

Tuomas Aaltonen

# Langattoman lähiverkon suunnittelu ja toiminnan varmentaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Tietotekniikka  
Insinöörityö  
15.2.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuomas Aaltonen Langattoman lähiverkon suunnittelu ja toiminnan varmentaminen 65 15.2.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaajat	CTO, 7signal Ltd, Veli-Pekka Ketonen Yliopettaja Antti Koivumäki

Tässä insinööriyössä esitetään langattoman lähiverkon suunnittelu ja toiminnan varmentaminen yrityksen käyttöön. Tarkoituksena on esittää vaiheet verkkosuunnitelmasta toteutukseen sekä langattoman verkon laadun verifiointiin ja optimointiin.

Insinööriyön teoriaosuudessa käsitellään IEEE 802.11-standardeja ja WLAN-tekniikkaa yleisesti. Tämän lisäksi tuodaan esille asioita, joita tulee huomioida verkkosuunnitelmassa.

Teoriaosuudessa esitetään myös langattoman lähiverkon laadun verifiointiin käytettävän 7signal Sapphire -järjestelmä, joka on tällä hetkellä maailmassa ainoa WLAN-verkon automaattinen laadunvalvontajärjestelmä.

Langattoman lähiverkon toteutus tehtiin projektina Ab Hedengren Oy:n Lauttasaaren toimistotiloihin, jonka viisi kerrosta kattaa yhteensä noin 6000 m<sup>2</sup>. Tässä insinööriyössä esitetään suunnitteluprosessi kokonaisuudessaan sekä kahden kerroksen toteuttaminen ja laadunverifiointi 7signal Sapphire -järjestelmän avulla.

Projektiosuuden vaiheessa 1 laaditaan verkkosuunnitelma Hedengrenin langattomalle verkolle. Suunnitelmavaiheessa tehdään esikartoitus asiakkaan tiloihin ja tehdään alustavia mittauksia testilähettimien avulla. Esikartoituksen perusteella laaditaan simulaatiokuvat tulevasta peittoalueesta ja tulevista tukiasema sijainneista käyttämällä EkaHau Site Survey -työkalua.

Projektin vaiheessa 2 tehdään käyttöönottomittaus, jolla varmistetaan WLAN-verkon suorituskyky suunnitellulla tavalla. Käyttöönottomittaus sisältää mm. peittoaluemittauksen, mahdollisten häiriöiden paikantamisen ja suorituskyvyn verifiointin käyttäjän perspektiivistä. Häiriöiden paikantamisessa ja WLAN-verkon suorituskykymittauksissa, käytetään apuna 7signal Sapphire -laadunvalvontajärjestelmää.

Projektissa osoittautui EkaHau- ja 7signal Sapphire -työkalujen hyödyllisyys langattoman verkon suunnittelussa ja suorituskyvyn verifiointisessa. Työkalujen avulla saatiin tarkka arvio tarvittavasta tukiasemamäärästä ja tukiasemien sijainneista kohteessa. Simulaatiokuvat peittoalueesta osoittautuivat lopullisessa peittoaluemittauksessa tarkoiksi. 7signal Sapphire -järjestelmän hyödyntäminen antoi näkymän verkon suorituskyvystä käyttäjän näkökulmasta ja mahdollisti verkon suorituskyvyn optimoinnin ja mahdollisten muutosten vaikutusten verifiointin.

Avainsanat	WLAN, laadunvalvonta, 7signal, 802.11
------------	---------------------------------------

Author(s) Title Number of Pages Date	Tuomas Aaltonen Network Planning and Quality of Service Verification for Wireless Local Area Networks 65 15 February 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Information technology
Specialisation option	Telecommunication
Instructors	Veli-Pekka Ketonen, CTO of 7signal Ltd Antti Koivumäki, Senior lecturer

This thesis describes a planning and quality of service verification method for enterprise level wireless local area networks. The purpose of this work is to document the project phases from network planning through WLAN quality assurance and optimization.

The theoretical part of this thesis discusses the IEEE 802.11 standards and WLAN technology in general. In addition, it covers some things that installers should pay attention to during network planning.

The theoretical part also introduces 7signal Sapphire – a hardware and software system solution for network monitoring and wireless system optimization. 7signal Ltd is currently the only company in the world that provides a tool for automatic WLAN quality assurance monitoring.

The wireless local area network implementation was carried out as a project in Hedengren Ltd's office premises in Lauttasaari, Helsinki. The premises consist of six floors covering a total of 6000 square meters. This thesis covers the entire planning process including the implementation phase and quality assurance phase, with the 7signal Sapphire product on two floors.

At the project phase 1, a network plan is developed for Hedengren's wireless network. In the phase of network planning, survey is done at the customer site and initial measurements are done with test transmitters. Based on survey, simulated coverage area heat maps are made with the use of EkaHau Site Survey Planning Tool.

In project phase 2, a deployment measurement is done which verifies that the Wi-Fi network performs as planned. A deployment measurement includes coverage area measurements, locating any possible interference sources, and performing verification testing from the client's point of view. Locating interference sources and taking WLAN performance measurements are accomplished using the 7signal Sapphire performance optimization system.

The project results prove the benefits of EkaHau tools and the 7signal Sapphire performance optimization tools, in accurate network planning and quality assurance. The EkaHau Site Survey tool gave an accurate estimate of the number of access points needed and their required locations. The simulated coverage area pictures proved to be very accurate when compared to actual coverage area measurements. The 7signal Sapphire tools offered the benefit of observing how real clients were performing in the network and provided a means for optimizing network performance while verifying the impact of those changes.

Keywords	WLAN, wireless quality assurance, 7signal, 802.11
----------	---

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	IEEE 802.11 ja langattomat lähiverkkotekniikat	2
2.1	IEEE 802.11 – WLAN-standardit ja niiden keskeiset ominaisuudet	2
2.1.1	802.11b	3
2.1.2	802.11a	4
2.1.3	802.11g	4
2.1.4	802.11n	5
2.2	802.11n-2009:n laajennus ja tekniikat	5
2.2.1	MIMO ja tilallinen limitys (Spatial Multiplexing)	5
2.2.2	HT-kanavat	7
2.2.3	Lyhyt turvaväli (Short Guard Interval)	7
3	Verkkosuunnitelma	8
3.1	Yleistä	8
3.2	Ympäristön huomioiminen	8
3.3	Peittoalue	9
3.4	Käyttötarve	9
3.5	Kanvasuunnittelu	10
3.6	SSID:t ja verkkotopologiat	11
3.7	Salauk- ja autentikointimenetelmät	12
3.8	Kohteen esikartoitus	12
4	7signal Sapphire – langattoman verkon laadunvalvontajärjestelmä	13
4.1	7signal Sapphire – langattoman verkon laadunvalvontajärjestelmä	13
4.2	Sapphire Eye – monitorointiyksikkö	14
4.3	Sapphire Carat	15
4.4	Sapphire Sonar	16
4.5	Sapphire Analyzer – analysointityökalu	17
5	Projekti Hedengren – Vaihe 1	19
5.1	Projektin aikataulu ja vaiheistus	19

5.2	Tarjouspyynnöt tarvittavista laitteista ja konfiguroinneista	19
5.3	Hedengrenin langattoman verkon laitteet	20
5.3.1	WLAN-kontrolleri ja tukiasemat	20
5.3.2	Ulkoiset antennit	21
5.4	EkaHau Site Survey -työkalun hyödyntäminen verkkosuunnitelmassa	22
5.4.1	Pohjapiirrosten liittäminen Site Survey -työkaluun	22
5.4.2	Seinäateriaalien vaimennusten huomioiminen	24
5.5	Simuloidun peittoaluekuvan arvioiminen	27
5.6	Kohteen kartoitus	29
5.6.1	Yläkellari	29
5.6.2	1. kerros	30
5.7	Verkkosuunnitelma	32
	Yläkellari 2,4 GHz	32
	Yläkellari 5,0 GHz	33
	1. Kerros 2,4 GHz	34
	1. Kerros 5,0 GHz	35
5.8	Tukiasemien asennuspaikat	35
5.8.1	Yläkellari	35
5.8.2	Kerros 1.	39
5.9	Hedengren langattoman verkon SSID:t	46
6	Projekti Hedengren – Vaihe 2	47
6.1	Peittoalueen verifiointi	47
6.2	Käyttöönottomittaus	48
6.2.1	Yhdistetty palvelutasonnäkö (SLA)	49
6.2.2	Radioympäristön tila	51
6.2.3	Verkon saatavuus	54
6.2.4	Sovellustason tulokset	56
6.3	Vaihe 2 – Yhteenveto	63
7	Yhteenveto	63
	Lähteet	65
	Liitteet	
	Liite 1. Aruba AP-104 tukiaseman tekniset ominaisuudet	
	Liite 2. Aruba 3200 – WLAN-kontrollerin tekniset ominaisuudet	
	Liite 3. 2,4/5.8 GHz 4 dBi Spatial Diversity MIMO Ceiling Antenna	
	Liite 4. TerraWave 802.11n 2,4/5 GHz 6/7 dBi MIMO Patch Antenna	

Liite 5. Sapphire Eye -valvontayksikön tekniset tiedot

Liite 6. Simuloidut peittoaluekuvat kerroksissa 2, 3 ja 4



## Lyhenteet

802.11	IEEE:n laatima standardi langattomille lähiverkoille.
BSS	Basic Service Set, liityntäpiste tukiasemallisessa langattomassa verkossa.
BSSID	Basic Service Set Identifier, WLAN tukiaseman verkkotunnisteen yksilöivä fyysinen osoite; MAC-osoite.
BYOD	Bring Your Own Device, termi siitä, kun työntekijät tuovat työpaikan verkkoon myös omia mobiilipäätelaitteita.
dB	Desibeli, tehosuureiden vertailuyksikkö logaritmisella asteikolla. Käytetään usein ilmaisemaan signaalin vahvistusta ja vaimenemista.
dBi	Antennin vahvistus verrattuna isotrooppiseen säteilijään.
dBm	Desibelimäärä suhteessa milliwattiin.
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications, standardi, jota yleensä hyödynnetään langattomissa puhelimissa
DL	Downlink, tiedonsiirtosuunta tukiasemalta käyttäjälle.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, hajaspektritekniikka.
EAP	Extensible Authentication Protocol, tunnistusprotokolla jota hyödynnetään WLAN-verkoissa.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum, hajaspektritekniikka.
FTP	File Transfer Protocol, TCP-pohjaisissa verkoissa käytetty tiedonsiirto protokolla.

IBSS	Independent Basic Service Set, langattoman Ad-hoc verkon verkkotunniste.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikanalan järjestö.
ISI	Intersymbol Interference, symbolien keskinäinen häiriö.
ISM	Industrial, Scientific and Medical band, maailmanlaajuinen lisenssivapaa radiotaajusalue.
LAN	Local Area Network, lähiverkko.
KPI	Key Performance Indicator, suorituskykyilmaisim.
Mbps	Megabittiä per sekunti, tiedonsiirtonopeuden yksikkö.
MIMO	Multiple-in-Multiple-out, tekniikka, jossa hyödynnetään useampaa antennia signaalin lähetyksessä ja vastaanotossa. Tarkoituksena parantaa tiedonsiirtonopeutta ja signaalinvoimakkuutta.
MOS	Mean Opinion Score, mittausaste, jolla kuvataan puheenlaatua puhelin- ja VoIP-verkoissa.
mW	Milliwatti, SI-järjestelmän tehon ja säteilyvirran yksikkö.
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, modulointitekniikka.
PoE	Power-over-Ethernet, tekniikka, jonka avulla voidaan hyödyntää Ethernet-parikaapelia virransyötössä.
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service, protokolla, jolla tunnistetaan käyttäjä verkossa.
RF	Radio Frequency, radiotaajuus.

RP-SMA	Antenniliitäntä.
RSSI	Received Signal Strength Indicator, vastaanotetun radiosignaalin voimakkuus.
RTLS	Real Time Locating System, reaaliaikainen paikannusjärjestelmä.
SISO	Single-Input-Single-Output, yhden antennin käyttäminen signaalin lähetyksessä ja vastaanotossa.
SLA	Service Level Agreement, laadunvalvonnan suoritustaso, joka määritetään verkon tarpeiden mukaan. Yleensä havainnollistetaan prosenttiyksiköissä.
SSID	Service Set Identifier, langattoman lähiverkon verkkotunnus.
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio, seisovan aallon suhde. Suhdeluku ilmaisee syöttöjohdon ja antennin impedanssin välisen suhteen, jonka avulla voidaan laskea antennista takaisin lähettimeen heijastuva teho.
UDP	User Datagram Protocol, yhteydetön tiedonsiirto protokolla, jota käytetään muun muassa reaaliaikaisen liikenteen välityksessä.
UL	Uplink, tiedonsiirtosuunta käyttäjältä tukiasemalle.
U-NII	The Unlicensed National Information Infrastructure, radiotaajuusalue, jota hyödynnetään WLAN-tekniikassa.
Wi-Fi	Termi, jonka merkitys on oikeastaan synonyymi WLAN-lyhenteen kanssa. Käytetään yleisesti puhuttaessa langattomista verkoista ja kaupallisista WLAN-tuotteista.
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka, jossa yhteys verkkoon tai Internetiin luodaan langattomasti.
VoIP	Voice over Internet Protocol, äänen siirto Internetin välityksellä.

VoWLAN Voice over WLAN, VoIP-tekniikan hyödyntäminen langattoman verkkoyhteyden yli.

## 1 Johdanto

Langattomat verkot ovat viime vuosien aikana kasvattaneet merkittävästi suosiota yritysten ja julkisen sektorin alaisuudessa. WLAN on nykyään joka puolella: kouluissa, sairaaloissa, kauppakeskuksissa, lentokentillä, varastoissa ja työpaikoilla. Ympäristökijöillä on merkittävä vaikutus huolellisen WLAN-verkon suunnittelun kannalta. Radioympäristö on erittäin häiriöaltis kaikenlaisille muutoksille ja jokaisessa ympäristössä on omat haasteensa.

Yhä useammat massamarkkinoilla olevat tekniset laitteet hyödyntävät tänä päivänä 2,4 GHz:n vapaata ISM-taajuusalueetta kuormittaen jo entuudestaan korkealla olevaa käyttöastetta ja häiritsemällä samoilla kanavilla operoivia WLAN-tukiasemien b/g/n-radioita. Dual-band-tukiasemat ja 5 GHz:n taajuuden hyödyntäminen ovat tuoneet WLAN-utilisaatioon 2,4 GHz:lla helpotusta, mutta käytössä on kuitenkin edelleen paljon kannettavia tietokoneita, joiden verkkokortista ei löydy tukea 5 GHz:n kanavan käytölle.

WLAN-verkkojen käyttöaste tulee nousemaan BYOD:n myötä tulevien vuosien aikana merkittävästi, kun työntekijät tuovat omia mobiilipäätelaitteita yrityksen verkkoon. Älypuhelinien ja tablettitietokoneiden markkinat kukoistavat, ja laitteiden määrä verkossa kasvaa entisestään. Joidenkin arvioiden mukaan esimerkiksi yliopistojen langattomien verkkoja käyttävä päätelaitemäärä voi tuplaantua tai triplaantua vuodesta 2012 vuoteen 2015 mennessä.

Lisää tuskaa verkon ylläpitäjien tulevaisuuden näkymiin tuovat reaaliaikaisen dataliikenteen, kuten videon ja äänen lisääntyvä käyttö langattomissa verkoissa. VoWLAN tarjoaa haasteen langattoman verkon suunnittelussa ja oikeiden verkko konfiguraatioiden löytämisessä.

Myös reaaliaikaisten paikantamisjärjestelmien käyttöaste on lisääntynyt esimerkiksi sairaaloiden käytössä. Idea on verrattavissa GPS-paikantimeen, mutta paikantamisessa hyödynnetään WLAN-infrastruktuuria ja 2,4 GHz:n vapaata ISM-taajuusalueetta.

