



Teemu Pahkala

## **RAKENNUKSEN SÄHKÖVERKOSSA TAPAHTUVA TIEDONSIIRTO**

# **RAKENNUKSEN SÄHKÖVERKOSSA TAPAHTUVA TIEDONSIIRTO**

Teemu Pahkala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma, Tietoliikenne

---

Tekijä: Teemu Pahkala

Opinnäytetyön nimi: Rakennuksen sähköverkossa tapahtuva tiedonsiirto

Työn ohjaaja: Hannu Laakso

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012 Sivumäärä: 37 + 5 liitettä

---

Opinnäytetyö tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakouluun. Työssä oli tarkoitus selvittää tämän hetken PLC-tekniikoita, -standardeja sekä -laitevalmistajia ja testata Echelonin PLC-modeemien toimintaa erilaisissa ympäristöissä. Tarkoituksena oli saada tietoa laitteiden kantomatkasta ja toiminnasta erilaisissa sähköverkoissa sekä selvittää niiden mahdollista käyttöä rakennusten automaatisoinnissa.

Työssä selvitettiin nykyisiä PLC-standardeja, sekä PLC-sovelluksien mahdollisia käyttökohteita. Opinnäytetyötä varten tilattiin PLC-testaukseen ja kehitykseen tarkoitettua Echelonin laitteita. Echelonin PLC-laitteilla testattiin kantamaa ja toimintaa Oulun seudun ammattikorkeakoululla ja Oulun kaukovainiolla sijaitsevassa taloyhtiössä, Nuolihaukantiellä 1.

Echelonin PLC-modeemien kantama peitti koko Nuolihaukantiellä 1:n 7-kerroksisen kerrostalon, mukaan lukien autojen lämmityspaikat. Signaalin laadussa testipisteiden välillä oli kuitenkin huomattavia eroja. Oulun seudun ammattikorkeakoulussa tehdyissä testeissä kävi ilmi, ettei PLC-modeemien signaali kulkeutunut sähkökeskuksesta toiseen.

---

Asiasanat: PLC, Power line communication, datasähkö, sähköverkko, kodin automaatio, etäluettavat mittarit.

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Information technology and Telecommunications

---

Author: Teemu Pahkala

Title of thesis: Power line communication

Supervisor: Hannu Laakso

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012 Pages: 37 + 5  
appendices

---

Bachelor's thesis was done for Oulu University of applied sciences. The objective of the work was to map PLC-techniques, standards and manufacturers and test functioning of Echelon's PLC -modems in different environments. The purpose was to get information from range and operation of PLC -devices in different electrical networks and research their use in building automations.

The present PLC standards and the use of the PLC applications were studied. Echelon's PLC-equipments was ordered for PLC-testing and development. Echelon's PLC-devices were used to test the range and functioning at Oulu University of applied sciences and at the housing company Nuolihaukantie 1 in Kaukovainio, Oulu.

Echelon's PLC modems were able to cover the whole area of the seven-storeyed apartment building, including the heated parking spaces. However, there were substantial differences in the signal quality between the testing points. The test done in the facilities of Oulu University of Applied Science showed that the signal did not travel from one electrical center to another.

---

Keywords: PLC, Power line communication, datasähkö, sähköverkko, kodin automaatio, etäluettavat mittarit.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TIEDONSIIRTO SÄHKÖVERKOSSA (PLC)	8
2.1 Standardointi	8
2.2 Tietoturva	10
3 LONWORKS	11
3.1 Fyysinen kerros	11
3.2 Siirtokerros	13
4 PLC-ALUSTOJA	14
4.1 HomePlug Powerline Alliance	14
4.1.1 HomePlug 1.0:n fyysinen kerros	15
4.1.2 HomePlug 1.0:n siirtokerros	16
4.2 G3-PLC ja PRIME alliance	16
5 PLC:N TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ	17
6 TESTEISSÄ KÄYTETYT ECHELONIN LAITTEET	19
7 ECHELONIN LAITTEILLA TEHDYT TOIMIVUUSTESTIT	21
7.1 Testit Oulun seudun ammattikorkeakoulussa	21
7.2 Testaukset kaukovainiolla Nuolihaukantie 1:ssä	23
7.2.1 Testauspiste 1; A-rapun kellari	27
7.2.2 Testauspiste 2; A-rapun käytävä	28
7.2.3 Testauspiste 3; B-rapun käytävä	29
7.2.4 Testauspiste 4; autojen lämmityspaikat	29
8 TESTAUSTULOSTEN YHTEENVETO	32
9 POHDINTA	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	37

## **SANASTO**

ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Standardization
CSMA	Carrier Sense Multiple Access, siirtotien varausmenetelmä
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance, siirtotien varausmenetelmä
FCC	Federal Communications Commission, Yhdysvaltain telehallintovirasto
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
PLC	Power line communication, sähköjohtoja pitkin tapahtuva tiedonsiirto
PSK	Phase-shift keying, vaiheavainnus

# 1 JOHDANTO

Sähkökulutuksen mittauksessa ollaan siirtymässä etäluettaviin mittareihin. Melkein kaikissa etäluettavissa mittareissa on PLC-valmius. Sähköverkkoa pitkien tapahtuva tiedonsiirto on tärkeässä osassa rakennettaessa uutta älykästä sähköverkkoa. Tällä hetkellä ei ole yhtenäistä maailmanlaajuista tekniikkaa tai standardia siihen, millä tavalla tiedonsiirron pitäisi tapahtua sähköverkossa.

Opinnäytetyössä käsitellään yleisesti PLC-tekniikkaa. Samalla käydään läpi PLC-signaaloinnille asetettuja rajoituksia Euroopassa ja maailmalla. Työssä esitellään muutamia tällä hetkellä käytössä olevia tai käyttöön tulossa olevia PLC-alustoja, joiden tarkoituksena on luoda yhtenäinen standardointi PLC-laitteille ja helpottaa siten laitteiden tuotantoa.

Työtä varten tilattiin Echelonin PL -kehityspaketti, jonka laitteilla voitiin testata tiedonsiirtoa sähköverkossa. Testeissä selvitettiin PLC-laitteiden välisen kommunikoinnin mahdollisia maksimietäisyyksiä, sekä sitä, miten varmatoiminen PLC-yhteys on.

## 2 TIEDONSIIRTO SÄHKÖVERKOSSA (PLC)

Suomessa PLC-tekniikasta on käytetty myös nimeä datasähkö. Tietoa on siirretty sähkölinja pitkin jo 1920-luvulla. Tällöin sitä käytettiin puheensiirtoon muuntaja-asemien välillä puutteellisten puhelinyhteyksien korvaamiseen (1, s.13).

Datasähköllä on yleensä tarkoitettu sähköverkon kautta toimivaa laajakaistayhteyttä. Datasähköä ei ole saanut enää toukokuun 2010 jälkeen millään paikkakunnalla. Tällöin viimeisetkin sen tarjoajat lopettivat siihen liittyvän liiketoiminnan. (2.)

PLC-tekniikka käyttää jo olemassa olevaa rakennuksen sähköjohtoverkkoa tiedonsiirtoon. Yksinkertaisesti kuvailtuna PLC-tekniikassa lähetetään moduloitua kantoaaltoa sähköverkkoon. Modulointitekniikan häiriökestävyyden tulisi olla mahdollisimman hyvä, sillä sähköverkossa on paljon häiriöitä. (3.)

Sähköverkko on suunniteltu siirtämään voimaa, ei tietoa. Sähköverkon johdoissa ei ole häiriönsuojausta. Monet sähköverkkoon kytketyt laitteet vaikuttavat haitallisesti sähköverkossa kulkevaan datasiignaaliin. Sähköverkossa kulkevan signaalin laatu on riippuvainen sähköverkkoon kytkettyjen laitteiden määrästä ja tyypistä (TV, tietokone, hiustenkuivaaja) sekä siitä, että laitteet voivat kytkeytyä päälle ja pois milloin tahansa. Tämä muuttaa verkon kuormaa jatkuvasti. Erityisesti energiansäästölamput tuottavat häiriötä verkkoon. Signaalin laatu on myös riippuvainen lähettimen ja vastaanottimen johdotusmatkasta ja rakennuksen sähköjohtojen topologiasta, ei laitteiden fyysisestä etäisyydestä. (3.)

