriötaso vanhalla ja uudella pumpulla [18, s. 12]

Vanha pumppu, joka toimi vakionopeudella on vaihdettu uuteen nopeussäätöiseen pumppuun asiaankuuluvan hallinjärjestelmän kanssa. Häiriötasojen eroavaisuus on huomiota herättävä vanhan ja uuden sovelluksen välillä.

Vanha pumppu ei näytä lisäävän häiriötasoa, mutta uuden pumpun kytkintaajuus on n. 41 kHz, ja sen harmoniset yliaallot näkyvät erittäin selkeästi. Tätä ongelmaa voidaan pitää tyypillisenä useissa häiriötapauksissa, joita esiintyy sähköverkkotiedonsiirrossa. Vanhat analogiset komponentit on vaihdettu uusiin sähköohjattuihin komponentteihin, jotka tuottavat varsin erilais- ta säteilyä kuin vanhat komponentit. [18, s. 11–12.]

7.2 Esimerkkejä sähkömagneettisista ilmiöistä

Laitteiden tulisi sietää häiriöitä, ja niiden tulisi pystyä estämään häiriöiden vuotaminen verkkoon, jotta laitteiden toiminta saataisiin taattua. Suojausmenetelmiä on, mutta nekään eivät ole ideaalisia. Taulukoissa 1–4 on esitelty esimerkkejä sähkömagneettisista ilmiöistä niin häiriöpäästöjen kuin häiriösietojen mukaan.

Nämä ovat hyvä peruskohta myös PLC:hen liittyviin EMC-tarkasteluihin. Taulukoita katsellessa kannattaa ajatella niitä laitteen kannalta, että miten PLC vaikuttaa niihin.

Taulukko 1. Johtuvia ilmiöitä pientaajuuksilla [20, s. 56–57; 21, s. 53]

Johtuvat pientaajuiset ilmiöt	
Häiriöpäästö	Häiriönsieto
<p>Harmoniset yliaallot ja jännitteen vaihtelut verkkoliitännän laitteesta, joka on tarkoitettu liitettäväksi suoraan yleiseen pienjänniteverkkoon.</p>	<p><i>1) Harmoniset yliaallot verkkoliitännässä</i></p> <p>Kyseinen ilmiö voi olla merkityksellinen herkille vaihtovirran nollakytkenäperiaatteella toimiville laitteille tai erityisille harmonisille komponenteille.</p> <p><i>2) Signaalien summautuminen voimajohtimissa</i></p> <p>Summautuminen voi olla merkityksellistä herkille laitteille esim. vikavirtasuojalaitteille.</p> <p><i>3) Jännitteen vaihtelut verkkoliitännässä</i></p> <p>Jos amplitudin vaihtelu ylittää 10 prosenttia, mikä on erittäin harvinaista, voivat jotkin laitteet häiriintyä ja aiheuttaa häiriötä, joka on haitallista PLC-signaalin kannalta.</p>

EMC kattaa johtuvat ja säteilevät ilmiöt. Yleisesti ottaen EMC:n on katettava kolme seuraavaa näkökulmaa:

1. matalataajuinen häiriöpäästö sähköverkkoliitännässä (harmoniset, jännitteen vaihtelut) kaikille laitteille, jotka on tarkoitettu liitettäväksi yleiseen pienjänniteverkkoon
2. suurtaajuiseen häiriöpäästöön liittyvät asiat
3. häiriönsietoon liittyvät asiat.

Taulukko 2. Säteilevien pientaajuuskenttien ilmiöt [20, s. 57–58; 21, s. 54–55]

Säteilevien pientaajuuskenttien ilmiöt	
Häiriöpäästö	Häiriönsieto
Yleensä ei merkityksellistä	<p><i>a.) magneettikentät</i></p> <p>Magneettikentät ovat yleensä merkityksellisiä vain laitteille, jotka ovat herkkiä magneettikentille, esim. katodisädeputket ja erityislaitteet, jotka asennetaan ympäristöihin, joissa on suuri magneettikenttä.</p>

Johtuvat häiriöt ovat yleisemmin esiintyneitä häiriöitä kuin säteilemällä syntyneet häiriöt. Yleensä kaikki elektroniset laitteet aiheuttavat suurtaajuista häiriötä esim. taajuusmuuttajat.