WLAN:n suorituskyky on aina ollut verkonylläpitäjille mysteeri, ja oikeat työkalut ovat puuttuneet langattoman verkon toiminnan analysointiin. 7signal tarjoaa tähän ongelmaan ratkaisua tarjoamalla tuotteen, jonka avulla kyetään seuraamaan WLAN / LAN-verkon suorituskykyä käyttäjän näkökulmasta sekä havaitsemaan radiorajapinnassa ilmaantuvia muutoksia.

Opinnäytetyöni toimeksiantaja on 7signal Oy. 7signal Oy on vuonna 2006 perustettu langattoman verkon laadunvalvontaan keskittynyt yritys, joka tarjoaa ratkaisun WLAN-verkon suorituskyvyn optimointiin ja ongelmien havaitsemiseen. Opinnäytetyöni perustuu osana projektiin, jossa toteutettiin yritystason WLAN-verkko Hedengren Oy:n toimistotiloihin Lauttasaareen.

Opinnäytetyöni jakautuu kahteen suurempaan kokonaisuuteen. Teoria osuudessa esitetään IEEE:n 802.11-standardeja ja WLAN-tekniikkaa yleisellä tasolla sekä käydään läpi yleisiä menetelmiä, jotka tulee huomioida langattoman verkon suunnittelussa. Tämän jälkeen esitetään tarkemmin 7signal Sapphire -järjestelmää, jota käytetään WLAN-verkon toiminnan verifiointissa.

Projektiosuus on jaettu kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa esitellään tarvittava laitteisto, joka kattaa Hedengrenin langattoman verkon tarpeet, sekä käydään läpi tarkemmin verkon suunnitteluprosessia. Toisessa vaiheessa suoritetaan verkon käyttöönottomittaus, jonka tarkoituksena on todentaa verkon suorituskyky suunnitellulla tavalla. Käyttöönottomittauksessa hyödynnetään 7signal Sapphire -järjestelmää.

## **2 IEEE 802.11 ja langattomat lähiverkkotekniikat**

### **2.1 IEEE 802.11 – WLAN-standardit ja niiden keskeiset ominaisuudet**

IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) on maailmalaajuinen tekniikanalan järjestö, johon kuuluu yli 400 000 jäsentä. Järjestön missiona on edistää teknologista innovaatiota ihmiskunnan hyödyksi. Yksi järjestön tehtävistä on alan keskeisten standardien määrittely. [6, s. 13.]

IEEE on varmasti parhaiten tunnettu sen lähiverkko (LAN) standardeista, joita kutsutaan 802-projektiksi. IEEE-projektit on jaettu työryhmiin, jotka kehittävät standardeja tiettyjen tarpeiden mukaisiksi. Esimerkiksi työryhmällä 802.3 oli vastuu luoda standardi Ethernet-tekniikalle ja vastikään työryhmällä 802.11 langattomalle lähiverkkotekniikalle (WLAN). Numerot määräytyvät sitä mukaa, kun uusia työryhmiä muodostetaan, joten numero 11 viittaa siihen, että kyseessä oli yhdestoista työryhmä IEEE:n 802-projektissa. IEEE 802.11 -teknologia, tai paremmin tunnettuna WLAN tai Wi-Fi, on standardoitu tekniikka, joka tarjoaa langattoman ratkaisun lähiverkkoyhteyksille käyttäen tiedonsiirrossa radiotaajuuksia. [6, s. 13.]

Alkuperäinen 802.11-standardi julkaistiin heinäkuussa 1997. Se toimi vapaalla ISM-taajuusalueella 2400–2483.5 MHz ja sen nimellisa nopeudet olivat 1 Mbit/s ja 2 Mbit/s. Standardi määrittelee kolme fyysisen kerroksen tiedonsiirtomenetelmää, jotka ovat FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ja infrapuna. [6, s. 13.]

DSSS- ja FHSS-tekniikat ovat molemmat hajaspektritekniikoita. Hajaspektritekniikassa ominaista on, että käytettävä kaista jaetaan jokaisen lähettäjän kesken. Ulkopuoliselle viesti näyttää taustakohinalta. FHSS oli ensimmäisen kerran käytössä jo toisen maailmansodan aikaan, ja se perustuu taajuushyppelyyn, jossa lähetyskanavaa vaihdetaan jatkuvasti tietyn algoritmin mukaisesti. FHSS-tekniikan maksimitiedonsiirtonopeus on 2 Mbit/s, eikä se ole enää käytössä modernissa WLAN-tekniikassa. DSSS on toinen hajaspektritekniikka, joka on yhä käytössä nykyäänkin WLAN-tekniikassa. Se perustuu suorasekvensointiin, jossa lähetettävä bittijono jaetaan pienempiin osiin ja lähetetään samanaikaisesti käyttäen koko kaistaa. DSSS:n maksimitiedonsiirtonopeus on 11 Mbit/s. DSSS- ja FHSS-tekniikat eivät ole yhteensopivia keskenään. [8; 6, s.14, 15.]

### 2.1.1 802.11b

Vuoden 1999 aikana IEEE julkaisi kaksi uutta standardia, joita olivat 802.11a ja 802.11b. Tavoitteena oli saavuttaa suurempi datanopeus 2,4 GHz:n ISM-taajuuksilla. 802.11b-laajennus perustui uuteen bittijonon hajautustekniikkaan, missä standardiin pohjautuvat radiolaitteet käyttävät CCK-hajautusta (Complementary Code Keying). Tämä mahdollisti 802.11b-laitteille bittinopeuksien 1 ja 2 lisäksi 5,5 ja 11 Mbps. 5,5 ja

11 Mbps bittinopeudet tunnetaan myös termillä HR-DSSS (High-Rate DSSS). 802.11b-laitteet ovat taaksepäin yhteensopivia 802.11-laitteiden kanssa. [6, s. 16 – 17.]

### 2.1.2 802.11a

Samana vuonna, kun 802.11b julkaistiin, julkaistiin myös toinen tärkeä standardi, 802.11a. Standardi määrittä 802.11-tekniikan operoimaan uudella U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) -taajuuskaistalla. 802.11a-kortit pystyvät operoimaan taajuuksilla 5,150 – 5,350 GHz ja 5,475 - 5,725 GHz (EU). Taajuusrajat vaihtelevat kuitenkin maakohtaisesti. Yksi syy uuden taajuuskaistan käyttöön oli se, että 2,4 GHz on paljon ruuhkaisempi ja häiriöalttiimpi kuin 5 GHz:n UNII-kaistat. 2,4 GHz:a käyttävät myös WLAN-laitteiden lisäksi mikroaaltouunit, Bluetooth, langattomat DECT-puhelimet, videokamerat ja monet muut laitteet. [6, s.17.]

802.11a-standardin määritelmän mukaan tulee laitteiden tukea datanopeuksia 6, 12, 24 sekä maksimia 54 Mbps. Suurin osa 802.11a-laitteista tukee OFDM-tekniikan myötä (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) myös datanopeuksia 9, 18, 36 ja 48 Mbps. OFDM-tekniikassa käytetään eri modulointimenetelmiä, joita ovat DBPSK, DQPSK, 16-QAM ja 64-QAM. OFDM-tekniikka perustuu siihen, että kanava pilkotaan 52 kapeakaistaiseen alikanavaan ja signaali lähetetään samanaikaisesti rinnakkain hyödyntäen kaikkia alikanavia. 48 alikanavaa on tarkoitettu tiedonsiirtoon ja 4 kanavaa jää virheenkorjaukselle. [9, s. 123, 129, 131.]

### 2.1.3 802.11g

Vuonna 2003 IEEE julkaisi uuden standardin 802.11g, joka on taaksepäin yhteensopiva 802.11b-standardin kanssa. Pää tavoitteena oli kehittää 802.11b fyysisen kerroksen (PHY) tiedonsiirtotekniikkaa. Standardille pakollisia tekniikoita ovat ERP-OFDM (Extended Rate Physical-OFDM) sekä ERP-DSSS/CCK. ERP-OFDM ei teknisesti eroa ollenkaan OFDM:stä vaan OFDM-lyhenteellä viitataan yleensä 802.11a laitteisiin ja ERP-OFDM:llä 802.11g-laitteisiin, jotka käyttävät siis eri taajuutta. Sama pätee myös DSSS:ään ja ERP-DSSS/CCK:hon. [6, s. 19.]



802.11g-standardin mukaisilla laitteilla saavutetaan 2,4 GHz:n taajuudella datanopeudet 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ja 54 Mbps. 802.11g-standardi on hyvin vahvasti käytössä vielä tämän päivän langattomissa verkoissa. [6, s. 19.]

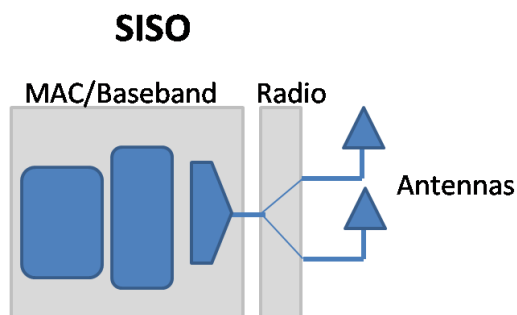
#### 2.1.4 802.11n

802.11n-2009 lisäosa julkaistiin syyskuussa vuonna 2009, ja se toi mukanaan uusia tekniikoita, joiden avulla päästiin yli 100 Mbps tiedonsiirtonopeuksiin teoreettisen maksiminopeuden ollessa 600 Mbps. 802.11n-standardin ehkä merkittävin uudistus on fyysisellä kerroksella käytettävä MIMO-tekniikka (Multiple-in-Multiple-out), jonka avulla pystytään kerralla hyödyntämään useampaa radiota ja antennia.

### 2.2 802.11n-2009:n laajennus ja tekniikat

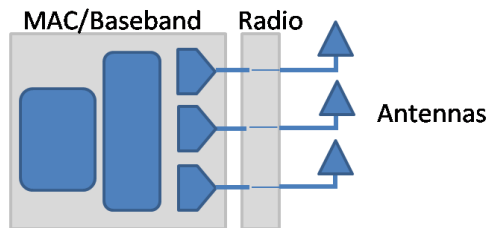
#### 2.2.1 MIMO ja tilallinen limititys (Spatial Multiplexing)

MIMO poikkeaa tavallisesta SISO (Single Input Single Output) -tekniikasta siinä, että MIMO käyttää useampaa kuin yhtä radioketjua. Myös 802.11a/g-standardin tukiasemalla saattaa hyvin olla käytössään useampi antenni, mutta ne on kytketty samaan radiomoduuliin mikä muodostaa vain yhden radioketjun. Tällaisessa tilanteessa toinen antenneista toimii diversiteettinä. 802.11n-standardin tukiasemissa antennit on kytketty eri radiomoduuleihin, ja jokainen antenni/radiopari muodostaa yhden radioketjun.



Kuva 1. Langaton SISO-järjestelmä, jossa kaksi antennia on kiinnitetty yhteen radiomoduuliin. Ylimääräinen antenni toimii diversiteettinä. [12]

## MIMO



Kuva 2. Langaton MIMO-järjestelmä, jossa useampi kuin yksi antenni on kiinnitetty erillisiin radiomoduuleihin, jotta niitä voidaan hyödyntää tiedonsiirrossa samanaikaisesti tilallista limitystä käyttäen. [12]

MIMO:a pystytään hyödyntämään myös muussakin kuin tiedonsiirron nopeuden parantamisessa. Aiemmin ongelmana olleessa signaalin monitie-etenemisessä sama signaali saapuu vastaanottimeen useammin kuin kerran, mikä johtuu signaalin luonnollisesta käyttäytymisestä ympäristössä. Signaalin törmätessä seiniin tai huonekaluihin voi se heijastua tai siihen voi syntyä taittumista, sirontaa tai diffraktiota. Monitie-eteneminen voi näkyä tavallisissa SISO-järjestelmissä amplitudin vaimenemisena vastaanottoantennissa ja datan korruptoitumisena. MIMO pystyy kuitenkin hyödyntämään monitie-etenemistä käyttämällä tilallista limitystä sekä erilaisia signaalikäsittelymenetelmiä. [6, s. 362–363.]

Useamman antennin hyödyntäminen mahdollistaa useamman datavirran (eng. spatial stream) siirtämistä rinnakkain, mikä takaa paremman tiedonsiirtonopeuden. Käytännössä kahden rinnakkaisen datavirran käyttäminen tuplaa tiedonsiirtonopeuden. 802.11n-standardissa maksimi MIMO on 4x4:4, millä päästään teoreettiseen maksiminopeuteen 600 Mbps.

MIMO-laitteita ilmaistaan yleensä muodossa  $A \times B : C$ , missä  $A$  on lähettimien lukumäärä,  $B$  vastaanottimien lukumäärä ja  $C$  käytettävien datavirtojen määrä (eng. spatial stream). Esimerkiksi 2x3:2 MIMO koostuu kolmesta radio ketjusta kahdella lähetin- ja kolmella vastaanottoantennilla. Tiedonsiirtoon pystytään hyödyntämään kahta datavirtaa. [6, s. 361.]

MIMO ei ole kuitenkaan ainoa eikä välttämätön ominaisuus 802.11n:ssä, millä saadaan parannettua tiedonsiirtonopeutta. Sen lisäksi on muitakin tekniikoita kuten 40 MHz:n

kanavat, lohkokuittaaminen, kehysten yhdistäminen, tehokkaampi modulaatio ja koodaus sekä lyhyet suojavälit. [12]

### 2.2.2 HT-kanavat

802.11n HT-radiot (High Throughput) käyttävät 20 MHz:n OFDM-kanavia, kun DSSS-kanavat ovat suuruudeltaan 22 MHz. 802.11n-radioiden käyttämät OFDM-kanavat ovat leveämpiä kuin aiemmillä 802.11/a/g-radiolla. 20 MHz:n ei HT:n 52 alikanavan sijasta HT-kanavissa käytetään 56 alikanavaa, jonka myötä tiedonsiirtonopeus kasvaa hieman. [6, s. 364.]

802.11n tuo myös mahdollisuuden n-radioiden käyttöä 40 MHz:n OFDM-kanavia. 40 MHz:n kanava käyttää yhteensä 114 OFDM-alikanavaa, joista kuusi on tarkoitettu virheenkorjaukselle. 40 MHz:n kanava on oikeastaan kahden vierekkäisen 20 MHz:n OFDM-kanavan liitos. Kukin 40 MHz:n kanava muodostuu primääri- ja sekundäärikanavasta. Näiden kanavien on oltava vierekkäisiä, jotta liitos voidaan tehdä. Sekundäärikanava voi olla joko ylä- tai alataajuudella primäärikanavaan nähden. HT40:ssä käytettävä kaista on yli kaksinkertainen 20 MHz:n kanavaan nähden, joten tiedonsiirtonopeus kasvaa yli kaksinkertaiseksi. [6, s. 364.]

### 2.2.3 Lyhyt turvaväli (Short Guard Interval)

Siirrettävät bitit, tai bittijonot eli symbolit, moduloidaan OFDM-kantoaalloksi. OFDM-symbolin bitit siirretään 20 MHz:n kanavalla käyttäen 48 alikanavaa. 802.11a/g-radiot käyttävät OFDM-symbolien välissä 800 nanosekunnin turvaväliä (Guard Interval). Turvaväliä käytetään ehkäisemään symbolien keskinäisiä häiriöitä (Intersymbol interference, ISI), jotka usein johtavat datan korruptoitumiseen. ISI aiheutuu signaalin monitie-etenemisestä. Kun sama signaali etenee useampaa reittiä, syntyy vastaanotettujen signaalien välille viivettä, jonka seurauksena uusi symboli voi saapua vastaanottiin ennen kuin vanha on vielä saapunut. Yleensä viiveen hajonta on noin 50–100 nanosekuntia ja maksimi noin 200 nanosekuntia. Turvavälin tulee olla noin kahdesta neljään kertaa viiveen hajonnan pituus. [6, s. 389.]