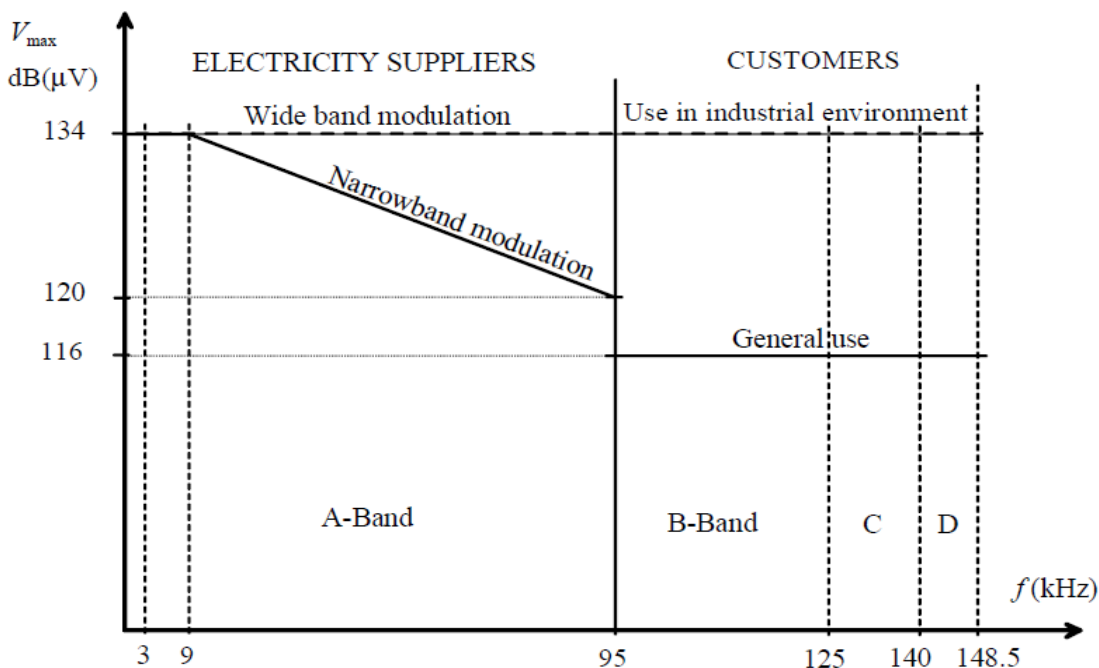
### 2.1 Standardointi

Euroopassa CENELEC määritteli oman standardin pienjänniteverkossa tapahtuvalle signaloinnille EN 50 065-1 vuonna 1991. Tämä korvasi kaikki aiemmat yksittäiset standardit Euroopassa. Standardi sisältää taajuuskaistat ja sallitut signaalitasot. Taajuuskaistaksi määriteltiin 3 - 148,5 kHz. Tämä poikkeaa suuresti USA:n ja japanin standardeista (FCC, ARIB). Siellä taajuuskaista on sallittu



500 kHz:iin asti. Laite valmistajien ilmoittamat datanopeudet ovat suurempia käytettäessä FCC- ja ARIB-taajuusalueita. (1, s. 16 – 17.)

EN 50065-1 -standardi jakaa taajuuskaistat neljään eri osa-alueeseen ja niille on määritelty signaalin maksimivoimakkuudet. (1, s. 17.) (Kuva 1.)



KUVA 1. EN 50065-1 -standardin mukaiset taajuuskaistat ja signaalitasot (1)

Ensimmäinen taajuuskaista 3 - 95 kHz on tarkoitettu sähkön jakelijoiden käyttöön. Tämän taajuusalueen taajuuksia on käytettävä vain sovelluksiin, joissa valvotaan tai ohjataan pienjännitejakeluverkkoa, sisältäen tilojen ja kytkettyjen laitteiden energiankulutuksen. (4.)

Kaistat B, C, ja D sijaitsevat välillä 95 - 148,5 kHz. Tätä aluetta saa käyttää vain seuraaviin tarkoituksiin: analogiset ja digitaaliset sovellukset kotona, kaupallisessa tai teollisuusympäristössä. Asennettujen laitteiden tai pienjänniteverkkoon tilan ulkopuolelle kytkettyjen laitteiden ohjaus ja valvonta. (4.)

EN 50065-1 mukaan C-kaistalla on käytössä lähetyskäytäntö. Kanavalla käytetään CSMA-protokollaa, joka sallii usean järjestelmän toiminnan samassa tai sähköisesti yhdistetyissä pienjänniteverkoissa. (4, s. 10.)

Lähetyskäytännön mukaan kaikkien laitteiden tulee käyttää taajuutta 132,5 kHz ilmoittamaan, että lähetys on käynnissä. Kaikkien laitteiden, jotka lähettävät kanavaan, on oltava varustettu signaali-ilmaisimella, joka ilmoittaa, milloin taajuuskaista on käytössä. Taajuuskaista on käytössä, kun mikä tahansa tehollisarvoltaan vähintään 86 dB(uV):n signaali on missä tahansa taajuusalueella 131,5 - 133,5 kHz jatkunut vähintään 4 ms. PLC-laite ei saa lähettää, jos kanava ei ole ollut vapaana vähintään 85 ms. Laitteen on satunnaisesti valittava lähetysviive väliltä 85 - 115 ms, jokaisessa laitteessa on oltava vähintään seitsemän eri viivearvoa valittavana edellä mainitulta väliltä. Ryhmä tai yksittäinen laite saa lähettää yhtämittaisesti enintään yhden sekunnin ajan, kunnes niiden on lopetettava lähetys vähintään 125 millisekunniksi. Käytettäessä tätä protokollaa tiedonsiirtonopeus tippuu noin 11 %. (4, s. 8 - 12; 5, s. 208 – 209.)

Standardi ei määrittele modulaatiomenetelmää tai toiminnallisia piirteitä. Tämän johdosta eri laitevalmistajat käyttävät erilaisia modulointimenetelmiä. (1, s. 16.)

## **2.2 Tietoturva**

PLC-verkkoihin on vaikeampi tunkeutua kuin langattomiin verkkoihin. Päästääkseen PLC-verkkoon käsiksi on fyysisesti kytkeydyttävä siihen. PLC-modeemien kantomatka ei ole kovin suuri, joten verkko ei kuulu kauas rakennuksesta. Laitteissa on syytä olla vähintään tunnistusjärjestelmä, jonka avulla laitteet voivat selvittää, onko viestin lähettäjällä oikeus lähettää viestiä. (6.)

## 3 LONWORKS

LonWorks on Echelonin kehittämä alusta. Echelonin pääidea LonWorks alustaa kehitettäessä on ollut se, että informaatio on sensori, seuranta tai hallinta ohjelmissa pohjimmiltaan samanlaista. Esimerkiksi autotallinovi ja matkustajalautanovi lähettävät pohjimmiltaan samanlaista informaatiota, suljettu tai auki. Verkot toiminta tarkoituksesta riippumatta saavat lisää arvoa, kun siihen lisätään käyttäjiä, Metcalfen laki. (6, s. 10.)

LonWorks on suunniteltu kontrolliverkkoja varten. Echelon valmistaa kahdenlaisia modeemeja näiden verkkojen rakentamiseen. PL-sarja toimii sähköverkossa ja FT-sarja toimii kierretyössä parikaapelissa. (6.)

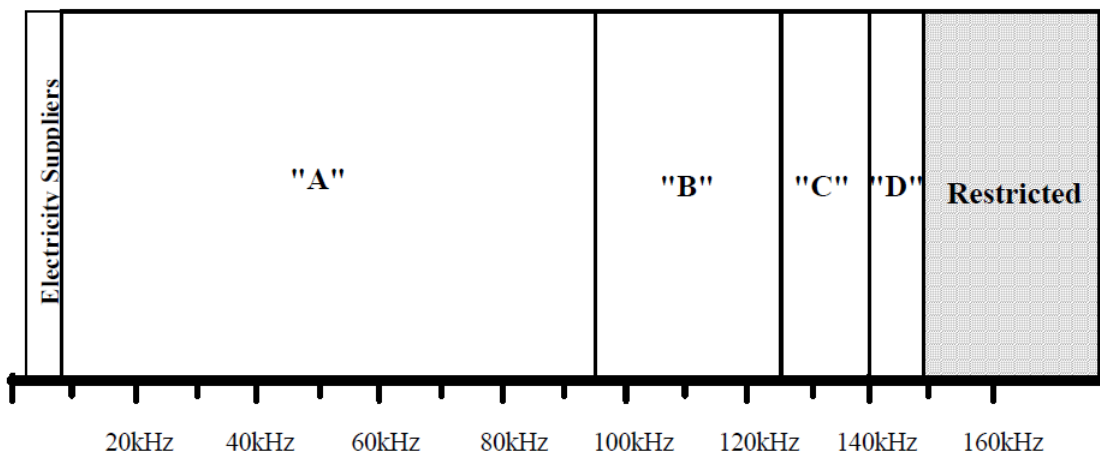
Kommunikointiprotokollaa ISO/IEC 14908-1 käytetään kaikissa LonWorks-laitteissa. Se on standardisoitu kansainvälisesti Pohjois-Amerikassa (ANSI/EIA709.1, SEMI E56.6, IEEE 1493-L), Euroopassa (EN14908) ja Kiinassa (GB/Z 20177.1-2006). Protokolla ja standardit käsittävät myös IP:n käytön viestien välittämiseen. Tämä mekanismi on esitetty ISO/IEC 14908-4 -standardissa. Se tunnetaan IP-852:na. Echelonin PLC-modeemit eivät voi kommunikoida suoraan internetiin. Sitä varten tarvitaan internetreititin. (7.)

### 3.1 Fyysinen kerros

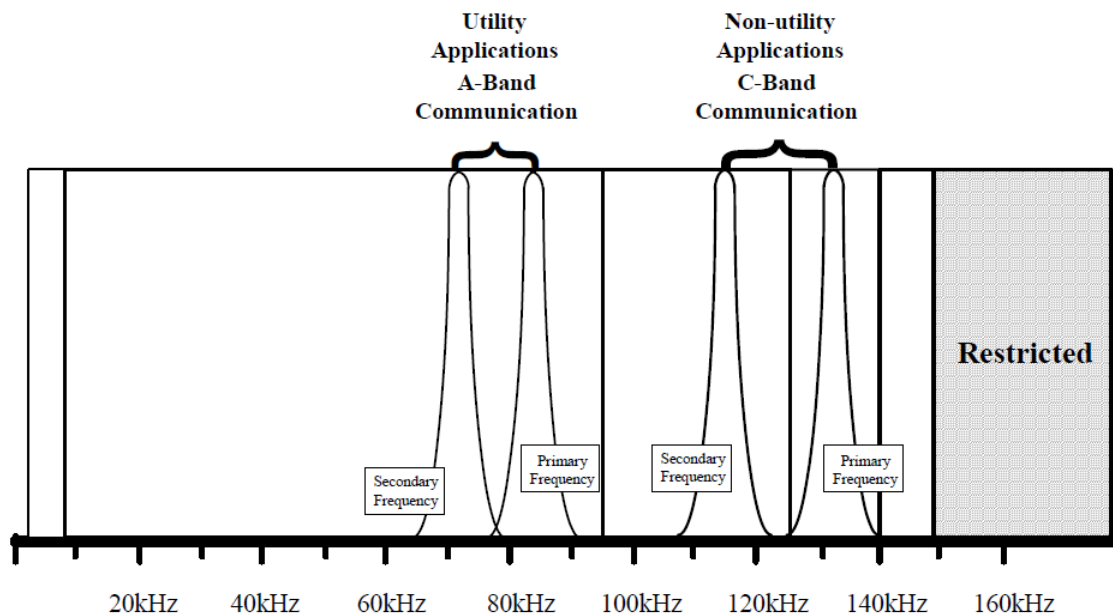
Fyysinen kerros määrittelee siirtotien. LonWorks-alustassa on mahdollista käyttää monia eri siirtoteitä, kuten sähköverkkoa, parikaapelia ja valokuitua. (6.)