Taulukko 3. Johtuvat suuritaajuiset ilmiöt [20, s. 58; 21, s. 55–56]

Johtuvat suuritaajuiset ilmiöt	
Häiriöpäästö	Häiriönsieto
<p>Häiriöpäästöt ovat yleensä merkityksellisiä useimmille elektronisille laitteille ja monille sähkölaitteille. Laitteet, jotka eivät sisällä lähettä, jotka aiheuttavat suurtaajuista häiriötä, ovat poikkeuksia.</p> <p>Seuraavat häiriötyypit tulisi ottaa huomioon:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) kapeakaistainen ja laajakaistainen jatkuva häiriö b) laajakaistainen jaksoittainen häiriö 	<p>a.) <i>indusoituneet jännitteet tai virrat</i></p> <p>Indusoituneet suurtaajuusjännitteet tai virrat ovat yleensä merkityksellisiä sähkölaitteille yksinkertaisimpia laitteita lukuun ottamatta.</p>

Sähkömagneettisten kenttien voimakkuuksia voidaan mitata LOOP-antennin avulla (ks. 5.2), joka mahdollistaa säteilevien häiriöiden mittaamisen yhdessä spektrianalysaattorin kanssa.

Taulukko 4. Säteilevien suurtaajuuskenttien ilmiöt [20, s. 59; 21, s. 56]

Säteilevien suurtaajuuskenttien ilmiöt	
Häiriöpäästö	Häiriönsieto
a.) magneettikentät b.) sähkökentät c.) sähkömagneettiset kentät 1.) jatkuvat aallot 2.) moduloidut aallot 3.) transientit Häiriöpäästöt ovat yleisesti merkityksellisiä useimmille elektronisille laitteille ja monille sähkölaitteille. Poikkeuksena voivat olla laitteet, jotka eivät sisällä mitään sellaista lähdettä, joka todennäköisesti aiheuttaisi suurtaajuisia häiriöitä. Yleensä magneettikentän ylärajana pidetään 30 MHz ja sähkömagneettisten kenttien alueena 30 MHz...1 000 MHz.	a.) magneettikentät b.) sähkökentät c.) sähkömagneettiset kentät 1.) jatkuvat aallot 2.) moduloidut aallot 3.) transientit Yleensä sähkömagneettisten kenttien häiriönsieto on merkityksellistä kaikille laitteille. Poikkeuksiin voivat kuulua ei-elektroniset laitteet.

8 PLC-OHJEET

PLC-ohjeiden avulla kartoitetaan häiriötekijöitä, jotka ovat haitallisia PLC-signaalin kannalta. Ohjeissa käsitellään myös häiriöiden eliminointia siinä määrin, kun se on mahdollista tällä hetkellä.