802.11n käyttää myös 800 nanosekunnin turvaväliä, mutta se mahdollistaa myös 400 nanosekunnin lyhyen turvavälin käytön. Lyhyen turvavälin käytöllä symboliaika pienee, jonka ansiosta tiedonsiirtonopeutta saadaan kasvatettua noin 10 %. Tämä kuitenkin voi johtaa joissain ympäristöissä siihen, että ISI:n määrä kasvaa, joka näkyy muun muassa päätelaitteiden uudelleenlähetyksinä. Uudelleenlähetykset pystytään havaitsemaan muun muassa käyttämällä 7signal Sapphire -laadunvalvontatyökalua. Tällaisessa tapauksessa SGI:n (Short Guard Interval) käytöllä on käänteinen vaikutus tiedonsiirtonopeuteen. SGI:tä tuleekin käyttää vain hyvissä vähähäiriöisissä radioympäristöissä. [6, s. 390.]

### **3 Verkkosuunnitelma**

#### 3.1 Yleistä

Verkkosuunnitelma tullaan aina tekemään asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Ensimmäinen askel on selvittää asiakkaalta hänen vaatimuksensa verkon suhteen. Joskus tarkan vastauksen saaminen asiakkaalta voi olla hankalaa, koska tarkkoja määrityksiä verkolle ei saada tai asiakas ei kaikkiin kysymyksiin osaa vastata. Tällöin suunnitteluvaiheessa pitää tehdä omia johtopäätöksiä ja oletuksia.

#### 3.2 Ympäristön huomioiminen

Tilat tai ympäristö, johon WLAN tullaan toteuttamaan, tulee huomioida verkkosuunnitelmassa. Mikäli tilat ovat avointa toimistotilaa, signaali etenee ympäristössä aivan erilailla kuin esimerkiksi varastossa, jossa on korkeita metallirunkoisia hyllyköitä, jotka ulottuvat lattiatasosta kattoon. Erilaiset seinämateriaalit, ilmastointihormit, portaikot ja muut RF-signaalia vaimentavat materiaalit on syytä ottaa huomioon, kun suunnitellaan, mihin tukiasemat tulisi sijoittaa. Paikat, mihin tukiasemia ei saa tai ei ole mahdollista asentaa, on hyvä myös olla tiedossa etukäteen. [3.]

Seinärakenteiden ja -materiaalien lisäksi tulee ottaa huomioon ympäristön ulkoisten häiriöiden ja mahdollisesti muiden ympäröivien langattomien verkkojen vaikutus tiloissa.

### 3.3 Peittoalue

Signaalinvoimakkuus ja peittoalue ovat ehkä merkittävin tekijä ajatellen verkkosuunnittelmaa. Suunnitteluvaiheessa on hyvä tietää, tuleeko peittoalue kattamaan esimerkiksi portaikot ja hissikulut tai onko kenties joitain tiettyjä alueita, mihin ei peittoaluetta tarvita tai haluta. Mikäli peittoalue halutaan kattamaan esimerkiksi portaikot tai hissikulut, tulee se vaikuttamaan huomattavasti tarvittavien tukiasemien määrään, koska tällaisissa ympäristöissä signaalin eteneminen on seinämateriaalien takia normaalia hankalampaa. [3.]

### 3.4 Käyttötarve

Käyttötarve on olennainen tieto suunnitteluvaiheessa. Asiakkaalta on hyvä tiedustella, mihin käyttöön yrityksen työntekijät langatonta verkkoa tulevat tarvitsemaan. Mikäli esimerkiksi VoIP on käytössä, se tulee huomioida peittoaluemittauksissa, signaalinvoimakkuuksissa sekä tukiaseman vaihtamisessa kuuluvuusalueen reunalla (roaming). Tällä on vääjäämätön vaikutus tukiasemien määrään kohteessa.

Lisäksi on hyvä tietää, minkälainen on kohteessa oleva laitekanta. Onko suurin osa käyttäjien päätelaitteista kannettavia tietokoneita ja tukevatko ne 802.11n-standardia. Vai onko käytössä esimerkiksi paikannuslaitteita, viivanlukijoita tai jotain muita langatonta verkkoa hyödyntäviä laitteita. Nykyään käyttäjillä on myös mobiililaitteita, kuten älypuhelimia ja tablettitietokoneita, joilla on myös pääsy langattomaan verkkoon. Laitteiden määrä verkossa vaikuttaa oleellisesti verkon kuormaan.

Yrityksellä saattaa olla myös käytössä joitain erikoissovelluksia, jotka toimivat langattomasti ja tarvitsevat toimiakseen jonkin minimitedonsiirtonopeuden.

Tukiasemakohtainen käyttäjämäärä vaihtelee valmistajakohtaisesti. Mitään tarkkaa määrää ei ole, mutta esimerkiksi langattomien verkkolaitteiden valmistaja Aruba antaa arvioksi noin 20 - 30 per radio. Eli tukiasemassa, missä on kaksi erillistä radiota, se tarkoittaa 40 - 60 käyttäjää. Yleisesti ottaen käyttäjämäärän kasvaessa myös suorituskyky heikkenee.[2, s. 11.]

### 3.5 Kanvasuunnittelu

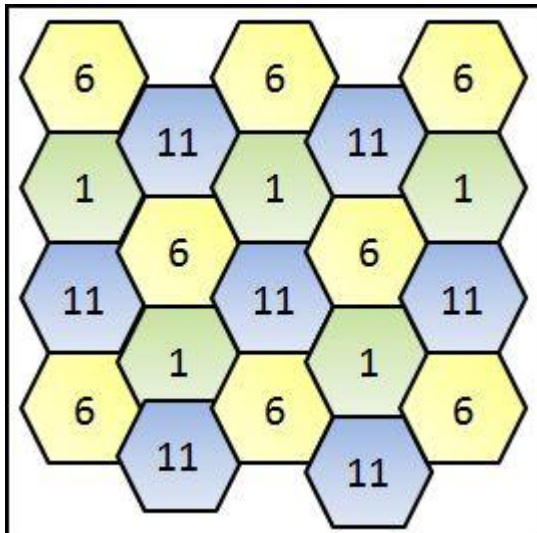
802.11b/g-standardin laitteet operoivat ISM-taajuusalueella, 2,4000 - 2,4835 GHz taajuuksien välillä. Standardi sallii 14 kanavan käytön, mutta nämä vaihtelevat maanosittain. Euroopassa kanavia on käytössä 13, mutta esimerkiksi USA:ssa vain 11. Kanavien keskitaajuudet on jaettu 5 MHz:n välein toisistaan ja yhden kanavan leveys on 22 MHz.

Koska vierekkäiset kanavat operoivat päällekkäisillä kanavilla, toistensa läheisyydessä ollessaan ne häiritsevät toisiaan ja heikentävät täten langattoman verkon suorituskykyä. Yleinen suositus on käyttää kanavia 1, 6 ja 11, jolloin päällekkäisyyttä ei kanavien kesken synny. Mikäli kanavakohtainen käyttötaso on korkea, voidaan kuitenkin harkita neljän kanavan hyödyntämistä, jolloin kanavat ovat 1, 5, 9, 13. [10.]

Mikäli RF-häiriötaso pysyy hyvin stabiilina eikä esimerkiksi kohteessa ole muiden yritysten langattomia verkkoja, jotka muuttuvat jatkuvasti, on suositeltavaa käyttää kiinteitä kanava-asetuksia. Mikäli taas kohteen RF-häiriötasot vaihtelevat paljon ja langattoman verkon ympäristö muuttuu jatkuvasti, voidaan käyttää automaattista kanavallokointia. Automaatiikan toiminta tulee kuitenkin varmentaa ja tarpeen vaatiessa siirtää kiinteisiin asetuksiin.

Taulukko 1. 802.11g-kanavat 2,4 GHz:n taajuudella

<b>Kanava</b>	<b>Keskitaajuus</b>	<b>Kaistanleveys</b>
1	2412 MHz	2401 MHz – 2423 MHz
2	2417 MHz	2406 MHz – 2428 MHz
3	2422 MHz	2411 MHz – 2433 MHz
4	2427 MHz	2416 MHz – 2438 MHz
5	2432 MHz	2421 MHz - 2443 MHz
6	2437 MHz	2426 MHz - 2448 MHz
7	2442 MHz	2431 MHz - 2453 MHz
8	2447 MHz	2436 MHz - 2458 MHz
9	2452 MHz	2441 MHz - 2463 MHz
10	2457 MHz	2446 MHz - 2468 MHz
11	2462 MHz	2451 MHz - 2473 MHz
12	2467 MHz	2456 MHz - 2478 MHz
13	2472 MHz	2461 MHz - 2483 MHz

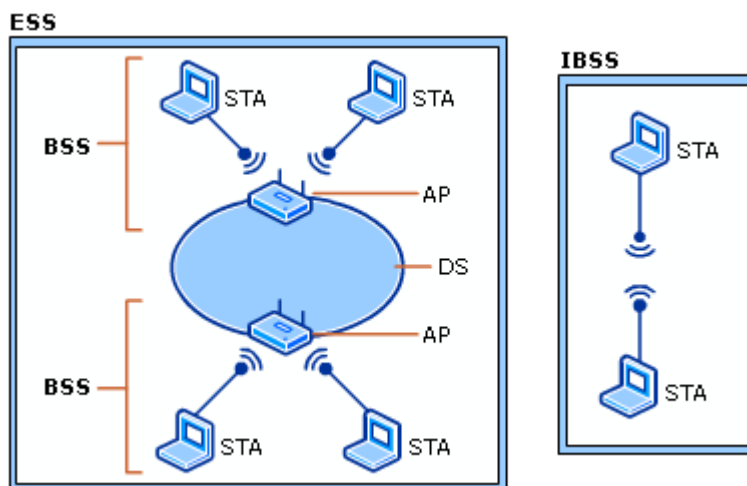


Kuva 3. Kanavasunnittelu malli 2,4 GHz:n taajuudelle

### 3.6 SSID:t ja verkkotopologiat

SSID (Service Set Identifier) on langattoman lähiverkon verkkotunnus. Sen avulla erotetaan samalla alueella olevat WLAN:t toisistaan. Tunnus lisätään jokaiseen pakettiin, joka verkossa liikkuu, jotta erotetaan eri verkkojen välinen liikenne toisistaan.

Olemassa on kahdentyyppisiä langattomia verkkoja, BSS (Basic Service Set) ja IBSS (Independent Basic Service Set). IBSS-verkko, eli Ad-hoc-verkko, koostuu päätelaitteista yhdistettynä toisiinsa. BSS-verkko koostuu tukiasemasta ja siihen yhdistetyistä päätelaitteista. ESS-verkko (Extended Service Set) koostuu useammasta BSS:stä. [13.]



Kuva 4. ESS-, BSS- ja IBSS-verkkorakenteet [13]

SSID:tä ja niiden parametreja suunnitellessa tulee ottaa huomioon, tuleeko kohteeseen esimerkiksi vierailijaverkko tai VoIP-palvelu. Mikäli pienimpiä datanopeuksia halutaan karsia pois, pitää olla varma siitä, että kohteessa ei ole käytössä päätelaitteita, jotka tarvitsevat kyseisiä nopeuksia liittyäkseen tukiaseman välittämään verkkoon.

### 3.7 Salaus- ja autentikointimenetelmät

SSID:tä suunnitellessa tulee myös ottaa huomioon niissä käytetyt autentikointi- ja salausmenetelmät. Yleisesti yritystason langattomissa verkoissa on käytössä jonkinlainen autentikointimenetelmä, jonka avulla käyttäjä tunnistetaan. Autentikoinnin tarkoituksena on estää luvattomien asiakaslaitteiden kommunikointi WLAN-tukiasemien kautta. Yleisiä todennusmenetelmiä yrityskäytössä ovat eri menetit EAP-prokollasta, jolloin käyttäjä autentikoidaan RADIUS-palvelinta vasten.

### 3.8 Kohteen esikartoitus

Esikartoitus on paikan päällä suoritettava mittaus, joka on tärkeä osa verkkosuunnitelmaa. Sen tarkoituksena on tutustua kohteeseen tarkemmin ja varmistaa verkkosuunnitelman toteutuskelpoisuus. Esikartoituksessa selvitetään tulevan WLAN-palvelualueen häiriötasot sekä rakenteiden todellinen vaikutus signaalin etenemiseen. Rakenteiden vaikutus todennetaan käyttämällä testilähettämiä ennalta määrätyissä pisteissä. Verkkosuunnitelma simuloidaan esikartoituksen pohjalta. Esikartoitus sisältää seuraavat toimenpiteet:

- Mitataan ulkoisten häiriöiden ja muiden ympäröivien WLAN:n vaikutus tiloissa.
- Radiosignaalien eteneminen selvitetään tarvittaessa testilähetimien avulla.
- Erityisvaatimukset kaapeloinnin suhteen voidaan ottaa huomioon verkkosuunnitelmassa ja tukiasemien sijoittelussa.
- Rakennuksen rakenteelliset asennusrajoitukset voidaan huomioida suunnitelmassa.



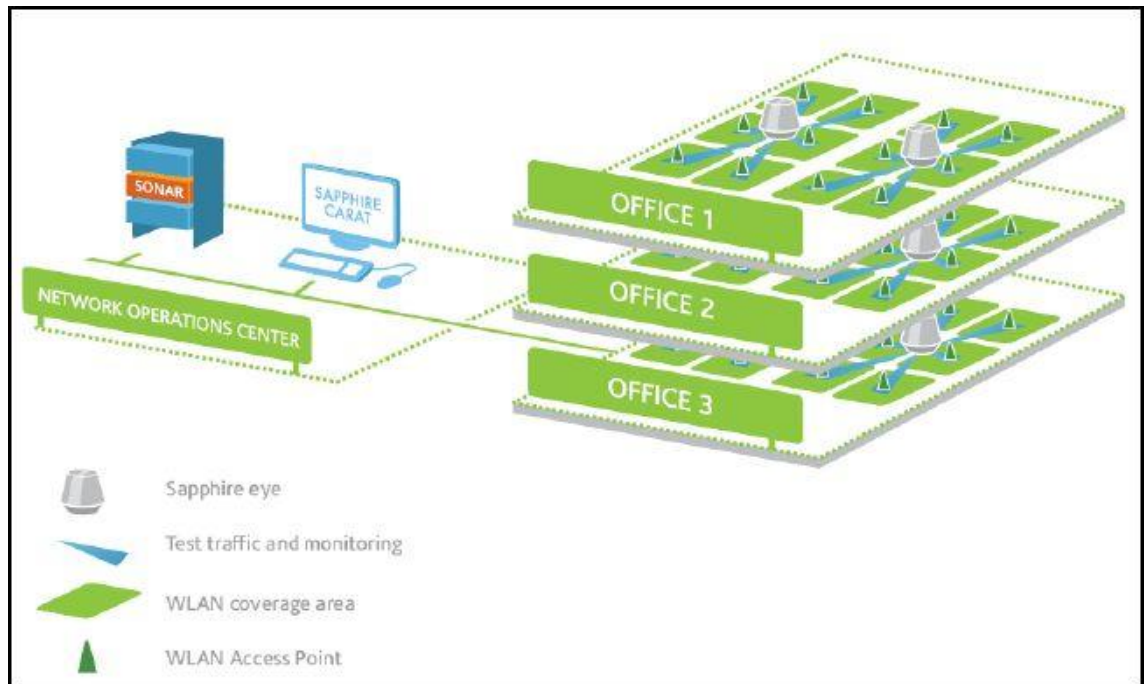
## **4 7signal Sapphire – langattoman verkon laadunvalvontajärjestelmä**

### 4.1 7signal Sapphire – langattoman verkon laadunvalvontajärjestelmä

7signal Sapphire -järjestelmä on suunniteltu yritysten langattomien verkkojen laadunvalvonnan mittaukseen. Yleisesti ottaen langattomat verkot suunnitellaan ainoastaan peittoalueen, signaaliwoimakkuuden ja käyttötarpeen mukaisesti. Tämän suunnitteluprosessin jälkeen oletetaan, että verkko toimii optimaalisesti. Ongelmia, joita ei verkonylläpitäjä paljain silmin huomaa saattaa ilmaantua langattomassa kuin lankaverkossakin.