Echelonin PLC-modeemit PL 3120 ja PL 3150 käyttävät kaksoiskantoaaltotekniikkaa. Käytettäessä kuitusta paketit lähetetään pääkantaallolla ja, jos kuitusta ei saada, paketit lähetetään uudestaan käyttäen varakantaaaltoa (kuva 3). Käytettäessä taajuusaluetta 3 - 95 kHz kummatkin kantaallot sijaitsevat A-kaistalla (kuva 2 ja kuva 3). Käytettäessä taajuusaluetta 95 - 148,5 kHz ja CENELEC-protokollaa, eli C-kaistaa, varakantaaalto sijaitsee B-kanavalla. Verkkovirtaa käytettäessä Echelonin PL 3120- ja PL 3150-moduulit lähettävät signaalin sähköverkkoon virtalähteen kautta. (5, s. 3 – 5.)

## Band Designations



KUVA 2. Taajuuskaistat (5, s. 4)



KUVA 3. Pää- ja varakantaallot A- ja C-kaistalla (5, s. 4)

Monet laitteet aiheuttavat häiriöitä sähköverkkoon rikkoen datapaketteja. PL Smart Transceiversit käyttävät tehokasta, low-overhead forward error correction (FEC) -algoritmiä CRC:n lisäksi vähentääkseen pakettien rikkoutumista. (5, s. 5.)

Vähän häiriöitä sisältävässä verkossa PL SmartTranceiver voi vastaan ottaa signaalia, joka on vaimentunut jopa 10 000 kertaisesti. (5, s. 3 - 5.)

### 3.2 Siirtokerros

Siirtokerros käyttää predictive p-persistent CSMA:ta törmäyksien välttämiseen. Paketit voidaan määritellä kiireellisiksi ja ei kiireellisiksi. Tällä pystytään takaamaan tärkeiden pakettien perille meno kuormitetussa verkossa. (6, s. 42 – 43.)

msb						lsb
Bit-sync (configurable number of 1 bits)						0
Pri	Path	Delta Backlog				
Network Layer Datagram (6 to 246 bytes)						
CCITT CRC-16 (2 bytes)						

KUVA 4. Siirtokerroksen paketti

**Pri**-kenttä määrittelee paketin kiireellisyyden. Arvoa "0" käytetään ei kiireellisistä paketeista ja arvoa "1" kiireellisistä paketeista. **Path**-kenttä määrittelee kanavan, jota erikoistila modeemi käyttää. Erikoistila modeemi voi olla kiinni kahdessa erilaisessa siirtokanavassa. **CRC**-kenttä on virheen korjausta varten. (6, s. 41 – 59.)

## 4 PLC-ALUSTOJA

### 4.1 HomePlug Powerline Alliance

HomePlug Powerline Alliance -organisaatio on perustettu maaliskuussa 2000. Organisaation tarkoituksena oli kehittää standardi, jolla voitaisiin verkottaa Ethernet-laitteet sähköverkon kautta yhteen ja internetiin. Ensimmäinen tällainen standardi HomePlug 1.0 julkaistiin kesäkuussa 2001. Organisaatio perustettiin, koska jo monien vuosien ajan useat laitevalmistajat etsivät sopivia menetelmiä sähköverkossa tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Silloin ei ollut vielä minkäänlaista teollisuusstandardia, joka olisi taannut eri laitevalmistajien laitteiden yhteensopivuuden. HomePlug 1.0 oli vastaus näihin ongelmiin. HomePlug 1.0 -standardin jälkeen on tullut jo neljä uutta versiota: HomePlug AV vuonna 2005, HomePlug Green PHY vuonna 2010, HomePlug AV2, jonka on tarkoitus valmistua vuonna 2011 ja tulossa oleva Netricity, joka on tarkoitettu etäluettavien sähkömittarien käyttöön. (8.)

HomePlug AV on suunniteltu kodin viihde elektroniikan käyttöön, kuten HDTV ja kotiteatteri. Tiedonsiirtonopeus fyysisellä kerroksella on 200 Mb/s. (8.)

HomePlug Green PHY on suunniteltu kodinautomaatiota ja etäluettavia mittareita varten. HomePlug GP:n fyysisen kerroksen tiedonsiirtonopeus on 3,8 Mb/s, MAC-kerroksen tiedonsiirtonopeus on 1 Mb/s. (8.)

HomePlug AV2 on paranneltu versio HomePlug AV:sta. Sillä on viisi kertaa parempi suorituskyky sekä kantavuutta on paranneltu. HomePlug AV2 on suunniteltu kuljettamaan useita HD-video streameja, sekä uuden polven 3D- ja 4KHD-kuvaa. (8.)

Netricity on IEEE 1901.2 -standardin mukainen ja on yhteen sopiva standardin mukaisten laitteiden kanssa. Tukee olemassa olevaa PRIME:n ja G3-PLC:n OFDM-tekniikkaa. (8.)

Nopeudet ovat laitteiden fyysisen kerroksen maksiminopeuksia. Käytännössä maksimitiedonsiirtonopeudet ovat noin puolet tuosta nopeudesta. HomePlugin kaikki standardit ovat toistensa kanssa alaspäin yhteensopivia. (8.)

HomePlug-tekniikan tarkoituksena on tarjota laajakaistainen tiedonsiirtoyhteys sähköverkon yli. Ne toteuttavat hajautetun Ethernet-toistimen/-kytkimen kaltaisen funktion. Normaalisti toistimen/kytkimen sisällä oleva väylä, joka kytkee Ethernet-portit toisiinsa, on hajautettu toimimaan HomePlug:n omalla protokollalla sähköverkossa fyysisesti erillään olevien HomePlug-modeemien kesken. HomePlug-standardi kapseloi Ethernet-kehiksen omaan protokollaansa ja lähettää sitä eteenpäin. Se ei sinänsä ota kantaa lähetyksen sisältöön. Tämän takia laitteet eivät tarvitse toimiakseen minkäänlaisia ylimääräisiä ohjelmistoja. HomePlug-standardissa yhteys voidaan salata, jolloin ainoastaan salauksen tietävät modeemit voivat keskustella toistensa kanssa. HomePlug 1.0 käyttää 56-bittistä DES-salausta (Data Encryption Standard), HomePlug AV 128-bittistä AES-salausta. (Advanced Encryption Standard) (8.) Kotikäytössä HomePlug-tekniikan kilpailijana on tällä hetkellä WLAN. HomePlug tarjosi varmemman tiedonsiirtoverkon asuineliöistä riippumatta verrattuna WLAN:iin. (9; 10.)

#### **4.1.1 HomePlug 1.0:n fyysinen kerros**

Fyysinen kerros käyttää OFDM-monikantaaalotekniikka. OFDM:ta käytetään taajuuskaistalla 4,49 - 20,7 MHz. Taajuuskaista 0 - 25 MHz on jaettu 128:aan tasaisin välein oleviin kantaaltoihiin, joista 84 (kantaallot 23 - 106) käytetään tiedonsiirrossa. Tiedonsiirtoon käytettävältä alueelta on USA:ssa poistettu kahdeksan kanavaa, jotka ovat päällekkäin radioamatöörien käyttämien taajuuksien kanssa. Kanavia pystytään poistamaan käytöstä, jotta laite vastaa eri maiden säännöksiä. (11; 12.)

Fyysisellä kerroksella käytetään adaptiivista tekniikkaa, jossa voidaan jättää pois kantaallot taajuuksilta, joissa esiintyy paljon häiriöitä. Sekä voidaan valita sopiva modulointimenetelmä. Modulointi menetelmiä on kolme, jotka ovat digitaalisen vaihemoduloinnin (PSK) eri variaatioita. Niitä ovat DBPSK  $\frac{1}{2}$ , DQPSK  $\frac{1}{2}$ , DQPSK  $\frac{3}{4}$ . Virheen korjauksessa käytetään  $\frac{3}{4}$  konvoluutio-,  $\frac{1}{2}$  konvoluutio- ja Salomon-Reed-koodia. (11; 12.)

#### **4.1.2 HomePlug 1.0:n siirtokerros**

Siirtokerros käyttää kahta peruspakettimuotoa, pitkää ja lyhyttä. Pitkää pakettia käytetään tiedon kuljettamiseen. Lyhyttä pakettia käytetään rikkoutuneiden pakettien uudelleenlähetyksessä prosessissa.

HomePlug-tekniikassa siirtokerroksen kanavanvaraus perustuu CSMA/CA-protokollaan, jossa tietoa siirretään 46 - 1 500 tavun kapseloituina IEEE 802.3-kehyksinä. (11.)