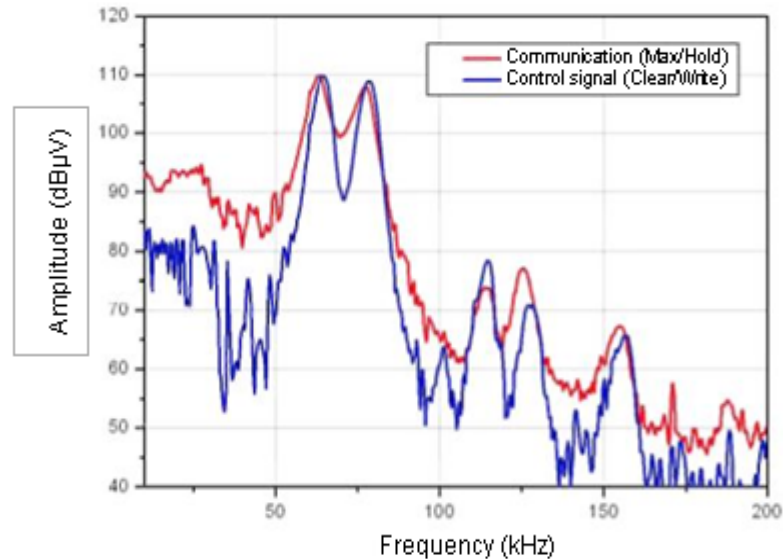
8.1 PLC-häiriöiden aiheuttajat

PLC-häiriöt paikannetaan spektrianalysaattorin ja muiden oheislaitteiden avulla (ks. 5.2). Häiriöt voivat aiheuttaa välkyntäongelmia, kuormanohjauksissa ongelmia, jolloin valot saattavat ohjautua päälle itsekseen, myös lämmityksenohjauksien kanssa voi tulla ongelmia. Asuntojen sisäjohto on ongelmallinen, koska johto on usein suojaamatonta ja näin ollen alttiina häiriöille. Verkossa on useita epäjatkuvuuskohtia, kuten kytkimiä, liitoksia, sulakkeita ja jatkoja, joten verkon impedanssi ei pysy vakiona suurilla taajuuksilla. Verkossa esiintyy lisäksi transienttihäiriöitä (bittivirheet), harmonista säröä ja taajuusvaihtelua.

Häiriöiden aiheuttajia ovat

- taajuusmuuttajat
- hakkuriteholähteet
- energiansäästölamput
- LED-teknologia
- elektroniset kuormat
- mahdollisesti kapasitiiviset kuormat
- suuritaajuinen kohina
- laitteet joilla pieni impedanssi
- UPS-laitteet
- invertterit
- himmentimet.

Harmoniset ja epäharmoniset jännitteen yliaallot aiheuttavat häiriöitä verkkoon. Harmoniset yliaallot summautuvat verkkotaajuuden päälle aiheuttaen lisähäviöitä laitteissa. Harmoniset yliaallot saavat alkunsa epälineaaristen kuormien johdosta, joiden ottama virta ei ole sinimuotoista. [16, s. 16.]



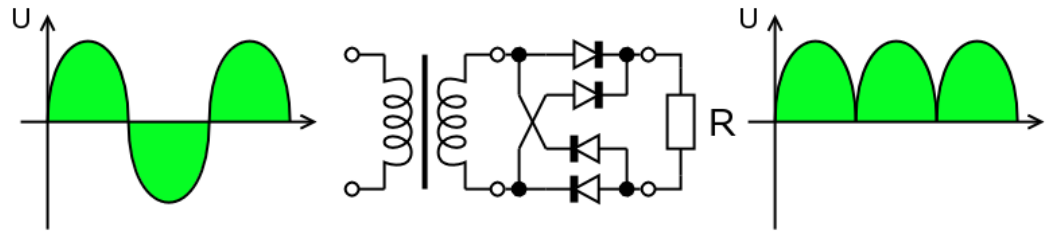
Kuva 32. Kommunikaatio signaali ja häiriösignaali [18, s. 43]

Kuvassa 32 on yhdistetty häiriösignaalit, jotka ovat samalla tasolla kommunikaatio signaalin kanssa amplitudin ollessa $108 \text{ dB}\mu\text{V}$ taajuudella 76 kHz, sekä $110 \text{ dB}\mu\text{V}$ 62 kHz:n kohdalla. Mittareiden lukemien keruussa voi esiintyä vakavia kommunikaatio-ongelmia signaali/kohinasuhteen huonontuessa niin, että hyötysignaali jää kohinan taustalle, jolloin lukemien keruu epäonnistuu.

8.2 PLC-häiriöiden eliminointi

Energiansäästölamput aiheuttavat yliaaltoja ja suuritaajuisia häiriöitä verkkoon. Häiriöt johtuvat lamppujen sisältämistä vaihto- ja tasasuuntaajista. Alle 25 W:n energiansäästölamppuissa ei ole minkäänlaista häiriösuojaa.