7signal Sapphire -ratkaisun avulla pystytään todentamaan ja verifioimaan, minkälainen langattoman verkon suorituskyky on todellisuudessa käyttäjän näkökulmasta. [1, s. 1]

7signal Sapphire -järjestelmä koostuu kolmesta pääkomponentista: Sapphire Eye -valvontayksiköt mittaavat automaattisesti verkon laatua ja suorituskykyä sekä kuuntelevat passiivisesti ympäröivää RF-liikennettä. Suorituskykymittaukset suoritetaan ajamalla aktiivitestejä Sapphire Sonar -palvelinta vasten, jonka avulla saadaan esimerkiksi tulokset verkon tiedonsiirtonopeuksista. Mikäli Sonar-palvelin on sijoitettuna yrityksen tuotantopalvelimeen, saadaan suorituskykytuloksia niin langattomasta kuin lankaverkosta. Sapphire Carat -palvelin toimii järjestelmän hallintatyökaluna, joka hallinnoi interaktiivisia testejä, valvontayksiköitä ja niiden toimintaa sekä mittaustulosten tallentamisen tietokantaan. Mittaustuloksia voidaan tarkastella ja analysoida Web-selain pohjaisella Sapphire Analyzer -sovelluksella. [1, s. 1.]



Kuva 5. Sapphire-järjestelmä koostuu kolmesta pääkomponentista: Carat-palvelimesta, Eye-monitorointiyksiköistä ja Sonar-testipalvelimesta

#### 4.2 Sapphire Eye – monitorointiyksikkö

7signal Sapphire Eye -monitorointiyksikkö on suunniteltu langattoman verkon suorituskyvyn ja laadun mittaamiseen. Yksikkö tukee 802.11a/b/g/n-standardeja, ja se koostuu seitsemästä integroiduista suunta-antennista; yhdestä suurivahvisteisesta horisontaalisesti suunnatusta pohja-antennista ja kuudesta suurivahvisteisesta vertikaalisesti suunnatusta antennista. LNA-tekniikan (Low Noise Amplifier) ja suunta-antennien myötä vastaanotettu signaali on noin 6 dB:ä vahvempi kuin tavallisella käyttäjällä.[11, s. 14.] Tukiasemaa kohti lähetetty signaali puolestaan on noin 8-10 dB vahvempi kuin tavallisella WLAN-päätelaitteella. Vahvemman RSSI:n myötä sekä ylä- että alasuuntaan saavutetaan normaalia suurempi peittoalue. Tästä johtuen yhdellä Sapphire Eye -valvontayksiköllä pystytäänkin sisätiloissa valvomaan yleensä noin 4-8 tukiasemaa tai WLAN-solua samanaikaisesti. Vapaassa tilassa tai ulkotiloissa luku voi olla vielä korkeampi. [11, s. 3.]

Sapphire Eye suorittaa sekä passiivi- että aktiivimittauksia. Passiivisella mittauksella tarkoitetaan, että Eye ei muodosta yhteyttä tukiasemaan, vaan kuuntelee muiden päätelaitteiden ja tukiasemien lähettämiä 802.11-protokollaan pohjautuvia kehyksiä. Li-

säksi passiivikuuntelussa Eye mittaa ympäristön radioympäristön signaali- ja kohinatasoja. Passiivikuuntelulla saadaan tietoon muun muassa tukiasemien ja ympäristön muiden päätelaitteiden välillä käytetyt datanopeudet ja pakettien uudelleenlähetykset.

Aktiivitestissä Eye muodostaa yhteyden valvottavaan tukiasemaan käyttämällä langatonta verkkoa. Aktiivitesteissä on tarkoituksena emuloida oikean päätelaitteen suorituskykyä langattomassa verkossa. Aktiivitestien myötä saadaan muun muassa informaatio siitä, kuinka luotettavasti autentikointi tukiasemiin onnistuu, toimiiko DHCP-palvelin halutulla tavalla tai minkälaisella tiedonsiirtonopeudella pystytään langatonta verkkoa käyttämään.

Tarkemmat tekniset ominaisuudet löytyvät liitteestä.

### 4.3 Sapphire Carat

Sapphire Carat on palvelin, joka toimii järjestelmän ytimenä. Se antaa käskyt Eye-valvontayksiköille suoritetuista testeistä sekä tallentaa tulokset tietokantaan. Carat-hallintatyökalun avulla käyttäjä pystyy muun muassa muokkaamaan testiprofiileja, ajamaan manuaalisia testejä sekä määrittää automaattisten raporttien generoinnin. Sapphire Caratin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat:

- radioverkon käytettävyys ja saatavuus
- päästä-päähän-yhteys WLAN-verkon yli tuotantopalvelimeen
- sovellustasojen testit
- tilastollinen analyysi, keskiarvoitus, jakaumat ja hajonnat
- radioympäristön analysointi, signaali- ja häiriötasot
- häiriöiden paikantaminen
- automaattiraporttien generointi

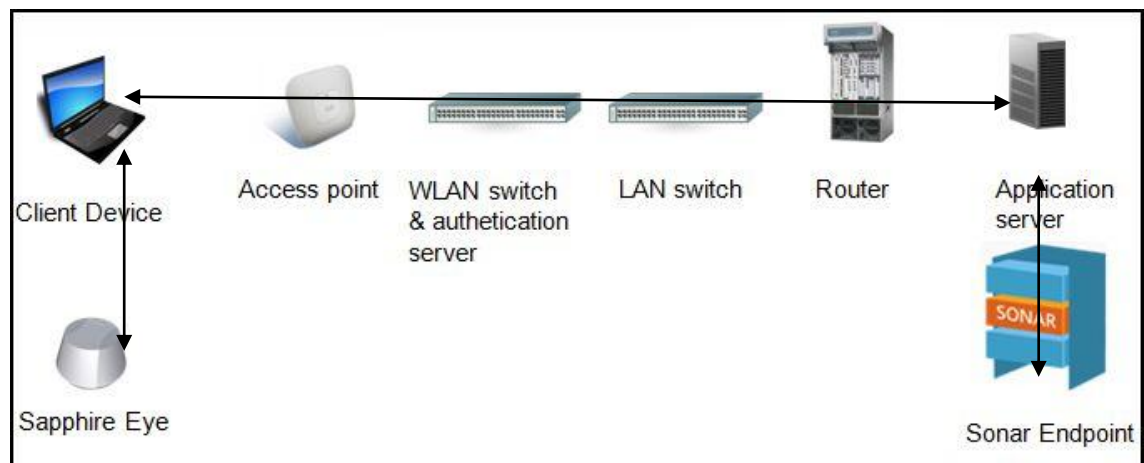
- hälytysten generointi raja-arvojen ylittyessä
- manuaaliset pakettikaappaukset ja niiden vienti pakettianalysointiohjelmiin kuten Wireshark. [11, s. 5.]

#### 4.4 Sapphire Sonar

Sonar-testipalvelin rooli on emuloida yhtä asiakkaan tuotantopalvelimista. Eyeen suoritettavat aktiivitestit (Ping, FTP, UDP) kohdistetaan Sonar-testipalvelimeen. Testien avulla saadaan tulokset muun muassa tiedonsiirtonopeuksista sekä päästä-päähän-yhteyden vasteajasta. Mittaukset ajetaan molempiin suuntiin (up- ja downlink), joten mittaustulokset saadaan niin lähetys- kuin lataustesteistä. [11, s. 6.]

Sonar-testipalvelin on toiminnaltaan todella kevyt, joten useampikin Eye-yksikkö voi suorittaa testejä samanaikaisesti kohti yhtä Sonar-palvelinta. [11, s. 6]

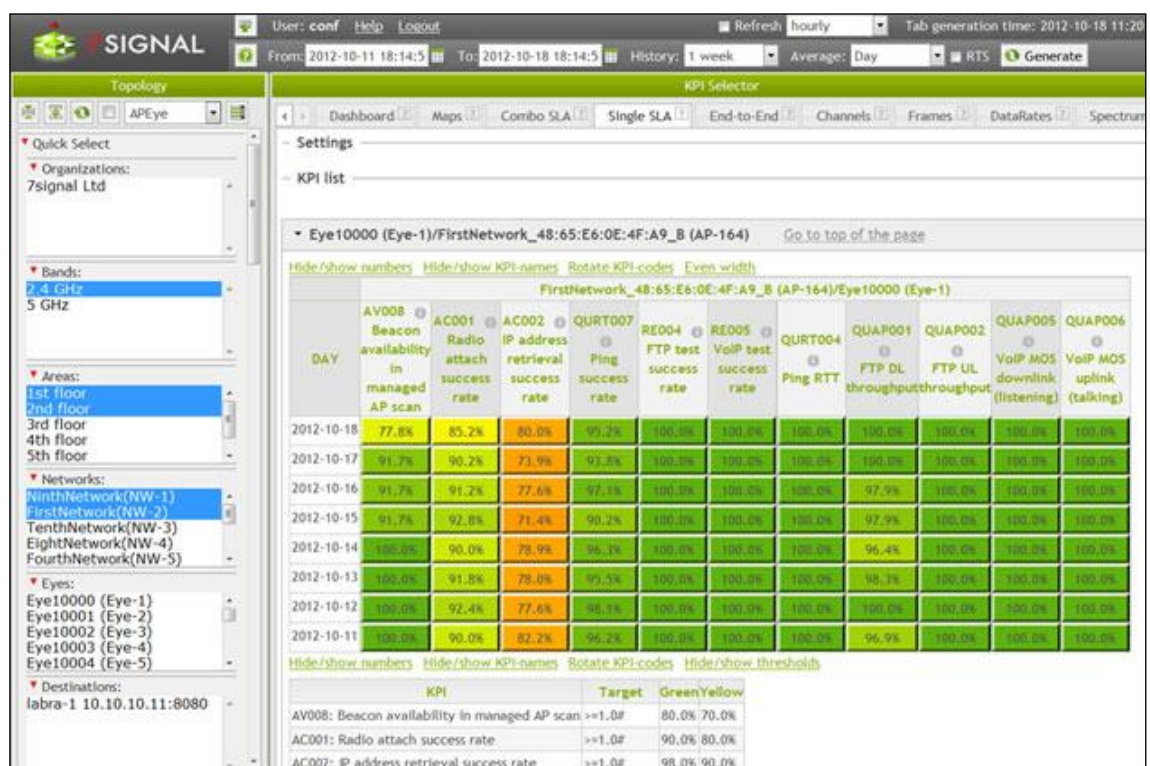
7signal Sapphire-järjestelmä tukee myös useamman Sonar-testipalvelimen käyttöä, jolloin pystytään emuloimaan useampaa kuin yhtä yrityksen tuotantopalvelimista. Tämä mahdollistaa ongelmatilanteiden rajaamisen tiettyihin yhteysväleihin. [11, s. 6.]



Kuva 6. Esimerkki: Päästä-päähän-yhteysväli, kun Sonar-palvelin on sijoitettu yrityksen sovelluspalvelimeen

#### 4.5 Sapphire Analyzer – analysointityökalu

7signal Sapphire Analyzer on selainpohjainen analysointityökalu, jonka avulla pystytään tarkastelemaan kerättyä mittaustulosta verkosta. Reaaliaikaisten mittaustulosten lisäksi kerättyä dataa voidaan analysoida aikajaksoissa taaksepäin aina siitä asti, kun dataa on alettu keräämään. Tuloksia voidaan tarkastella erikseen mm. verkko- ja taajuustasolla kuin myös yhden yksittäisen tukiaseman tasolla. Analyzer mahdollistaa verkon suorituskyvyn analysoimisen monilla erilaisilla graafisilla menetelmillä. Tuloksia pystytään analysoimaan graafien ja taulukkojen avulla, joita ovat mm. KPI-graafit (Key Performance Indicator) sekä SLA-taulut (Service Level Agreement).



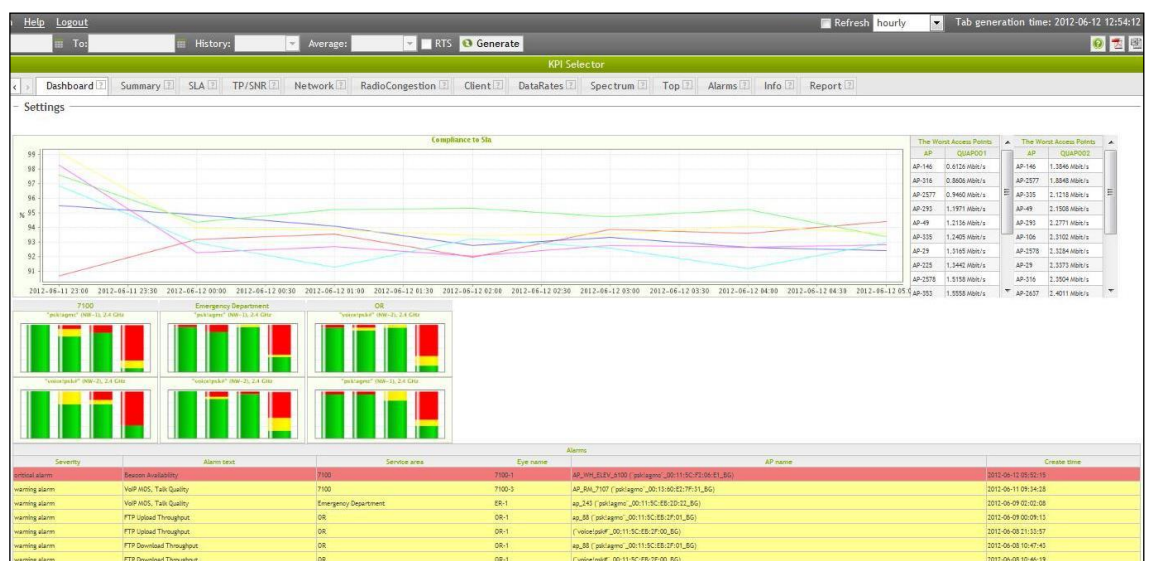
Kuva 7. Analyzer: SLA-taulu näkymä, esimerkkikuva

Analyzerin avulla pystytään myös generoimaan automaattisia raportteja, jotka sisältävät ennalta määrättyjä suorituskykyilmaisimia kuvaamaan radioympäristön tai WLAN-verkon suorituskyvyn tilaa. Visuaalista perspektiiviä Analyzer tarjoaa karttapohjien avulla. Käyttäjä voi halutessaan konfiguroida tukiasemat karttapohjalle, jolloin pystytään tarkastelemaan esimerkiksi yhden kerroksen suorituskykyä karttapohjan avulla.



Kuva 8. Analyzer: Karttapohjanäkymä, esimerkkikuva

Analyzer sisältää myös Dashboardin, joka on koko verkon monitorointinäkymä. Dashboardin avulla saadaan yhteen kuvaan mahdollitettua koko verkon suorituskyky. Dashboard sisältää mm. 4 valittavissa olevaa KPI:ta sekä verkossa aktiiviset hälytykset.



Kuva 9. Analyzer: Dashboard-näkymä koko verkon suorituskyvyn monitorointiin, esimerkkikuva

## 5 Projekti Hedengren – Vaihe 1

### 5.1 Projektin aikataulu ja vaiheistus

Projektin aloituspalaveri pidettiin 27. kesäkuuta 2012 Hedengrenin toimistotiloissa. Palaverin tarkoitus oli käydä läpi projektin aikataulut sekä tarkoitus oli saada lisäinformaatiota tulevaa verkkosuunnitelmaa varten siitä, mitä asiakas haluaa omalta WLAN:ltaan.

Hedengrenin toimistotilat Lauttasaarella koostuvat kuudesta eri kerroksesta. Kerrokset tullaan remontoimaan syysy 2012 – kesä 2013-aikavälillä. Kerrokset tulevat valmistumaan vaiheittain, ja kaksi ensimmäistä ovat valmiina alustavasti lokakuun lopulla 2012. Tarkoituksena on, että langaton lähiverkko on heti käytettävissä kunkin kerroksen valmistuttua remontista. Neljään tai viiteen kerrokseen tullaan rakentamaan koko yrityksen kattava WLAN-verkko. Viides kerros on vuokralaistila, johon tullaan varmuuden vuoksi tekemään verkkosuunnitelma, mutta rakentaminen tullaan tekemään tarpeen mukaan.