#### **4.2 G3-PLC ja PRIME alliance**

G3-PLC on ERDF:n ja Maximin kehittämä tiedonsiirtomenetelmä etäluettavia mittareita varten. G3-PLC tukee 6LoWPAN:a, joka on tarkoitettu yhdistämään matalan tehon laitteita IPv6-verkkoon. G3-PLC pystyy kommunikoimaan muuntajien yli mikä helpottaa etäluettavien sähkömittarien käyttöä, kun keskittimet voidaan asentaa keskijänniteverkkoon. (14.)

G3-PLC käyttää CENELEC A-kaistalla taajuusaluetta 35,9 - 90,6 kHz ja OFDM-modulointia DBPSK- ja DQPSK-vaiheavainnuksella, joilla saadaan siirtonopeudeksi 33,4 kbps. G3-PLC tukee tiedonsiirtotaajuuksia 180 kHz:iin asti. Tästä johtuen näytteenottotaajuudeksi on valittu 400 kHz. Mahdollisten kantoaaltojen määräksi on valittu 128 joista 36:ta käytetään CENELEC A-kaistalla. Kantoaaltojen väli on 1,65625 kHz. (13.)

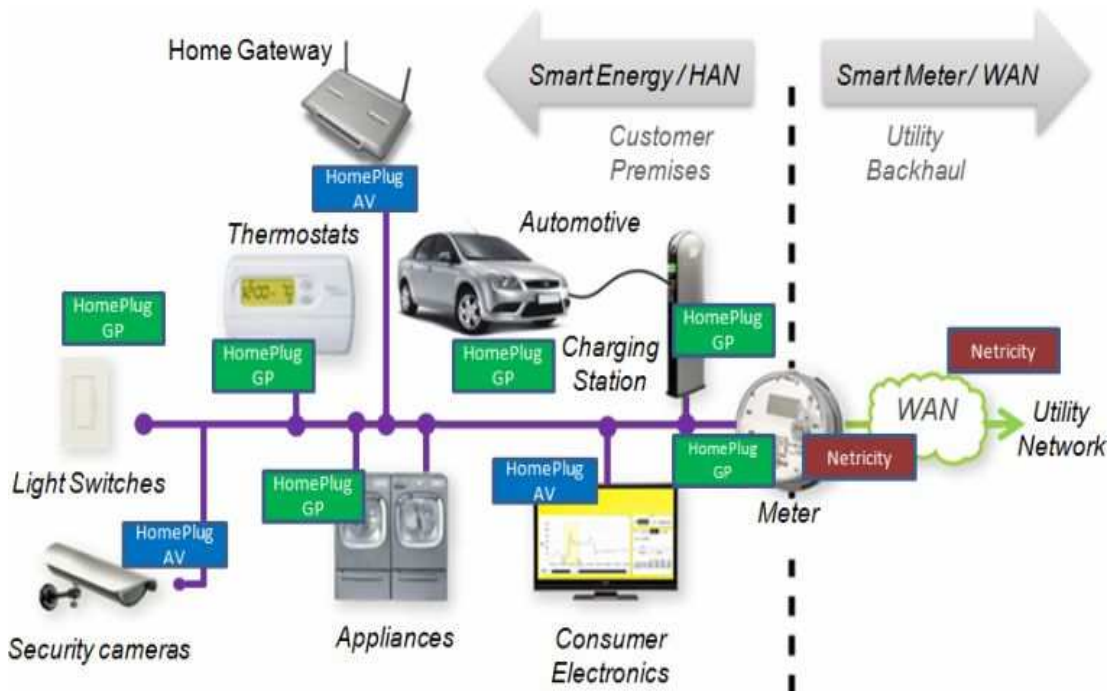
PRIME Alliance on avoin foorumi, joka on kehittänyt älyverkkoja varten tiedonsiirtostandardin. PRIME on valinnut näytteenottotaajuudeksi 250 kHz. Kantoaaltojen väli on 488 Hz. A-kaistalla käytetään 96:ta kantoaaltoa taajuvälillä 42 - 89 kHz. (15; 16.)

Yhteenvetona näistä standardeista voidaan G3-PLC:n sanoa olevan varmatomempi kuin PRIME. PRIME taas on toiminnaltaan yksinkertaisempi kuin G3-PLC. (15,16.)



## 5 PLC:N TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ

Tulevaisuudessa on mahdollista rakentaa kotiin verkko, jossa yhdistetään laajakaistainen ja kapeakaistainen tiedonsiirto sähköverkossa. Siihen voidaan myös liittää RF-tekniikkaa käyttäviä laitteita, kuten Zigbee. Kodin viihdelaitteet voivat käyttää laajakaistaista tiedonsiirtoa kuvan ja äänen lähettämiseen. Esimerkiksi DVD-soitin voi lähettää kuvaa ja ääntä sähköverkkoon, jota eri huoneissa olevat televisiot voivat vastaanottaa. Kodintekniikan ohjaus voidaan toteuttaa käyttäen kapeakaistaista tiedonsiirtoa. Tähän kuuluvat valaistuksen säätö, termostaattien ohjaus sekä ovien lukitus. (Kuva 5.)



KUVA 5. Kuvassa HomePlug Aliancen näkemys mahdollisesta tulevaisuuden kodista

Ensimmäisiä käyttökohteita PLC:lle tulevat olemaan etäluettavat kulutusmittarit. Useampi järjestö työstää standardeja etäluettaviin mittareihin tällä hetkellä. Etäluettaviin mittareihin kehitetyt tekniikat ovat kapeakaistaisia ja täten tarkoitettuja lähinnä ohjaus- ja kontrollitietojen lähettämiseen.

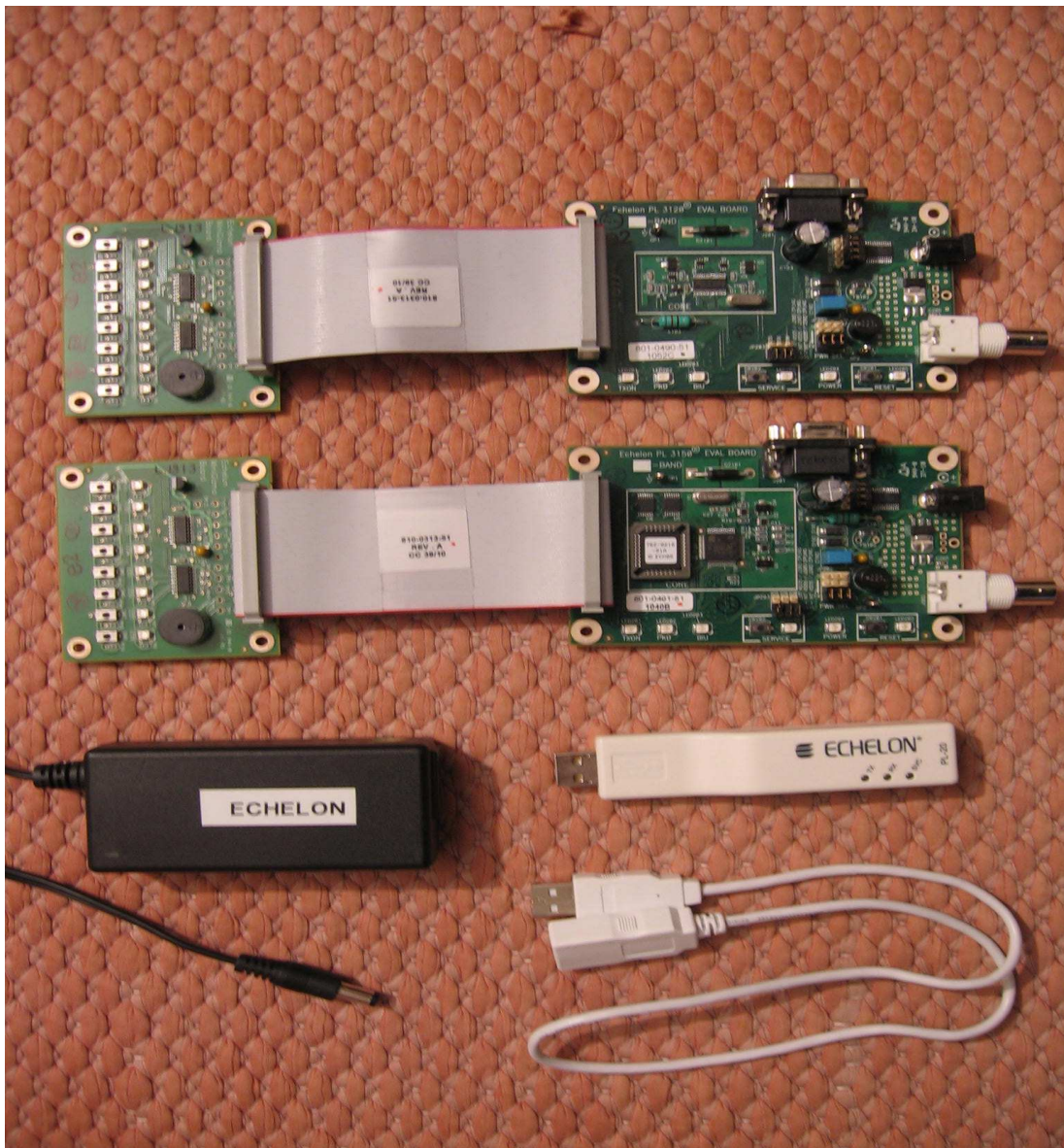
Nykyaikaiset kodin automaatiojärjestelmät säätävät valaistusta, lämmitystä ja ilmastointia. Homemate OY:n PCPLC-automatiojärjestelmässä ohjaustiedot

kulkevat parikaapelia pitkin. Järjestelmän keskuksena toimii kosketusnäyttöpaneeli, jossa on tarvittava laskentateho järjestelmän ohjaamiseen. Järjestelmän parikaapeleita pitkin tapahtuva tiedonsiirto voisi periaatteessa toimia myös sähköverkkoa pitkin. PLC-tekniikalla toteutettu tiedonsiirto helpottaisi jonkin verran järjestelmän asennusta vanhoihin rakennuksiin, sillä parikaapelin vetäminen jäisi pois. (17.)