Ongelma saataisiin poistettua passiivisella kokoaaltotasasuuntaajalla (ks. kuva 33). Kokoaaltotasasuuntaaja koostuu neljästä diodista (diodisilta), jotka kytketään siten, että kuormaan siirtyvä jännite on positiivinen molemmilla siniaallon puoliskoilla. [15; 20.]



Kuva 33. Kokoaaltotasasuuntaus neljän diodin diodisillalla [22]

Elektronisten laitteiden laitevalmistajien EMC-suojaus on puutteellinen PLC:n kannalta, ja tällöin laitteiden aiheuttamat häiriöt häiritsevät PLC-signaalia. Laitteiden suotimet eivät ole ideaalisia ja näin ollen mahdollistavat häiriöiden säteilemisen verkkoon, joka häiritsee PLC-signaalia.

Kohteissa, joissa PLC-signaali häiriintyy niin paljon, että kommunikointi mittariin katkeaa, on keksittävä jokin muu vaihtoehto tiedonsiirtoon tai korvattava vanhoja komponentteja uusilla. Esimerkiksi saneerauskohteet, joissa rakennetaan ilmanvaihtoa, saattaa keskittimen vaihtaminen auttaa PLC-signaalin kuuluvuusongelmissa.

Vaikka suotimet eivät ole ideaalisia, joskus niistä voi olla apua. Esimerkiksi eräässä Kellokosken kohteessa taajuusmuuttajat häiritsivät PLC-signaalia niin, että lukemia ei saatu kerättyä. Ongelma saatiin ratkaistua suotimilla, jotka asennettiin asiakkaan tiloihin. [23, s. 1–2.]

Paikkoihin, joissa on ongelmia PLC-kuuluvuuden kanssa, on keksittävä muita vaihtoehtoja. Ongelma-alueita ilmaantuu esimerkiksi haja-asutusalueille, missä muuntamot ovat kaukana asutuksesta, ja signaali pääsee vaimenemaan kaapelimatkojen pidentyessä.

Sähköverkkorakenne on huono tiedonsiirron kannalta, koska johtimet ovat häiriöalttiita. Alle 150 kHz:n taajuuksille ei ole standardia. Standardoinnin puute on suurin syy laitteiden yhteensopivuuden kannalta, koska se ei velvoita laitevalmistajia parempaan häiriösuojaukseen. Tästä johtuen elektroniset laitteet ja PLC häiritsevät toinen toisiaan.

8.3 PLC-häiriöt ja niiden ratkaisut

Kaikki Järvenpään pilottialueen häiriötapaukset dokumentoidaan ja siirretään Fortumin tietokantaan. Häiriötapauksia selvitetään yhteistyössä asiakkaiden, laitevalmistajien ja tutkimuslaitosten kanssa, kuten Tampereen teknillisen yliopiston kanssa, sekä muiden PLC-tekniikkaa käyttävien sähkönsiirtoyhtiöiden kanssa.

9 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä oli tarkoituksena selvittää oleellisia häiriötekijöitä, jotka häiritsevät PLC-signaalin kommunikointia keskittimen ja mittarin välillä. Työssä keskityttiin teoriaan PLC:n kannalta, ja työssä käsiteltävän kohteen pilottialueen mittauksiin ja tulkintaan.

PLC:n kannalta selvitettiin sähköverkon soveltuvuutta sähköverkkotiedonsiirtoon sekä tehtiin käytännönläheisiä mittauksia Järvenpään pilottialueella. Sähköverkko on melko haasteellinen tiedonsiirtokanava, sillä sitä ei ole suunniteltu tiedonsiirtoon, ja näin ollen se on altis häiriöille.

PLC:n ongelmia toimivuuden kannalta asettaa standardointi, koska alle 150 kHz:n taajuuksille ei ole häiriösuojavaatimuksia. Tiedonsiirron kannalta PLC ei välttämättä ole paras vaihtoehto, mutta se on kustannustehokkain.