Projektin aikataulu jaettiin kahteen vaiheeseen. Ensimmäiseen vaiheeseen kuului tarvittavien laitteiden kilpailuttaminen eri laitemaahantuoilta sekä verkkosuunnitelman tekeminen. Toisessa vaiheessa suoritettiin verkon käyttöönotto ja käyttöönottotestaus kerroksittain aina kunkin kerroksen valmistuttua. Käyttöönottotestaus sisältää muun muassa verkon peittoalueen varmentamisen, häiriötason mittaamisen sekä verkon suorituskyvyn verifiointin. Verkon suorituskyvyn verifiointissa käytettiin 7signal Sapphire-laadunvalvontajärjestelmää, joka on maailmassa johtava WLAN-verkkojen palvelunmittaus- ja hallintaratkaisu.

### 5.2 Tarjouspyynnöt tarvittavista laitteista ja konfiguroinneista

Kun verkkosuunnitelma oli valmis ja alustava arvio tarvittavien tukiasemien määrästä selvillä, tehtiin tarjoukset useammalle eri maahantuoille useamman laitevalmistajan laitteista ja konfiguroinneista. Laitetarjoukset tehtiin 20:stä 802.11n-tukiasemasta,



WLAN-kontrollerista, lisensseistä ja ylläpidoista sekä WLAN-kontrollerin konfiguroinnista. Lisäksi halusimme erikseen tarjoukset ulkoisilla ja sisäisillä antennilla toimivista tukiasemista. Tarkoituksena oli alkuun tilata 20 tukiasemaa ja tarpeen vaatiessa tilata niitä lisää.

Tarjousten hinnat vaihtelivat melko paljon laitevalmistajakohtaisesti. Tarjouksissa oli eriteltyinä medium-grade- ja high-grade-optiot. High-grade-vaihtoehto tarjosi parhaimman suorituskyvyn omaavia laitteita, mutta hinnat olivat myös korkeampia. Ylivoimaisesti kalliimmat laitteet tuntuivat olevan Cisco Networksilla. Edullisin vaihtoehto olisi ollut Motorola. Lopulta päädyimme asiakkaan kanssa kuitenkin Arubaan, joka tuntui olevan sopivin ja hintalaatusuhteeltaan paras vaihtoehto Hedengrenin toimistotiloihin. Tukiasemamalliksi valitsimme Aruban AP-104:n, joka toimii ulkoisilla antennilla. Ulkoisia antenneita käyttämällä saadaan tukiaseman energia suunnattua halutulle alueelle, pienennetään ympäristön häiriötasoja sekä saadaan vahvistettua päätelaitteiden up-link-tiedonsiirtoa. Antennit tilattiin erikseen toiselta toimijalta.

### 5.3 Hedengrenin langattoman verkon laitteet

#### 5.3.1 WLAN-kontrolleri ja tukiasemat

Aruban 3000-sarjan kontrollerit on tarkoitettu suurille ja keskisuurille toimistoille. Koska tarve oli noin 20 tukiasemalle, niin päädyimme Aruban 3200-malliseen WLAN-kontrolleriin. Kontrollerilla on tuki kahdeksalle suoraan kytketylle tukiasemalle ja maksimissaan 32:lle LAN:iin kytketylle tukiasemalle. Sallitut tukiasemien määrät ovat lisensseihin sidottuja.



Kuva 10. Aruba 3200 –WLAN-kontrolleri



Aruban AP-104-mallinen tukiasema on ulkoisilla antenneilla toimiva 802.11a/b/g/n 2x2:2 MIMO-tukiasema. MIMO:n avulla pystytään siis hyödyntämään kahta lähetys- ja vastaanottoa antennia samanaikaisesti sekä käyttämään kahta datavirtaa. MIMO:a pystytään siis hyödyntämään diversiteettinä, että tiedonsiirtonopeuden kasvattamisena. MIMO:n ja ulkoisten antennien käytöllä tullaan peittoalue saamaan huomattavasti paremmaksi 5 GHz:lla kuin tavallisella 802.11a integroiduilla antennilla varustetulla tukiasemalla.

Tarkemmat tekniset tiedot controllerista ja tukiasemista löytyvät liitteestä.

### 5.3.2 Ulkoiset antennit

Ulkoiset antennit tilattiin erikseen kahdelta eri toimijalta siten, että kattoantennit ja seinäantennit tilattiin erikseen. Kattoon kiinnitettävät antennit olivat ympärisäteileviä 3x3 MIMO -antenneita. Antennissa on 6 erillistä monikaista-antennielementtiä. Käytännössä yhtä elementtiä voidaan käyttää siis joko 2,4:n tai 5,0 GHz:n taajuudella. Koska AP-104:set ovat 2x2 MIMO -tukiasemia, niin antennista jää käyttämättä kaksi lähetys/vastaanottoantennia. Kiinnitys kattoon tapahtuu käytännössä niin, että tukiasemat jäävät välikattoon piiloon ja ainoastaan antenni jää näkyville. Tarkemmat tekniset tiedot ja antennin säteilykuvat ovat liitteenä.



Kuva 11. Kattoon kiinnitettävä 4dBi:n ympärisäteilevä 3 x 3 MIMO -antenni

Seinään kiinnitettävät antennit olivat Terrawaven 3x3 MIMO -antenneita. Antenni sisältää 6 erillistä antennielementtiä, joista kolme on 2,4 – 2,5 GHz:lle ja kolme 5,1 – 5,8 GHz:n taajuudelle. Tarkemmat tekniset tiedot ja antennin säteilykuvat ovat liitteenä.



Kuva 12. Seinään kiinnitettävä Terrawaven 6/7 dBi:n suunnattu 3x3 MIMO -antenni

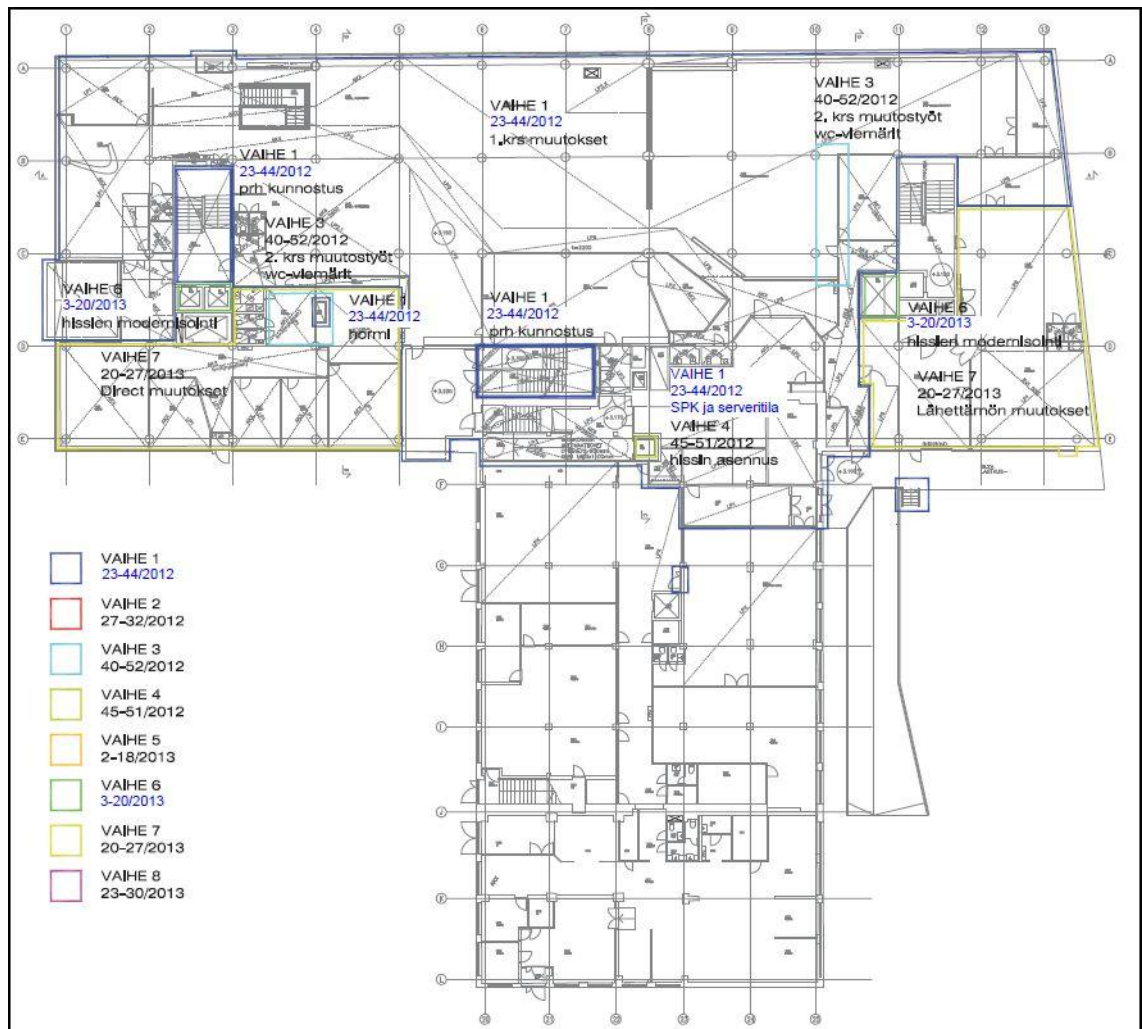
#### 5.4 EkaHau Site Survey -työkalun hyödyntäminen verkkosuunnitelmassa

Verkkosuunnitelman tekemisessä käytin apunani EkaHaun Site Survey -työkalua. Työkalu on tarkoitettu WLAN-verkkojen suunnittelua varten ja sen avulla saadaan tehtyä muun muassa simuloituja karttapohjakuvia tulevan verkon peittoalueesta sekä mitattua kohteen oikea peittoalue ja signaali-kohinasuhde.

##### 5.4.1 Pohjapiirrosten liittäminen Site Survey -työkaluun

Aivan ensimmäiseksi karttapohjat liitetään EkaHau Site Survey -työkaluun. Karttapohjassa olisi hyvä näkyä rakennuksen väliseinät ja mahdollisesti materiaalit. Toinen vaihe on kalibroida ohjelmaan karttapohjien mittakaavat. Mittakaavaa määrittäessä on syy käyttää pitkää etäisyyttä. Mikäli käytetään esimerkiksi ovenaukkoa perustana mittakaavalle, joka yleensä on noin 90 cm – 1 m, voi kalibrointi helposti heittää 10 cm:illä. 10 %:n vääristymä tarkoittaa sadan metrin etäisyydellä jo kymmentä metriä. Mittakaavaa

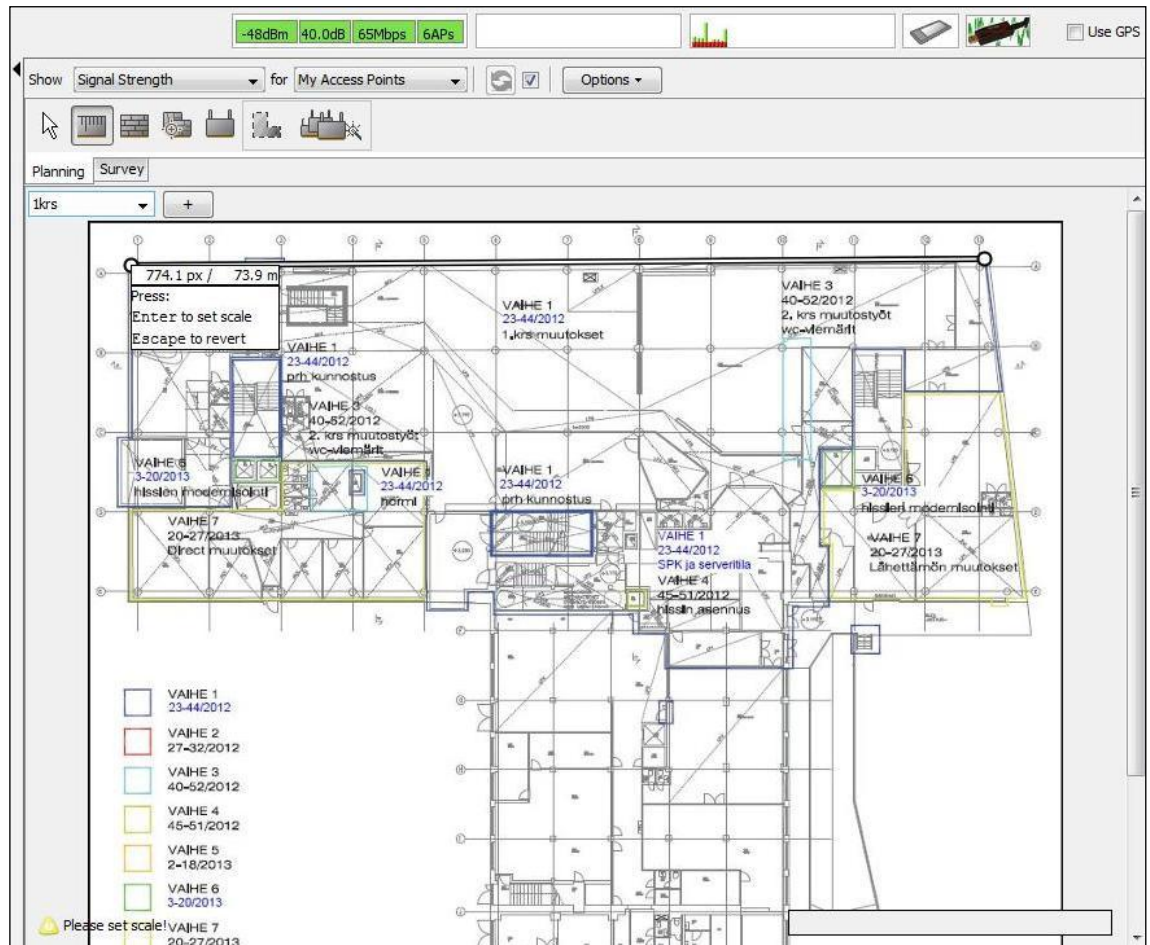
kalibroidessa on hyvä käyttää pitkää etäisyyttä, kuten käytävän pituutta. Työkaluksi sopii esimerkiksi pitkä mittanauha tai lasermitta. [5, s. 3.]