PLC-modeemit tulevat todennäköisesti ensimmäisenä kodin kalliimpiin kodinkoneisiin kuten televisioon, kylmlaitteisiin, hellaan, tietokoneisiin ja kalliimpiin valaisimiin. Nämä laitteet voivat liittyä PLC-modeemien avulla jo rakennuksessa olevaan automaatiojärjestelmään, jolloin niitä voidaan ohjata samalta keskusyksiköltä kuin muitakin talonlaitteita. Asunnosta poistuttaessa laitetaan automaatiokeskusyksikköön ”pois asunnosta” -tila päälle, jolloin keskusyksikkö voi lähettää TV:lle, valaisimille ja hellalle käskyn mennä pois päältä. Kun ”talosta pois” -asetus laitetaan päälle, voivat päällä olevat laitteet, kuten kahvinkeitin tai hella, lähettää viestin keskusyksikköön tilastaan ja pyytää käyttäjältä varmennusta pois päältä menosta. Jääkaappi voi ilmoittaa järjestelmään, jos ovi on jäänyt auki.

## 6 TESTEISSÄ KÄYTETYT ECHELONIN LAITTEET

PLC-testeissä käytettiin Echelonin laitteita. Käytössä oli kaksi sähköverkkoon liitettävää moduulia, toisessa näistä oli PL 3120- ja toisessa PL 3150-Transceiver -siru. Käytössä oli tietokoneen USB-porttiin liitettävä PL-20 PLC-modeemi, joka käyttää PL 3120-sirua, jota käytettiin NodeUtil-ohjelman kanssa (kuva 6). Signaalinvoimakkuutta ja pakettivirheitä testattiin Nodeutil-ohjelmalla.



KUVA 6. PL 3120- (ylin) ja PL 3150-moduulit sekä PL-20 ja virtalähde

PL 3120 on tarkoitettu käytettäväksi sovelluksissa, jotka vaativat muistia ohjelmistolle enintään 4 kbit. PL 3120 toimii joko 6,5536 MHz:n kellotaajuudella (A-kaista) tai 10,0 MHz:n kellotaajuudella (C-kaista) (5, s. 3).

PL 3150 on tarkoitettu käytettäväksi sovelluksissa, jotka vaativat enemmän muistia. PL 3150:een voidaan liittää ulkoinen muisti, joka voi olla 58 kbit:n kokoinen. PL 3150 toimii joko 6,5536 MHz:n kellotaajuudella (A-kaista) tai 10,0 MHz:n kellotaajuudella (C-kaista). (5, s. 3.)

## 7 ECHELONIN LAITTEILLA TEHDYT TOIMIVUUSTESTIT

Testejä tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tiloissa ja 7-kerroksisessa kerrostalossa Kaukovainiolla Oulussa. Kuuluvuutta kokeiltiin PL 3120:n ja PL 3150:n välillä. Näitä kahden laitteen välisessä kommunikoinnissa lähetettiin toisesta laitteesta ohjausviesti, joka sytytti ja sammutti ledin toisessa laitteessa. Signaalin vaimentumista ja pakettivirhettä mitattiin NodeUtil-ohjelmalla, joka oli kytketty sähköverkkoon PL-20 USB-laiteella.

### 7.1 Testit Oulun seudun ammattikorkeakoulussa

Testit tehtiin sähkökeskus 106:n alueella (liite 2). Kuvaan 16 on merkitty mustalla ympyrällä työtilassa testauspiste 1, sinisellä käytävällä käytetty testauspiste 2 ja vessassa sijaitseva testauspiste 3. Työtilassa oven vieressä oleva pistorasia, joka on merkitty mustalla ympyrällä, on testauspiste 4.

PL 3120:llä ja PL 3150:llä tehdyissä testeissä lähetettiin käskyä sytyttää ja sammuttaa led vuorotellen, yhteensä 40 kertaa. Testauspisteessä 1 ja testauspisteessä 2 tehdyissä testeissä lähetetty viesti ei jäänyt kertaakaan saapumatta perille, vaan led sammui ja syttyi jokaisella kerralla. Testauspisteet 1 ja 3 toimivat samalla tavalla, ilman virheitä. Kun laitteet kytkettiin samassa huoneessa oleviin mutta eri vaiheisiin pistorasioihin, testauspisteet 1 ja 4, (liite 2) signaali pääsi läpi vain noin joka 30:nnella kerralla. Tässä tapauksessa ilmeisesti eri vaiheiden johdot kulkevat vierekkäin ja signaali onnistuu hyppäämään toisesta johdosta toiseen.

NodeUtil-ohjelmalla mitattiin signaalitasoa ja virheellisten pakettien määrää. PL-20-laite oli kytketty testauspisteeseen 1, kun taas PL 3120 ja PL 3150 olivat kytkettyinä testauspisteisiin 2 ja 3.

Kuvassa 7 "Channel: Primary" tarkoittaa pääkantoaaltoa ja "Channel: Secondary" tarkoittaa varakantoaaltoa. "Margin" ilmoittaa, kuinka paljon signaali voi vielä vaimentua ennen kuin pakettivirheet alkavat kasvaa huomattavasti. "Strength" ilmoittaa signaalin vaimennuksen. "Request to DEVICE" ilmoittaa lähtevän sig-

naalin vaimennuksen ja "Request from DEVICE" ilmoittaa tulevan signaalin vaimennuksen.

```
DEUCE:1> Signal strength
Target Info <Request to DEUCE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -24dB
Source Info <Response from DEUCE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -18dB
Target Info <Request to DEUCE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -30dB
Source Info <Response from DEUCE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 36dB; Strength: -24dB
DEUCE:1> <G>o to another device
ID Neuron ID Program ID Key
0 0501B0424800 USBLTA *** network interf
ace
1 0502073FA700 9FFFFFF0501051004
2 050201ECA900 9FFFFFF2000051002
Enter device id for the device menu to enter <0-2> [2] :2
DEUCE:2> Signal strength
Target Info <Request to DEUCE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -24dB
Source Info <Response from DEUCE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -24dB
Target Info <Request to DEUCE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -30dB
Source Info <Response from DEUCE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 36dB; Strength: -24dB
DEUCE:2>
```

KUVA 7. Signaalitasot testauspisteessä 1

Kuvassa 7 näkyvät signaalien vaimennukset, kun PL 3120 ja PL 3150 olivat kytkettyinä testauspisteeseen 1 eli melkein vierekkäisiin pistorasioihin. Näillä signaalien vaimennustasoilla ei ilmennyt pakettivirheitä. Device 1 on PL 3150 ja Device 2 on PL 3120.

Kuvassa 8 ylempänä näkyvät DEUCE 2, joka on kytkettynä testauspisteeseen 3, ja DEUCE 1, joka on kytkettynä testauspisteeseen 2. Vaimennus kasvaa laitteiden välisen välimatkan kasvaessa. Pakettivirheitä ei esiintynyt testauspisteissä.

```

Target Info <Request to DEVICE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
Source Info <Response from DEVICE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 15dB; Strength: -48dB
Target Info <Request to DEVICE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
Source Info <Response from DEVICE:2>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 12dB; Strength: -48dB
DEVICE:2> <G>o to another device
ID Neuron ID Program ID Key
0 0501B0424800 USBLTA *** network interf
ace
1 0502073FA700 9FFFFFF0501051004
2 050201ECA900 9FFFFFF2000051002
Enter device id for the device menu to enter <0-2> [2] :1
DEVICE:1> Signal strength

Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 6dB; Strength: -42dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 24dB; Strength: -42dB
Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 3dB; Strength: -42dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 24dB; Strength: -36dB
DEVICE:1> =

```

KUVA 8. Signaalitasot testauspisteissä 2 ja 3

PLC-laitteet pystyivät kattamaan koko sähkökeskus 106:en alueen. Signaali ei kuulunut sähkökeskusten yli. Signaalin vaimentuessa yli -70 dB:n alkaa yhteydessä esiintyä ongelmia.

## 7.2 Testaukset kaukovainiolla Nuolihaukantie 1:ssä

Testejä tehtiin 7-kerroksisessa kerrostalossa Nuolihaukantie 1:ssä. Yksi laitteista oli aina A-rapun seitsemännessä kerroksessa sijaitsevassa asunnossa. Muita testauspisteitä olivat A-rapun kellari sekä A- ja B-rapun alimman kerroksen käytävillä olevat pistorasiat. Testejä tehtiin myös autojen lämmitystolpissa sekä lämmityksessä olevan auton sisällä.

Kuvassa 9 on esitetty signaalin voimakkuudet, kun PL 3120 on samassa huoneessa mutta eri pistorasiassa kuin PL-20.

```
ENTER DEVICE ID FOR THE DEVICE WOULD BE ENTER TO 27 121 11
DEVICE:1> Signal strength
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -6dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -12dB
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -12dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -6dB
DEVICE:1> Signal strength
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -12dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 39dB; Strength: -12dB
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -12dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -6dB
DEVICE:1> _
```

KUVA 9. Signaalin voimakkuudet samassa huoneessa

Kuvassa 10 on A-rapun kellarista. Tätä testauspistettä kutsutaan testauspisteeksi 1.



KUVA 10. Kellarin testauspiste



Kuvassa 11 on A-rapun käytävän testauspiste 2. Mittauksissa käytettiin kahta kuvassa näkyvää pistorasiaa, jotka on merkitty punaisella ja sinisellä. Olkoon punaisella merkitty pistorasia 1 ja sinisellä merkitty pistorasia 2.