PLC on hyvä vaihtoehto tilanteissa, joissa monet mittarit ovat maan alla, missä kentän kuuluvuus on huono, tai sitä ei ole lainkaan. Suurimmat ongelmat PLC:n kannalta ovat häiriöt, viiveajat, standardointi ja PLC:n kannalta häiriösuojauksen puutteellisuus (EMC).

Tulevaisuuden kysymykset ovat edelleen avoimia PLC:n kannalta. Nykyään näyttää siltä, että sähköverkkotiedonsiirto soveltuisi vain mittareiden lukemiseen ja lukemien keruuseen. Älytalo-sovellukset vaativat häiriöttömämpää ympäristöä, eikä se ole mahdollista vielä, mutta häiriösuojauksen, viiveaikojen ja standardoinnin parantuessa se voi olla mahdollista tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- [1] Ahola, Jero. 2003. Applicability of Power Line Communications to Data Transfer of On-Line Condition Monitoring of Electrical Drives. <<http://urn.fi/URN:ISBN:951-764-831-6>>. Luettu 11.10.2010.
- [2] Wikipedia. < <http://fi.wikipedia.org/wiki/Datas%C3%A4hk%C3%B6>>. Luettu 15.10.2010.
- [3] Liikenne- ja viestintäministeriö. Datasähkö Suomessa 2004. <<http://mintc.fi/web/fi/julkaisu/view/820627> 6.10.2010>.
- [4] Kylliäinen, Simo. 2004. Datasähkö. Insinööriyö. Stadia Helsingin Ammatti-korkeakoulu. Saatavissa: Metropolian kirjasto / Bulevardi.
- [5] Dostert, Klaus. Powerline Communications. New Jersey, USA: Prentice Hall PTR. 2001.
- [6] Eklund, Heidi. 2005. Sähköjohtojen käyttö tietoliikenteeseen. Saatavissa: www.google.fi ; Sähköjohtojen käyttö tietoliikenteeseen. Luettu 18.10.2010.
- [7] Pakonen, Pertti TKT. Tampereen teknillinen yliopisto (haastattelu) 19.10.2010.
- [8] ECHELON Info requirements, Fortum Oyj.
- [9] NES-järjestelmän yleiskatsaus. Fortum Oyj.
- [10] IEC Electric Meter v3.1 User's Guide. Fortum Oyj.

- [11] Fortum etäluenta. Yhtiön sisäinen lähde. Fortum Oyj.
- [12] Älykkäät sähkömittarit -hankkeen koulutus. Yhtiön sisäinen lähde. Fortum Oyj.
- [13] Enermet integroitu E120L -mittari. Yhtiön sisäinen lähde. Fortum Oyj.
- [14] Hauta-Aho, Harri. Fortum Oyj.
- [15] Valtonen, Petri. 2009. Diplomityö, Interaktiivisen asiakasrajapinnan mahdollistamat energiatehokkuutta tukevat toiminnot ja niiden kannattavuus Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
<<http://www.doria.fi/handle/10024/46890>>.
- [16] Alanen, Raili ja Hätönen, Hannu. 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. <www.google.fi>.
- [17] Pakonen, Pertti TTY 2010. Energiansäästölamppujen verkostovaikutukset ja elektronisten kuormien ja mittarinluentajärjestelmien välinen yhteensopivuus. Yhtiön sisäinen lähde.
- [18] Signal transmission via the low-voltage power grid 2006. <<http://www.elforsk.se/>>. Luettu 20.11.2010.
- [19] Tukes, turvatekniikan keskus. <<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/EMC/>>. Luettu 22.11.2010.
- [20] Tukes, turvatekniikan keskus.
<http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ ja_hissit/ohjeet/EMC_dir10804_sovopas.pdf>. Luettu 11.12.2010.

- [21] Guide for the EMC Directive 2004/108/EC.
<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/files/emcguide_may2007_en.pdf>. Luettu 1.12.2010.
- [22] Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Tasasuuntaaja>>. Luettu 10.12.2010.
- [23] PLC-häiriöt 12.3.2010. Yhtiön sisäinen lähde. Fortum Oyj.