Kuva 13. Alkuperäinen karttapohjakuva – 1. kerros

Tässä projektissa käytin karttapohjaa, johon oli valmiiksi määritetty mittakaava. Karttapohjat olivat kerroksittain yhdessä PDF-tiedostossa ja sivut olivat A3:sen kokoisia. PDF-tiedostoa ei ole mahdollista liittää suoraan EkaHaun Site Survey Tooliin, vaan ne on ensin muutettava kuviksi. Tässä käytin apuna ilmaista GIMP-piirrostyökalua. Muunsin GIMP:n avulla PDF-tiedostossa olevat karttapohjat kuvatiedostoiksi, jotka tämän jälkeen liitin Site Survey -työkaluun. Ennen kuvien siirtämistä Site Survey -työkaluun on syytä kuitenkin tarkistaa, että kuvan koko todellakin pysyy A3:sen suuruisena, joka on 297x420 mm. Koska mittakaava oli ilmoitettu alkuperäisessä karttapohjassa, pystyin mittaamaan pisimmän mahdollisimman suoran ja laskemaan sen todellisen pituuden

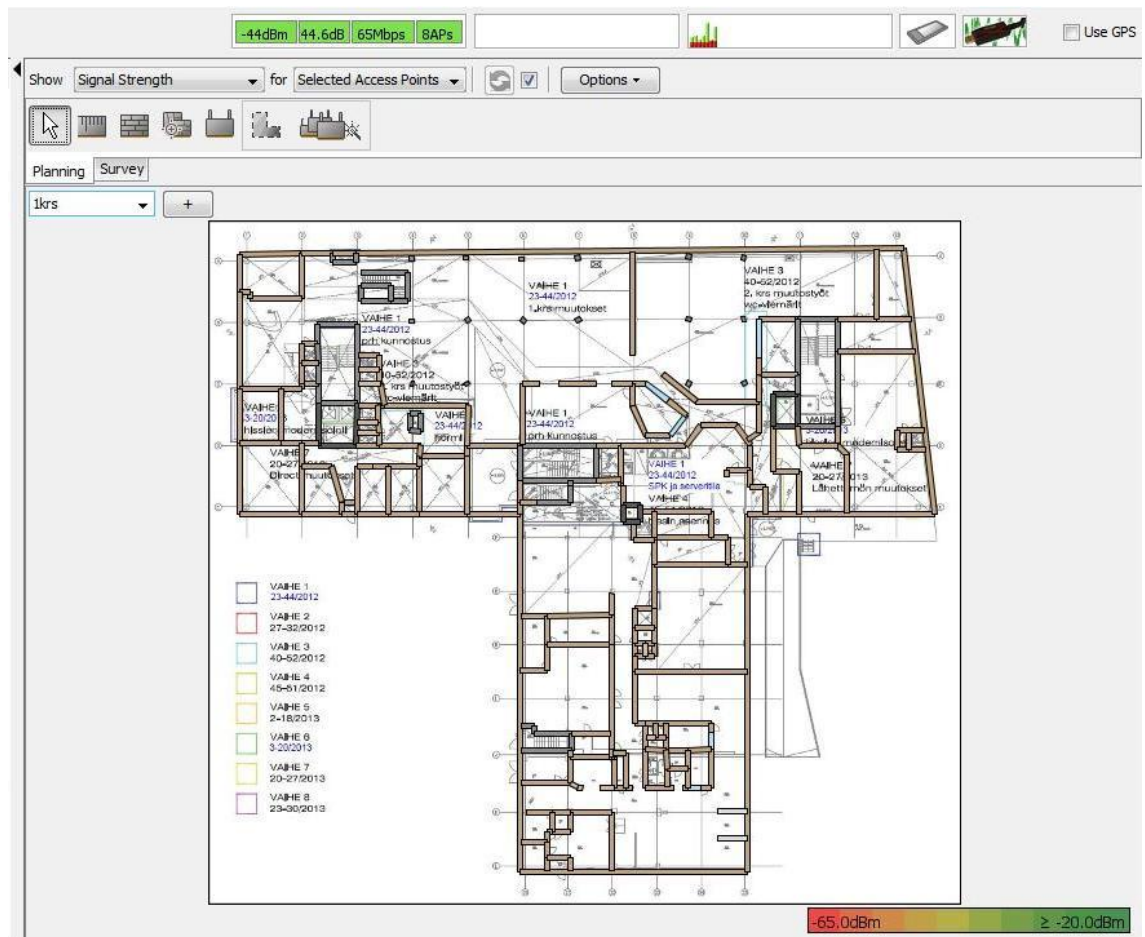
mittakaavan avulla. Tämän jälkeen määritin saman suoran Site Survey -työkaluun ja syötin vastaavan pituuden myös siihen.



Kuva 14. Mittakaavan asettaminen karttapohjaan EkaHau Site Survey -sovelluksessa – 1. kerros

#### 5.4.2 Seinämateriaalien vaimennusten huomioiminen

Seinämateriaalien erot vaikuttavat paljon signaalin etenemisessä. Ikkuna läpäisee RF-signaalin ainoastaan 1-2 dB:n vaimennuksella, kun taas erilaiset raskaat metallirakenteet vaimentavat 30 dB. EkaHau Site Survey -työkalussa on määriteltynä erilaisia seinämateriaaleja ja niiden vaimennuksia, joita ovat muun muassa: tiili 10 dB, betoni 12 dB, hissikuilu 30 dB, kuiva seinä 3 dB, ikkuna 1-2 dB.



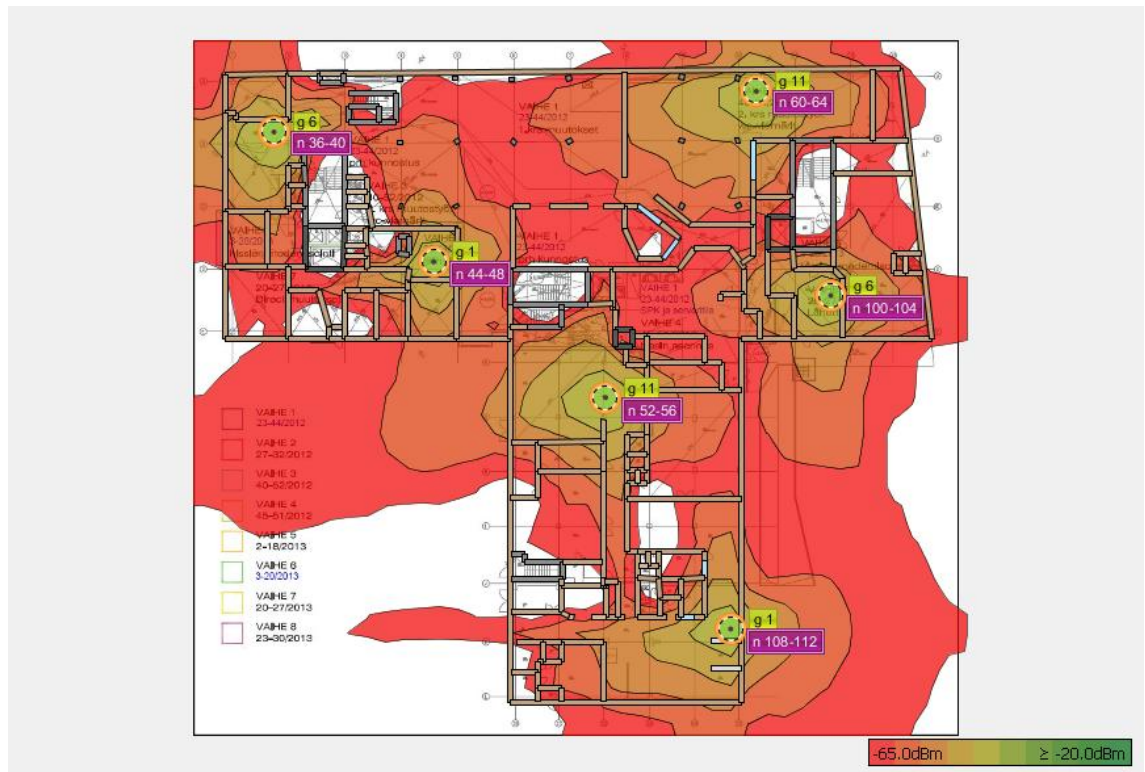
Kuva 15. Seinien piirtäminen materiaaleittain EkaHau Site Survey -työkalulla – 1. kerros

Hedengrenin toimistotiloissa käytin toimistoseinien vaimennuksena 3 dB:tä ja toimistoikkunoissa 1 dB:tä. Rappukäytävät piirsin betonista 12 dB ja hissikuilut käyttäen 30 dB:tä.

Kun mittakaava on asetettu ja seinät piirretty karttaphajaan, voidaan tehdä arvio tarvittavien tukiasemien määrästä sekä niiden alustavista sijainneista käyttämällä simuloituja tukiasemia. EkaHau Site Survey -työkalusta löytyy laaja valikoima eri valmistajien tukiasemia ja malleja, joissa on huomioitu niiden antennikuvat ja ominaisuudet. Käytin tukiasemasimuloinnissa Aruban AP-105-mallista tukiasemaa, joka poikkeaa Aruban AP-104:stä vain siinä, että siinä on ulkoisten antennien sijasta integroidut antennit. Simuloinneissa on hyvä käyttää lähetystehona 25 milliwattia, jotta tarpeen vaatiessa jää varaa nostaa tehoja. Ulkoista antennia ja MIMO:a käyttämällä tulee signaalivoimakkuus todellisuudessa olemaan jonkin verran vahvempi.



Käytin signaalivoimakkuuden minimiraja-arvona -65 dBm simuloiduissa kuvissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos RSSI on matalampi kuin -65 dBm, näkyy se valkoisena katvealueena karttapohjassa. -65 dBm:n raja-arvolla saadaan signaalivoimakkuus tarpeeksi vahvaksi verkon toiminnan kannalta mikäli VoIP:a ei ole käytössä. Kuvassa 16 on kerroksen 1. ja yläkellarin simuloidut peittoaluekuvat. Muiden kerrosten simulointikuvat ovat liitteenä.



Kuva 16. Simuloidut tukiasemat ja 5 GHz:n taajuuden peittoalue piirrettynä -65 – -20 dBm raja-arvoilla – 1.kerros

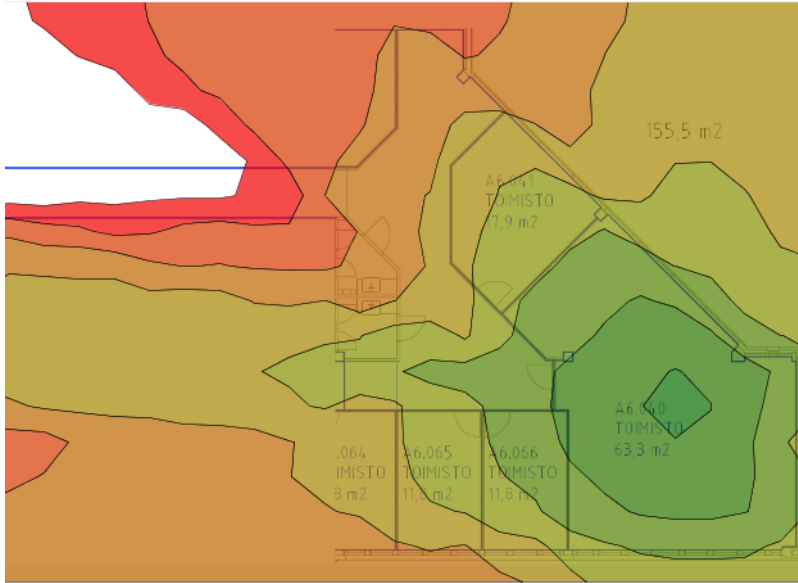


Kuva 17. Simuloidut tukiasemat ja 5 GHz:n taajuuden peittoalue piirrettynä -65 – 20 dBm raja-arvoilla – yläkellari

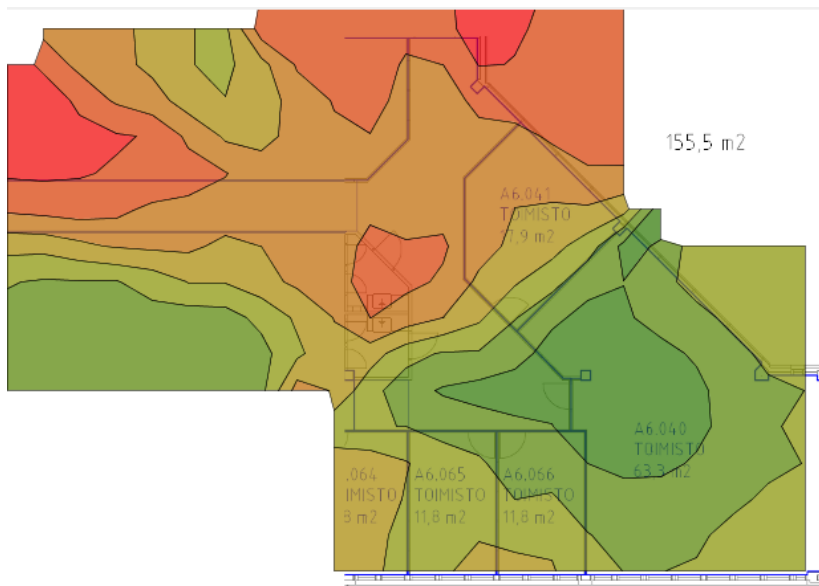
### 5.5 Simuloidun peittoaluekuvan arvioiminen

Koska peittoaluekuvat simuloituilla tukiasemilla ovat vain arvioita ja tietokoneohjelman määritelmiä, on hyvä arvioida ennen kohteessa tehtävää esikartoitusta, kuinka hyvin simulaatiokuvat todellisuudessa vastaavat oikean tukiaseman peittoaluetta.

Tätä varten tein alustavat mittaukset 7signalin toimistolla. Testilähtettimenä toimi Linksys 802.11b/g-tukiasema 2,4 GHz:n taajuusalueella. Vaikka kyseessä ei ole saman valmistajan tukiasema ja käytössä olevat antennit ovat erilaiset, niin tulos antaa kuitenkin arvion siitä, kuinka hyvin simuloitujen tukiasemien peittoalue vastaa todellisuutta.



Kuva 18. Simuloitu peittoaluekuva Aruba AP-105:sta 2,4 GHz:n taajuudella, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm



Kuva 19. Linksys-testilähettimen peittoaluekuva 2,4 GHz:n taajuudella, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm

Simuloitu peittoaluekuva vastaa hyvin Linksys 802.11b/g-tukiaseman peittoaluetta 2,4 GHz:n taajuudella.



## 5.6 Kohteen kartoitus

Kohteessa suoritettiin esikartoitus torstaina 13.9.2012. Esikartoituksessa käytettiin testilähettimien lisäksi EkaHau Site Survey -sovellusta sekä NIC-300 IEEE 802.11/a/b/g/n WLAN-korttia. Tiloihin tehtävää remonttia ei ole vielä päästy aloittamaan kaikkiin kerroksiin, joten kartoitus sekä mittaustoimenpiteet tehtiin ainoastaan yläkellariin ja kerrokseen 1.

Mittausten kannalta ympäristö ei ollut aivan optimaalinen, koska kerroksista puuttui vielä muun muassa yläkellarista muutamia ikkunaväliseiniä ja remontti oli osittain kesken. Mittaukset antoivat kuitenkin alustavasti kuvan siitä, miten signaali tulee etenevän valmiissa tiloissa.

Esikartoitus aloitettiin tutustumalla kohteeseen yhteyshenkilöiden kanssa sekä varmistamalla vielä, mille alueelle langaton verkko halutaan ja millä alueella on suurin käyttötarve. Lisäksi käytiin läpi tulevat ristikytkentäpaikat, jotta ne pystyttiin myös ottamaan huomioon tukiasemien sijoittelussa.

Kohteessa selvitettiin myös todellinen signaalin eteneminen testilähettimien avulla. Testilähettimet sijoitettiin ennalta määrättyihin paikkoihin ja suoritettiin Site Survey -mittaukset. Näin pystyttiin arvioimaan, kuinka hyvin jo aiemmin tehdyt simulaatiokuvat vastasivat todellista.

### 5.6.1 Yläkellari

Yläkellariin oli alun perin suunniteltu kokopeitto, mutta lopulta päädyttiin siihen tulokseen, että peittoa ei vielä tässä vaiheessa tarvita kerroksen varastoalueelle ja pukuhuoneisiin. Yläkellarin WLAN-peittoalue tulee alustavasti kattamaan koulutuskeskuksen ja neuvottelutilat. Karttapohjasta katsottuna peittoalue tulee ainoastaan kerroksen vasemmanpuoleiseen osaan. Arvio maksimikäyttäjämäärästä alueella on noin 50 käyttäjää.



Kuva 20. Yläkellari – Testilähettimien peittoalue, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm

Peittoaluekuvasta huomaa, ettei kaikilla alueilla remontin takia päästy kulkemaan. -65 dBm rajoista päätellen peittoalue tulisi kattamaan kuitenkin koko alueen. Lisäksi testi-lähetin lähetti signaalia 25 mW:n teholla, joten tarvittaessa on varaa vielä nostaa tukiasemien tehoja. Kaksi dual-band-tukiasemaa tulisi myös riittää 50 samanaikaiselle käyttäjälle.