*KUVA 11. A-rapun käytävän testauspaikat*

Kuvassa 12 on B-rapun käytävän testauspiste 3. Testeissä käytettiin kuvassa näkyvää pistorasiaa.



*KUVA 12. B-rapun käytävän testauspiste*

Kuvassa 13 ovat rakennuksen lämmitetyt autopaikat. Testauspiste 4 käsittää nämä autopaikat. Testejä tehtiin useammasta eri lämmityspaikasta. Tämän päädyn ensimmäinen lämmityspaikka on tolppa/lämmityspaikka 1, siitä seuraava on tolppa/lämmityspaikka 2 ja niin edelleen aina toisessa päässä olevaan viimeiseen lämmityspaikkaan joka on tolppa/lämmityspaikka 6. Autokatoksen puoli, joka näkyy kuvassa, on talonpuoli.



*KUVA 13. Autopaikkojen testauspisteet*

### **7.2.1 Testauspiste 1; A-rapun kellari**

PL 3120:n ja PL 3150:n välisessä kommunikoinnissa yksi 40:stä lähetetystä viestistä ei mennyt perille. Testaustulokset ovat liitteessä 3.

Taulukosta 1 näkee, ettei PL 3120:n ja PL 3150:n välillä näytä olevan eroja signaalinvastaanotossa ja lähetyksessä, lisäksi signaalivaimennus pysyy jotakuinkin samansuuruisena eri testeissä. Signaalitason mittaus onnistuu vain varakanta-aallolla, sama toistuu melkein kaikissa Nuolihaukantiellä tehdyissä testeissä. Signaalivaimennus pysyi samansuuruisena myös illalla, jolloin verkon häiriötaso on suurempi.

*TAULUKKO 1. Signaalivoimakkuustestin tulokset*

<i>PL 3150</i>	<i>Testi1</i>	<i>Testi2</i>	<i>Testi3</i>	<i>Testi4</i>	<i>Testi5</i>
<i>Varakantoaalto -&gt;</i>	-54dB	-54dB	-54dB	-54dB	-60dB
<i>Varakantoaalto &lt;-</i>	-60dB	-60dB	-54dB	-60dB	-54dB
<i>Pakettivirheet</i>	Ei virheitä				
<i>PL3120</i>					
<i>Varakantoaalto -&gt;</i>	-54dB	-54dB	-54dB	-54dB	-54dB
<i>Varakantoaalto &lt;-</i>	-60dB	-60dB	-54dB	-60dB	-54dB
<i>Pakettivirheet</i>	Ei virheitä				

### **7.2.2 Testauspiste 2; A-rapun käytävä**

Testauspisteessä 2 nähdään parhaiten ero päivän, jolloin sähköverkossa on vähemmän häiriöitä, ja illan, jolloin on paljon häiriöitä, välillä (taulukko 3). Kuvassa 21 (liite 4) signaalitasonmittaus onnistuu myös pääkantoaallolla, mikä oli harvinaista. Illalla tehdyissä testeissä (liitteen 4 kuvat 22, 23) signaalin voimakkuustestiä joutui yrittämään useamman kerran ennen kuin se onnistui. Näillä vaimennustasoilla laitteiden muistin lukeminen ei onnistunut. Taulukko 2:n testit tehtiin samaan aikaan kuin kuvien 21 ja 22 (liite 4) testit. PL 3120:n ja PL 3150:n välinen kommunikointi toimi huomattavasti paremmin kuin näiden ja PL-20:n välinen kommunikointi.

*TAULUKKO 2. PL3120 ja PL3150 välisen kommunikointitestin tulokset*

Asunto	suunta	Pistorasia 1	Pistorasia 2	Perille/Lähetetyt
PL3120	->	PL3150		17/20
PL3120	<-	PL3150		12//20
PL3120	->		PL3150	17/20
PL3120	<-		PL3150	17/20

TAULUKKO 3. Signaalitestin ja pakettivirhetestin tulokset (Var.Kan. tarkoittaa varakantoaaltoa)

PL3120	Klo 10:35	PL3150	Klo 10:40	Klo 21:00	Klo 21:16
Var.Kan. ->	72dB	Lähtevä	72dB	84dB	
Var.Kan. <-	66dB	Palaava	60dB	78dB	
Pakettivirhe	Ei virheitä	Pakettivirhe	Ei virheitä	1/100	2/100:sta onnistui

### 7.2.3 Testauspiste 3; B-rapun käytävä

Signaalin vaimentuminen pienempää kuin A-rapun käytävällä. Pakettivirhetestissä ei esiintynyt virheitä.

```

DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 9dB; Strength: -60dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
  Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 12dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
  Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:2>
[Jan 15 21:29:33] (99 of 100) Sending 18 bytes of data
[Jan 15 21:29:34] (100 of 100) Sending 18 bytes of data
RESULT: No failures
DEVICE:2>

```

KUVA 14. Signaalitasot ja pakettivirheet PL3150

### 7.2.4 Testauspiste 4; autojen lämmityspaikat

Katoksen alussa on sulakerasia, jossa on erilliset sulakkeet katoksen eri puolille. Talon puoleisilla lämmityspaikoilla 1 ja 2 vaimennukset ovat pienemmät kuin missään muussa testauspisteessä. Talon vastaisella puolella lämmityspaikassa 2 on paljon suuremmat vaimennukset ja pakettivirheitä esiintyy (taulukko 4). Talon puolella on kolmanteen lämmityspaikkaan vaihdettu uusi pistorasia ja johtoliitos (kuva 15). Ilmeisesti tämä pistorasia ja johtoliitos heikentävät signaalia huomattavasti. Tähän pistorasiaan signaalin vaimennus kasvoi huomattavasti ja pakettivirheitä alkoi esiintyä. Talon puolella NodeUtil-ohjelmalla ei saatu yhteyttä lämmityspaikan 3 jälkeisiin lämmityspistorasioihin.



KUVA 15. Lämmityspaikka 3

TAULUKKO 4. Signaalitestin ja pakettivirhetestin tulokset "T" tarkoittaa talonpuolta "A" auton sisällä

	Tolppa1 T	Tolppa2 T	Tolppa2	Tolppa3 T	Tolppa6	Tolppa6 A
Varakantoaalto ->	-30dB	-30dB	-66dB	-72dB	-66dB	-66dB
Varakantoaalto <-	-36dB	-36dB	-66dB	-72dB	-72dB	-72dB
Pakettivirhe	0/100	0/100	3/100	35/100	12/100	32/100

Autokatoksen, ei talonpuolen lämmityspaikoille, ei ollut asennettuna yhtään uutta pistorasiaa. Tällä puolella yhteyden saaminen onnistui aina lämmityspaikkaan 6 asti. Yhteys onnistui myös auton sisälle, joka oli kytkettynä talon vastakkaiselle puolelle lämmityspaikkaan 6. Autossa PL 3150 oli kytkettynä auton-sisälämmittimen pistorasiaan. Kun verrataan auton sisälle kytkettyä ja suoraan lämmityspaikkaan kytkettyä laitetta (liitteessä 5 kuvat 29, 30), auton sisällä oltaessa signaalinvaimennus pysyi samana, mutta pakettivirheet kasvoivat.

Huomattavaa oli PL3120 ja PL3150 toimiminen uuden pistorasian yli. Toiminta talonpuoleisissa lämmityspaikoissa oli heikompaa kuin toisella puolella olevissa lämmityspaikoissa. Taulukosta 5 näkyy, miten yhteys saattoi välillä olla täysin poikki ensimmäisessä testisarjassa ja toisessa testisarjassa toimia täydellisesti.

*TAULUKKO 5. PL 3120 ja PL 3150 välillä tehtyjä testejä*

Asunto	suunta	Tolppa 6	Tolppa 6 ei talonpuoli	Tolppa 6 auton sillä	Perille/Lähetetyt	Perille/Lähetetyt
PL3120	->	PL3150			20/20	20/20
PL3120	<-	PL3150			0/20	20/20
PL3120	->		PL3150		20/20	
PL3120	<-		PL3150		20/20	
PL3120	->			PL3150	20/20	
PL3120	<-			PL3150	17/20	
PL3150	->	PL3120			20/20	
PL3150	<-	PL3120			1//20	19/20
PL3150	->			PL3120	20/20	
PL3150	<-			PL3120	18/20	

## 8 TESTAUSTULOSTEN YHTEENVETO

Testit osoittavat PL 3120:n ja PL 3150:n välisen yhteyden toimineen huomattavasti paremmin kuin näiden ja PL-20:n välisen yhteyden. Huomattavaa PL-20 ja PL 3120/50 välisessä kommunikoinnissa oli se, että yhteyttä ei saatu PL 3120/50:ssä PKD- ja BIU-ledit vilkkuivat. Näissä tapauksissa PL 3120/50:tä kuulivat PL-20 lähettämän signaalin, mutta PL-20 ei kuullut PL 3120/50:n vastausta. Ilmeisesti PL-20:n vastaanottokyky ei ole yhtä hyvä kuin PL 3120- ja PL 3150-moduulien.

PL 3120:n ja PL 3150:n välillä tehdyissä yhteyskokeiluissa huomattiin, että välillä saattoi tulla jaksoja, jolloin viestit eivät menneet ollenkaan perille. Toinen laite ei edes kuullut signaalia, jonkin ajan kuluttua yhteys kuitenkin toimi hyvin. Välillä viestin perille meno tarvitsi useamman uudelleenlähetyksen. Laite kuuli signaalin, mutta ilmeisesti signaali oli niin pahasti rikkoutunut, että laite pyysi uudelleenlähetystä. Laite saattoi pyytää uudelleenlähetystä useita kertoja ennen kuin viesti saatiin perille. Tämä oli huomattavissa varsinkin Nuolihaukantien testauspisteessä 2.