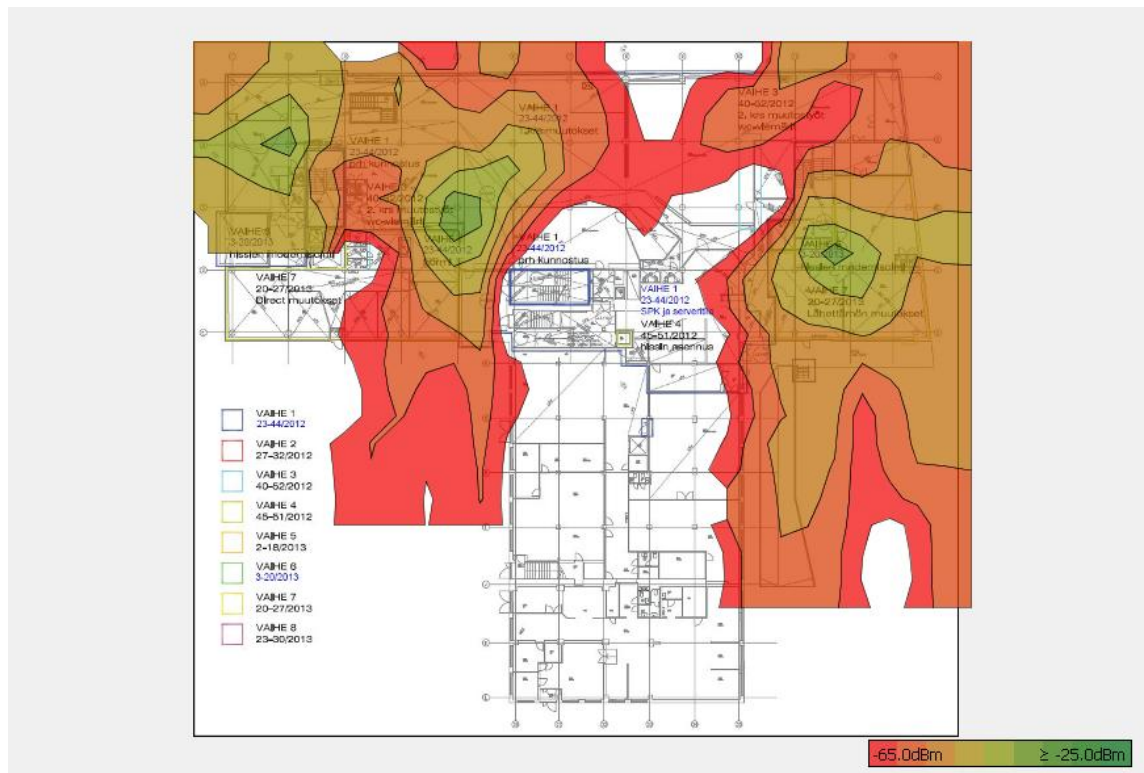
Yläkellarissa havaittiin muitakin WLAN-signaaleja kanavilla 6, 9, 11 ja 13. Osa näistä oli Hedengrenin omassa käytössä olevia tukiasemia, jotka poistettiin käytöstä uuden verkon käyttöönoton yhteydessä. Havaittuja verkkoja kerroksessa yläkellari oli hede-gren07, public2-hidas, E5832-d409 ja näyttely. Naapuriverkot ja häiritsevät kanavat otettiin myös huomioon kanava- ja lähtötehosuunnittelussa.

### 5.6.2 1. kerros

1. kerrokseen oli myös suunniteltu alun perin kokopeitto, mutta lopulta päätettiin, että alasiipeen, joka on vuokralaiskäytössä, ei tule WLAN-peittoaluetta. 1. kerros sisältää

sisääntuloaulan ja vastaanottotiskin, toimisto- ja tuote-esittelytilan, lähettämön sekä serverihuoneen.

Serverihuoneeseen tullaan sijoittamaan oma tukiasema. Tukiasema tulee palvelemaan ainoastaan huoneen sisällä olevia päätelaitteita, koska serverihuoneen seinärakenteet ovat todella paksua betoniseinää, joka ei läpäise WLAN-signaalia kovin hyvin.



Kuva 21. Kerros – Testilähettimien peittoalueet, joissa signaali voimakkuus parempi kuin -65 dBm

Myöskään 1. kerroksessa ei päässyt remontin takia kulkemaan ihan joka paikassa. Testilähetintä ei käytetty serverihuoneessa, koska sinne tullaan asentamaan oma tukiasema, joka kattaa kyseisen huoneen.

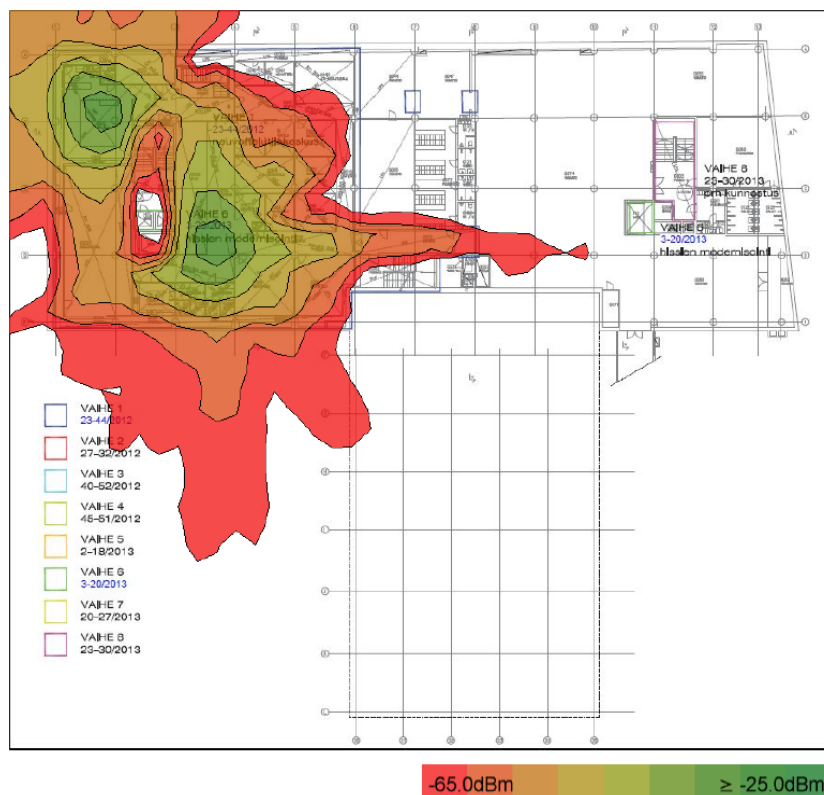
1. kerroksessa havaittiin muitakin WLAN-signaaleja kanavilla 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11 ja 13. Havaittuja verkkoja 1. kerroksessa oli muun muassa: hedengren07, public2-hidas, E5832-d409, näyttely, public-monistamo, vieras4e ja HocusPocus. Naapuriverkot ja häiritsevät kanavat otettiin myös huomioon kanava- ja lähtötehosuunnittelussa

## 5.7 Verkkosuunnitelma

Esikartoituksen perusteella tehtiin simuloitu verkkosuunnitelma, jossa otettiin huomioon ympäristön häiriötasot sekä mitatut rakenteiden vaimennusvaikutukset.

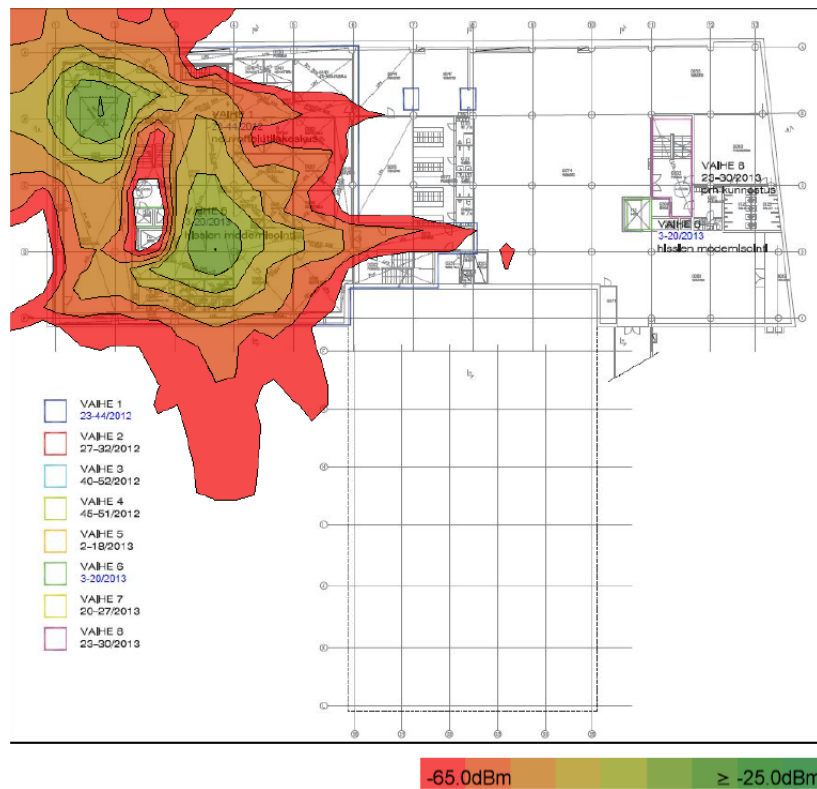
Kuvissa 22-25 on esitetty simuloitua peittoaluekuvia kerroksittain. Simuloinnin perustana on käytetty esikartoituksen yhteydessä mitattuja todellisia signaaliarvoja ja tulevia tukiasemia paikkoja. Simuloinneissa otettiin huomioon seinien ja muiden rakenteiden vaikutukset sekä oikeat kanavat ja lähetystehot.

### Yläkellari 2,4 GHz



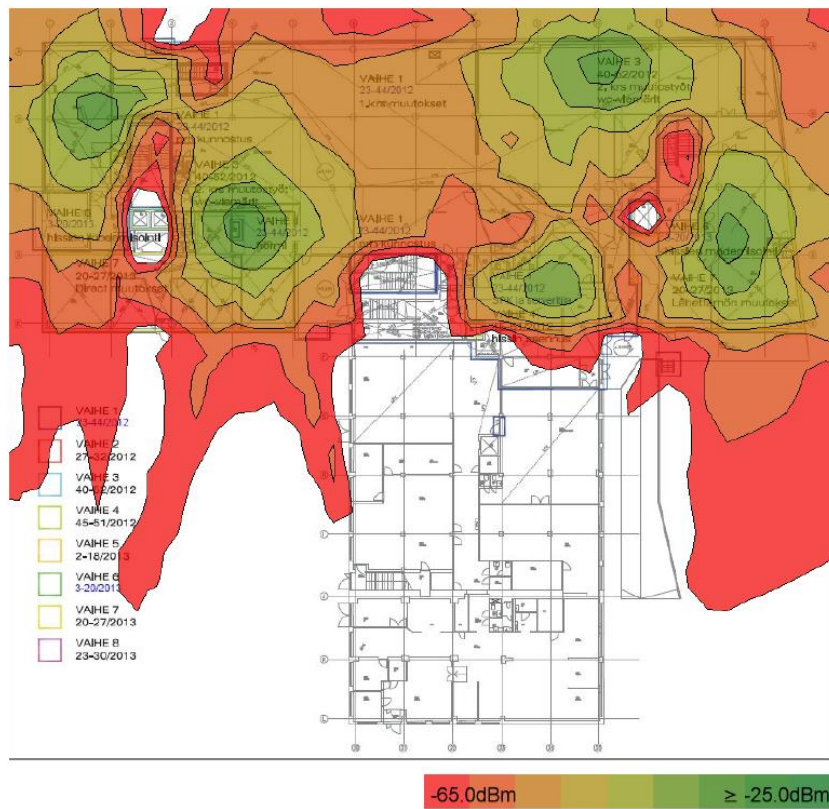
Kuva 22. Simuloitu 2,4 GHz taajuuden peittoaluekuva yläkellarista, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm

## Yläkellari 5,0 GHz



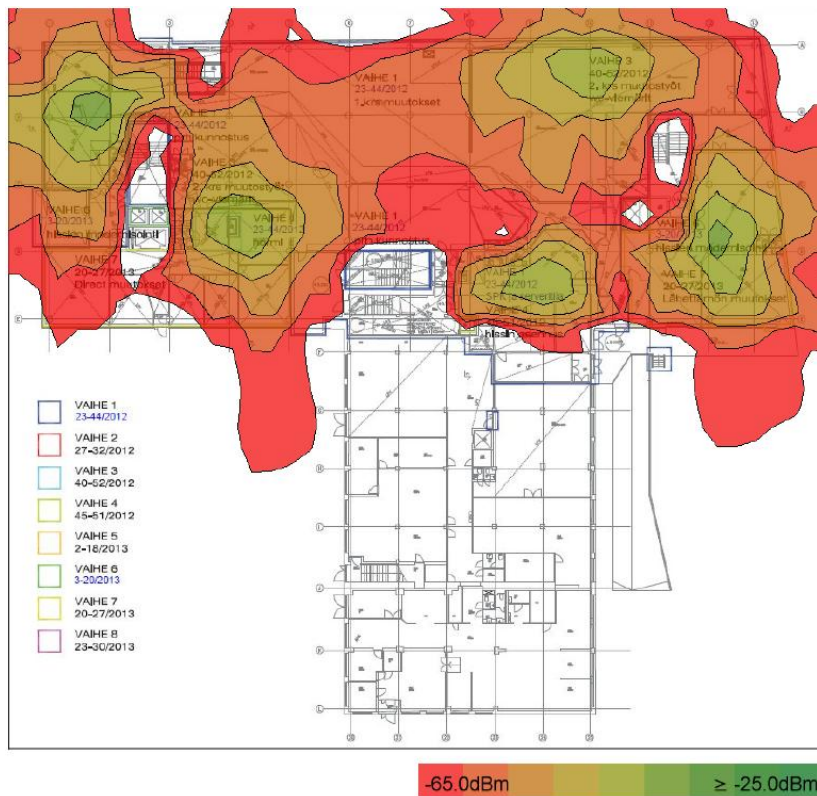
Kuva 23. Simuloitu 5,0 GHz taajuuden peittoaluekuva yläkellarista, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm

## 1. Kerros 2,4 GHz



Kuva 24. Simuloitu 2,4 GHz taajuuden peittoaluekuva 1. kerroksesta, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm

## 1. Kerros 5,0 GHz



Kuva 25. Simuloitu 5,0 GHz taajuuden peittoaluekuva 1. kerroksesta, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm.

## 5.8 Tukiasemien asennuspaikat

### 5.8.1 Yläkellari

Tukiasema 1:n asennuspaikka on yläkellarin vasen puoli, koulutuskeskus ja neuvottelutilat. Asennuspaikka on katto. Tukiasema asennettiin siten, että välikaton alapuolelle jäävä antenni on sijoitettu keskeisesti niin, että antennista on mahdollisimman esteetön näkyvyys molempiin suuntiin aukeaviin käytäviin.





Kuva 26. Yläkellari, tukiasema 1, katto



Kuva 27. Yläkellari, tukiasema 1, katto



Taulukko 2. Yläkellarin tukiaseman 1 tarkemmat tiedot

Tukiasemat	Antenni	Suunta	Korkeus	Kanavat 2,4 / 5	TxPwr 2,4 / 5
Aruba AP- 104	L-com/Katto	0°	3m	6 / 112+	10mW / 23mW

Tukiasema 2:n asennuspaikka on yläkellarin vasen puoli, koulutuskeskus ja neuvottelutilat. Asennuspaikka on katto. Tukiasema asennettiin siten, että välikaton alapuolelle jäävä antenni on sijoitettu keskeisesti niin, että antennista on mahdollisimman esteetön näkyvyys etelä- ja itäsuuntaan.