NodeUtil-ohjelmalla laitteeseen kirjautumisaika piteni huomattavasti, kun signaalin vaimennus kasvoi. Laitteiden ollessa samassa huoneessa yhteyden saanti kesti joitakin sekunteja. Laitteen ollessa Nuolihaukantien testauspisteessä 1 yhteyden saanti kesti jo minuutin ja 26 sekuntia.

Signaalivaimennuksen kasvaessa signaalitason mittaus ei onnistu pääkantoaallolla. Kuitenkin niissä tapauksissa, joissa signaalitason mittaus onnistuu kummallakin kantoaallolla (liitteen 5 kuvat 26, 28), ei pääkantoaallon vaimennus ole suurempi kuin varakantoaallon.

Oulun seudun ammattikorkeakoululla tehdyissä testeissä kävi ilmi, ettei yhteys toimi eri keskusten välillä. Myös pistorasioiden on oltava samassa vaiheessa. Tämä rajoittaa huomattavasti PLC-modeemien käyttöä Oulun seudun ammattikorkeakoulun tapaisissa laitoksissa. Myös vaimennukset jo viereisissä pistorasioissa olivat Oulun seudun ammattikorkeakoululla suurempia kuin kerrostalohuoneistossa (taulukko 6) (kuvat 8 ja 10).



*TAULUKKO 6. Signaalivaimennukset mitattuna Oulun seudun ammattikorkeakoululla ja Nuolihaukantiellä, kun laitteet olivat samassa huoneessa*

	<i>Sig.tasot. Ammattikorkea</i>	<i>Sig.tasot Nuolihaukatie</i>
<i>Pääkantaalto. -&gt;</i>	-24dB	-6dB
<i>Pääkantaalto. &lt;-</i>	-18dB	-12dB
<i>Varakantaalto. -&gt;</i>	-30dB	-12dB
<i>Varakantaalto. &lt;-</i>	-24dB	-6dB

Nuolihaukantie 1:ssä tehdyissä testeissä laitteet toimivat yllättävän hyvin pystyen kattamaan koko kerrostalon alueen. Testauspisteissä oli huomattavia eroja, mutta mikään paikka ei jäänyt PL 3120:n ja PL 3150:n kantaman ulkopuolelle.

PL-20 käyttää samaa Smart Transceiver -sirua kuin PL 3120. PL-20 jäi kuitenkin huomattavasti PL 3120:n suorituskyvystä. Tämä saattaa johtua PL-20:n kompaktimmasta koosta, jolloin kytkentäpiiri ei ole yhtä hyvä kuin PL 3120-moduulissa.

## 9 POHDINTA

Monissa vanhemmissa kerrostaloissa ei alaovella ole summeria eikä alaoven avaus ole mahdollista asunnosta käsin. Tällaisissa rakennuksissa PLC-tekniikka mahdollistaa ovisummeri- ja ovenavausjärjestelmien rakentamisen ilman hankalaa uusien johtojen vetämistä. Tulevaisuudessa siirtonopeuksien kasvaessa on myös mahdollista rakentaa ovipuhelinjärjestelmä PLC-tekniikan avulla.

PLC-laitteilla tehdyissä testeissä selvitettiin laiteiden välisen kommunikoinnin rajoituksia. Oulun seudun ammattikorkeakoulun tiloissa PLC-tekniikan suurimaksi ongelmaksi koitui se, etteivät PLC-laitteet pystyneet kommunikoimaan sähkökeskusten välillä. Signaali voitaisiin saada kulkemaan keskusten välillä asentamalla pääsähkökeskukseen reititin. Tosin liikenteen kasvaessa tästä reitittimestä saattaisi tulla verkon pullonkaula. PLC-tekniikan käyttö Oulun seudun ammattikorkeakoulun tapaisissa rakennuksissa on hyvin rajoitettua, jos PLC-signaalia ei saada kulkemaan sähkökeskusten välillä.

Nuolihaukantie 1:ssä autojen lämmityspaikkojen lämmitys toimii kello 3 - 22 välisenä aikana pakkasen ollessa alle -5 °C. Tämä aiheuttaa sähköntuhlausta, kun autoja pidetään lämmityksessä turhan pitkiä aikoja. Nuolihaukantie 1:n tapaisissa rakennuksissa voidaan PLC-tekniikan avulla rakentaa järjestelmä, jossa autonlämmitystä ohjataan asunnosta käsin. Tämä ei vaadi muuta kuin pistorasiaan asennettavan kytkimen, jossa on PLC-modeemi, ja PLC-moduulin, jolla voidaan lähettää käskyjä kytkimelle. Todistetusti Nuolihaukantie 1:ssä tehdyissä mittauksissa Echelonin PL 3120:llä ja PL 3150:llä onnistui käskyjen lähettäminen autojen lämmityspaikoille ja jopa auton sisälle.

## LÄHTEET

1. Ahola, Jero 2003. Applicability of Power Line Communications to Transfer of Onli-line Condition Monitoring of Electrical Drives. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/31175>. Hakupäivä 10.12.2011.
2. Datasähkö. 2011. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Datasähkö>. Hakupäivä 15.11.2011.
3. Power Line Communication Frequently Asked Questions. 2011. Echelon. Saatavissa: <http://www.echelon.com/products/transceivers/powerline/plcomFAQ.htm>. Hakupäivä 20.11.2011.
4. EN 50065-1 -standardi.
5. PL 3120/PL 3150/PL 3170 Power Line Smart Transceiver Data Book. 1996-2007. Echelon.
6. Echelon. Introduction to the LonWorks Platform Revision 2. 1999-2009. Echelon.
7. LonWorks Technology Overview. 2011. Echelon. Saatavissa: <http://www.echelon.com/communities/energycontrol/developers/lonworks/>. Hakupäivä 2.12.2011.
8. HomePlug Frequently Asked Questions. 2011. HomePlug Alliance. Saatavissa: <https://www.homeplug.org/about/faqs/>. Hakupäivä 15.12.2011.
9. Lin, Yu-Ju – Latchman, Haniph A. – Newman, Richard E. – Katar, Srinivas 2003. A Comparative Performance Study of Wireless and Power Line Networks. University of Florida ja Intellon Corporation. IEEE Communications. Saatavissa: <http://cise.ufl.edu/~nemo/papers/CommMag2003.pdf>. Hakupäivä 11.12.2011.
10. Lee, M. K. – Latchman, H. A. – Newman, R. E. – Katar, S. – Yonge, L 2003. Field Performance Comparison of IEEE 802.11b and HomePlug 1.0. IEEE

- Communications Magazine. Saatavissa:  
<http://aln.list.ufl.edu/publications/IEEE%20Comm%20Mag%20April%202003.pdf>. Hakupäivä 11.12.2011.
11. Lee, M. K. – Newman, R. E. – Latchman, H. A. – Katar, S. – Yonge, L. 2002. HomePlug 1.0 Powerline Communication LANs – *Protocol Description and Performance Results, version 5.4*. International journal of communication systems. Saatavissa: <http://www.cise.ufl.edu/~nemo/papers/IJCS2003.pdf>. Hakupäivä 13.12.2011.
12. HomePlug 1.0 Technology White Paper. HomePlug Alliance. Saatavissa: [https://www.homeplug.org/tech/whitepapers/HP\\_1.0\\_TechnicalWhitePaper\\_FINAL.pdf](https://www.homeplug.org/tech/whitepapers/HP_1.0_TechnicalWhitePaper_FINAL.pdf). Hakupäivä 15.12.2011.
13. PLC G3 Physical Layer Specification. ERDF. Saatavissa: <http://www.maxim-ic.com/products/powerline/pdfs/G3-PLC-Physical-Layer-Specification.pdf>. Hakupäivä 20.12.2011.
14. Build a Smarter Grid with G3-PLC. 2012. Maxim. Saatavissa: <http://www.youtube.com/watch?v=MAJOfqTq9II>. Hakupäivä 3.3.2012.
15. PRIME Alliance. 2011. saatavissa: <http://www.prime-alliance.org/>. Hakupäivä 6.1.2012.
16. Hock, Martin 2011. Comparison of PLC G3 and PRIME. IEEE. Saatavissa: [http://www.lit.lnt.de/papers/isplc\\_2011\\_hoch.pdf](http://www.lit.lnt.de/papers/isplc_2011_hoch.pdf). Hakupäivä 6.1.2012.
17. Kivelä, Risto 2011. Toimitusjohtaja, Housemate OY. Yritysvierailu.

## **LIITTEET**

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Sähkökaaviokuva Oulun seudun ammattikorkeakoulun laboratoriosiivestä

Liite 3 Testauspiste 1; A-rapun kellari

Liite 4 Testauspiste 2; A-rapun käytävä

Liite 5 Testauspiste 4; Autojen lämmityspaikat

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä \_\_\_\_\_

Tilaaja \_\_\_\_\_

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Työn nimi \_\_\_\_\_

Työn kuvaus \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Työn tavoitteet

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Tavoiteaikataulu

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

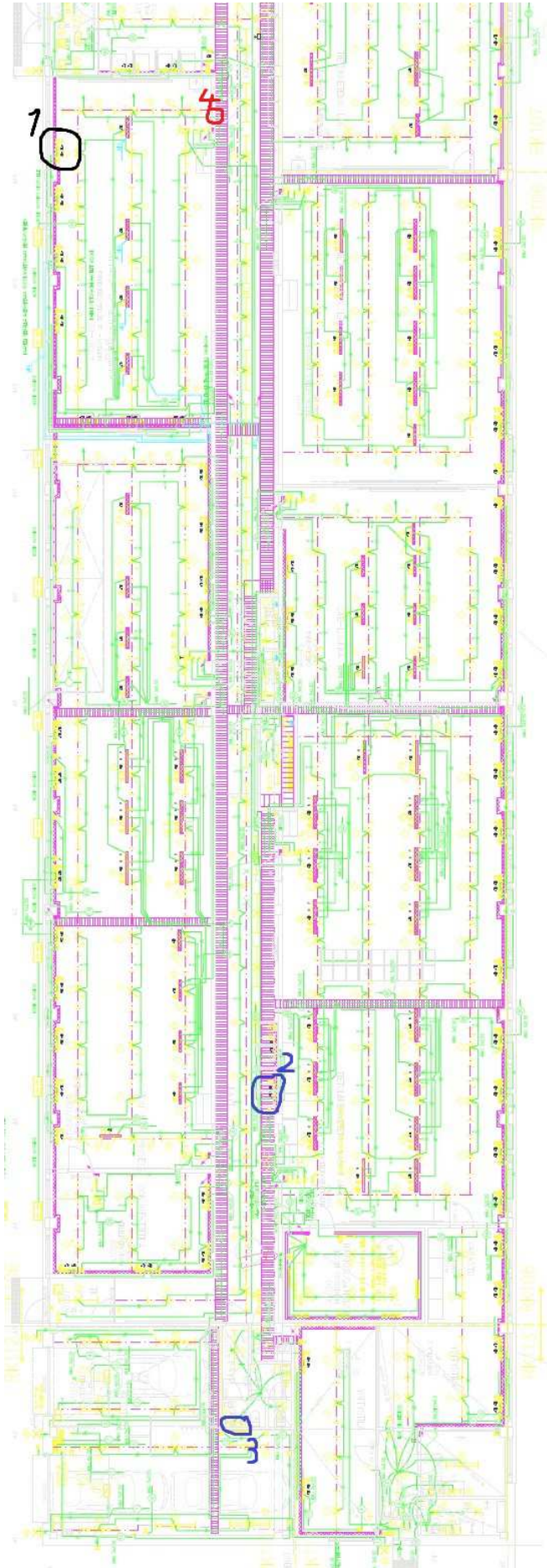
\_\_\_\_\_

Päiväys ja allekirjoitukset

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



KUVA 10.

```
Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 24dB; Strength: -54dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 21dB; Strength: -54dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 21dB; Strength: -54dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 24dB; Strength: -54dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info <Request to DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -60dB
Source Info <Response from DEVICE:1>:
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
DEVICE:1>
[Jan 05 16:56:12] (97 of 100) Sending 4 bytes of data
[Jan 05 16:56:12] (98 of 100) Sending 4 bytes of data
[Jan 05 16:56:13] (99 of 100) Sending 4 bytes of data
[Jan 05 16:56:13] (100 of 100) Sending 4 bytes of data
RESULT: No failures
DEVICE:1>
```

KUVA 17. Signaalitasot ja pakettivirheet PL 3150



```

DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 21dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 0
  Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 0
  Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 21dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 21dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 21dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
DEVICE:2> _
[Jan 05 17:14:30] (99 of 100) Sending 4 bytes of data
[Jan 05 17:14:30] (100 of 100) Sending 4 bytes of data
RESULT: No failures
DEVICE:2>

```

KUVA 18. Signaalitasot ja pakettivirheet PL3120

```

[Jan 15 20:30:36] (99 of 100) Sending 20 bytes of data
[Jan 15 20:30:37] (100 of 100) Sending 20 bytes of data
RESULT: No failures
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 18dB; Strength: -54dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
  Channel: Secondary; Margin: 15dB; Strength: -60dB
DEVICE:2>

```

KUVA 19. Signaalitasot ja pakettivirheet PL3150

```

DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:1):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 0dB; Strength: -72dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 9dB; Strength: -66dB
DEVICE:1>
[Jan 17 10:35:57] (99 of 100) Sending 15 bytes of data
[Jan 17 10:35:58] (100 of 100) Sending 15 bytes of data

RESULT: No failures
DEVICE:1> _

```

*KUVA 20. Signaalitasot ja pakettivirheet. Pistorasia 1 Klo 10:35, PL 3120*

```

DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 0dB; Strength: -72dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 12dB; Strength: -60dB
DEVICE:2> Signal strength
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Primary; Margin: -3dB; Strength: -66dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Primary; Margin: -6dB; Strength: -66dB
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 3dB; Strength: -72dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 12dB; Strength: -60dB
DEVICE:2> _
[Jan 17 10:40:01] (99 of 100) Sending 14 bytes of data
[Jan 17 10:40:01] (100 of 100) Sending 14 bytes of data

RESULT: No failures
DEVICE:2>

```

*KUVA 21. Signaalitasot ja pakettivirheet. Pistorasia 2 Klo 10:40, PL 3150. Ensimmäisessä signaalitestissä testi onnistuu vain varakantaaollolla, kun toisella testillä kerralla testi onnistuu kummallakin kantaolla*

```

DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: -6dB; Strength: -84dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: -3dB; Strength: -78dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Query signal: Could not communicate with the node
[Jan 15 21:00:30] (99 of 100) Sending 14 bytes of data
Send message: Could not communicate with the node
[Jan 15 21:00:31] (100 of 100) Sending 14 bytes of data
Send message: Could not communicate with the node

RESULT: 99 of 100 messages failed (99.00%)
DEVICE:2> _

```

*KUVA 22. Signaalitasot ja pakettivirheet. Pistorasia 1 Klo 21:00, PL3150*

```
Send message: Could not communicate with the node  
[Jan 15 21:16:51] <100 of 100> Sending 7 bytes of data  
Send message: Could not communicate with the node  
RESULT: 98 of 100 messages failed <98.00%>  
DEVICE:2>
```

*KUVA 23. Pakettivirheet. Pistorasia 2, PL3150*

```

DEVICE:2> Signal strength
Target Info (Request to DEVICE:2):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 27dB; Strength: -36dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 18dB; Strength: -42dB
Target Info (Request to DEVICE:2):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 36dB; Strength: -36dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 33dB; Strength: -42dB
DEVICE:2>
[Jan 15 21:55:41] (99 of 100) Sending 13 bytes of data
[Jan 15 21:55:41] (100 of 100) Sending 13 bytes of data
RESULT: No failures

```

Kuva 24. Tolppa 1 ilta

```

DEVICE:1> Signal strength
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 27dB; Strength: -30dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Primary; Margin: 21dB; Strength: -36dB
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -30dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -36dB
DEVICE:1>
[Jan 17 10:58:34] (99 of 100) Sending 9 bytes of data
[Jan 17 10:58:35] (100 of 100) Sending 9 bytes of data
RESULT: No failures
DEVICE:1> _

```

Kuva 25. Tolppa 1 päivällä

```

Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 27dB; Strength: -30dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 1; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 0
Channel: Primary; Margin: 18dB; Strength: -36dB
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 39dB; Strength: -36dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 36dB; Strength: -36dB
DEVICE:1>

```

Kuva 26. Tolppa 2 päivällä PL 3120. Paketti virhe testissä ei virheitä

```
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 9dB; Strength: -66dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 6dB; Strength: -66dB
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 6dB; Strength: -66dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 6dB; Strength: -66dB
DEVICE:2> _
[Jan 17 11:22:46] (98 of 100) Sending 11 bytes of data
[Jan 17 11:22:47] (99 of 100) Sending 11 bytes of data
[Jan 17 11:22:47] (100 of 100) Sending 11 bytes of data
RESULT: 3 of 100 messages failed ( 3.00%)
DEVICE:2>
```

*KUVA 27. Tolppa 2 talon vastakkaisella puolella, PL3150*

```
DEVICE:2> Signal strength
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Primary; Margin: 0dB; Strength: -60dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Primary; Margin: -6dB; Strength: -66dB
Target Info (Request to DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: -6dB; Strength: -72dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
  Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
  Channel: Secondary; Margin: 3dB; Strength: -72dB
[Jan 17 13:59:51] (49 of 50) Sending 11 bytes of data
Send message: Could not communicate with the node
[Jan 17 13:59:54] (50 of 50) Sending 11 bytes of data
Send message: Could not communicate with the node
RESULT: 35 of 50 messages failed (70.00%)
DEVICE:2>
```

*KUVA 28. Tolppa 3, PL3150. PL3120 ollessa kiinni yhteyttä ei saatu*

```
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 9dB; Strength: -66dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: -6dB; Strength: -78dB
DEVICE:1> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 6dB; Strength: -66dB
Source Info (Response from DEVICE:1):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 0dB; Strength: -72dB
DEVICE:1>
[Jan 17 11:27:12] (99 of 100) Sending 14 bytes of data
Send message: Could not communicate with the node
[Jan 17 11:27:16] (100 of 100) Sending 14 bytes of data
RESULT: 12 of 100 messages failed (12.00%)
DEVICE:1>
```

*KUVA 29. Tolppa 6 talon vastakkaisella puolella. PL3120*

```
DEVICE:2> Signal strength
Query signal: Could not communicate with the node
Target Info (Request to DEVICE:2):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 0 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 9dB; Strength: -66dB
Source Info (Response from DEVICE:2):
Version: 5; Band-In-Use: 0; Packet Error: 1 OneAndOnlyOne: 1
Channel: Secondary; Margin: 0dB; Strength: -72dB
DEVICE:2>
[Jan 17 11:41:14] (99 of 100) Sending 16 bytes of data
[Jan 17 11:41:16] (100 of 100) Sending 16 bytes of data
Send message: Could not communicate with the node
RESULT: 32 of 100 messages failed (32.00%)
DEVICE:2>
```

*KUVA 30. Tolppa 6 talonvastakkaisella puolella auton sisällä. PL3150*