Kuva 28. Yläkellari, tukiasema 2, katto



Kuva 29. Yläkellari, tukiasema 2, seinä (asennusseinä ei näy kuvassa)

Taulukko 3. Yläkellarin tukiaseman 2 tarkemmat tiedot

<b>Tukiasemat</b>	<b>Antenni</b>	<b>Suunta</b>	<b>Korkeus</b>	<b>Kanavat 2,4 / 5</b>	<b>TxPwr 2,4 / 5</b>
Aruba AP- 104	L-com/Katto	0°	2m	11 / 60+	10 mW / 23mW

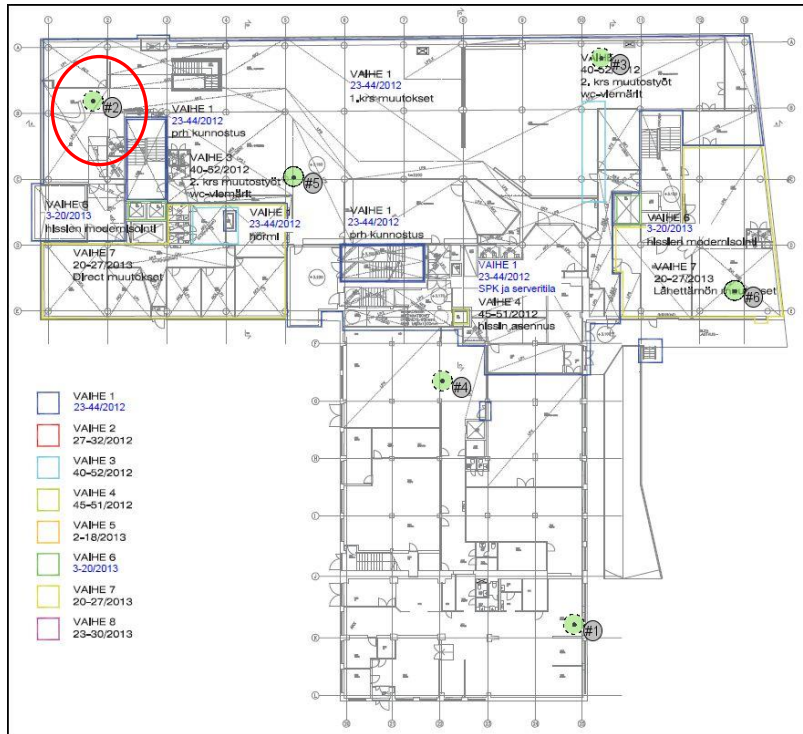
Tukiasemia 3 ja 4 ei käytetty vielä tässä vaiheessa vaan ne asennetaan tarpeen vaatiessa myöhemmässä vaiheessa. Peittoaluetta ei tarvittu tässä vaiheessa yläkellarin varaston ja pukuhuoneiden puolelle.



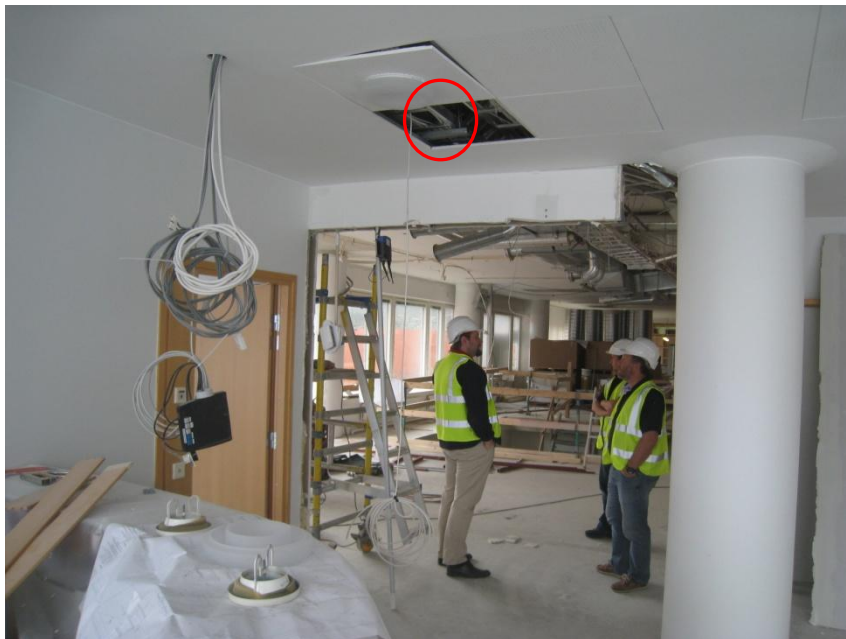
Kuva 30. Yläkellari, tukiasemat 3 ja 4 asennetaan tarvittaessa myöhemmässä vaiheessa

### 5.8.2 Kerros 1.

Tukiasema 2:n asennuspaikka on 1. kerroksen sisäänpääsy ja aula. Asennuspaikka on katto. Tukiasema asennettiin siten, että välikaton alapuolelle jäävä antenni on sijoitettu keskeisesti niin, että antennista on mahdollisimman esteetön näkyvyys karttaan nähdessä ala- ja oikeanpuoleisiin tiloihin.



Kuva 31. Kerros 1, tukiasema 2, katto

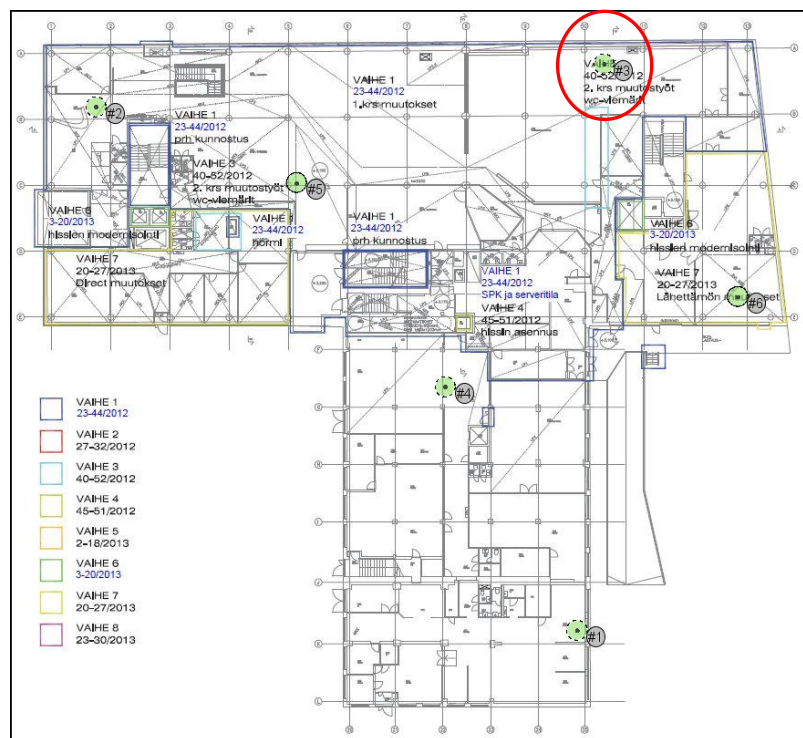


Kuva 32. Kerros 1, tukiasema 2, katto

Taulukko 4. 1. kerroksen tukiaseman 2 tarkemmat tiedot

Tukiasemat	Antenni	Suunta	Korkeus	Kanavat 2,4 / 5	TxPwr 2,4 / 5 mW
Aruba AP-104	L-com/Katto	0°	2,5 m	6 / 36+	10 mW / 23 mW

Tukiasema 3:n asennuspaikka on 1. kerroksen tuote-esittelytila. Asennuspaikka on katto. Tukiasema asennettiin siten, että välikaton alapuolelle jäävä antenni on sijoitettu niin, että se jää vieressä olevan betonipylvään eteen.



Kuva 33. Kerros 1, tukiasema 3, katto



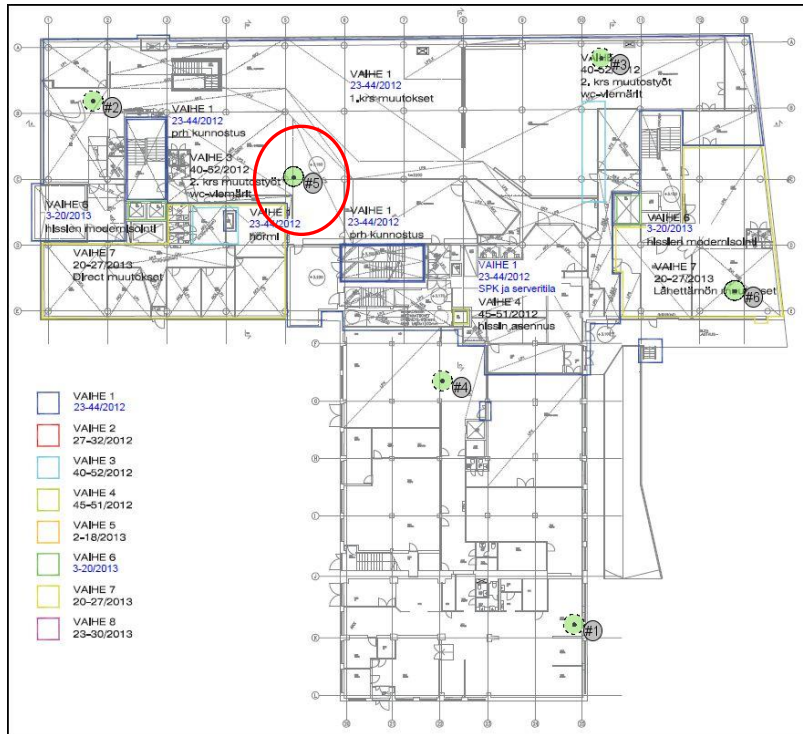
Kuva 34. Kerros 1, tukiasema 3, katto

Taulukko 5. 1. kerroksen tukiaseman 3 tarkemmat tiedot

<b>Tukiasemat</b>	<b>Antenni</b>	<b>Suunta</b>	<b>Korkeus</b>	<b>Kanavat 2,4 / 5</b>	<b>TxPwr 2,4 / 5</b>
Aruba AP-104	L-com/Katto	0°	2,5 m	11 / 60+	10 mW / 23 mW

Tukiasema 5:n asennuspaikka on 1. kerroksen toimisto- / tuote-esittelytila. Asennuspaikka on seinä. Tukiasema asennettiin siten, että se jäi betonikaton ja välikaton väliseen kynnykseen siten, että antennista oli mahdollisimman esteetön näkö kartasta nähden itäiseen suuntaan.





Kuva 35. Kerros 1, tukiasema 5, seinä

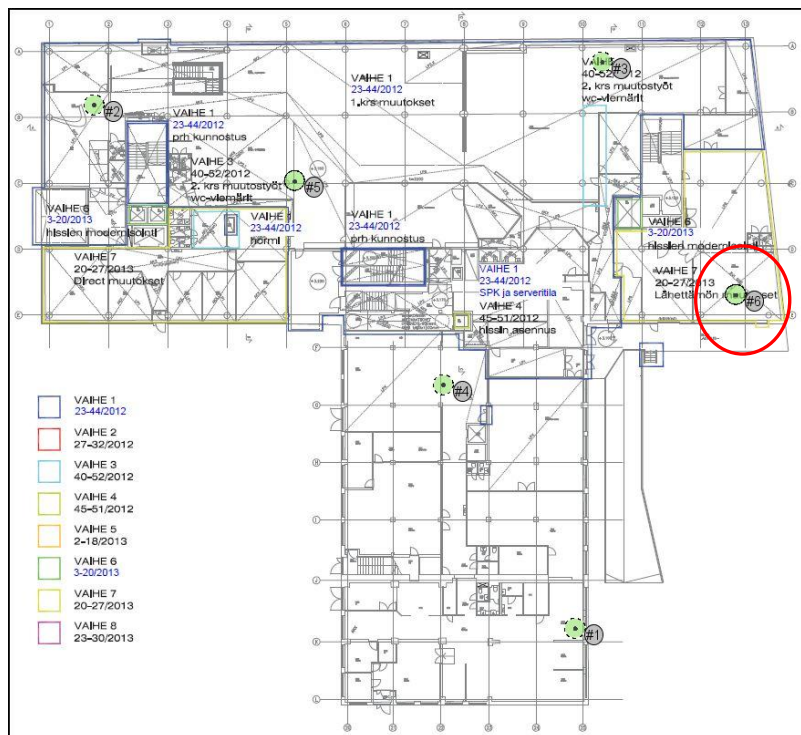


Kuva 36. Kerros 1, tukiasema 5, seinä

Taulukko 6. 1. kerroksen tukiaseman 5 tarkemmat tiedot

Tukiasemat	Antenni	Suunta	Korkeus	Kanavat 2,4 / 5	TXPwr 2,4 / 5
Aruba AP-104	TerraWave/Seinä	90°	2,5 m	1 / 44+	8 mW / 11 mW

Tukiasema 6:n asennuspaikka on 1. kerroksen lähettämö. Asennuspaikka on katto. Tukiasema asennettiin siten, että välikaton alapuolelle jäävä antenni sijoitettu niin, että se on vähintään puolen metrin etäisyydellä betonipylvästä ja seinästä.



Kuva 37. Kerros 1, tukiasema 6, katto



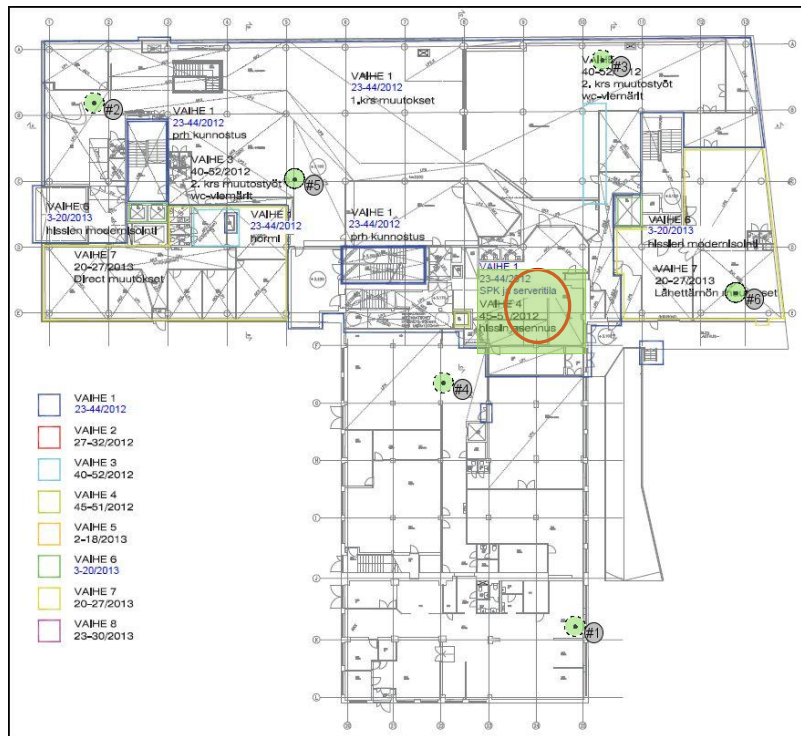


Kuva 38. Kerros 1, tukiasema 6, katto

Taulukko 7. 1. kerroksen tukiaseman 6 tarkemmat tiedot

<b>Tukiasemat</b>	<b>Antenni</b>	<b>Suunta</b>	<b>Korkeus</b>	<b>Kanavat 2,4 / 5</b>	<b>TXPwr 2,4 / 5</b>
Aruba AP-104	L-com/Katto	0°	2,5 m	1 / 100+	10 mW / 23 mW

Tukiasema 7:n asennuspaikka on serverihuone. Asennuspaikka on katto. Tukiasema asennettiin mahdollisimman keskeiselle paikalle serverihuonetta. Tukiaseman tarkoituksena on palvella ainoastaan serverihuoneessa olevia päätelaitteita.



Kuva 39. Kerros 1, tukiasema 7, katto

Taulukko 8. 1. kerroksen tukiaseman 7 tarkemmat tiedot

Tukiasemat	Antenni	Suunta	Korkeus	Kanavat 2,4 / 5	TXPwr 2,4 / 5
Aruba AP-104	L-com/Katto	0°	2,5 m	6 / 52+	5 mW / 20 mW

### 5.9 Hedengren langattoman verkon SSID:t

Hedengrenin verkkoon haluttiin yrityksen oman verkon lisäksi vierailijaverkko. Vierailijaverkko on käytettävissä Hedengrenin asiakkaille ja vierailijoille. Vierailijaverkon käyttö kaistarajoitettiin 20 Mbit/s, joka on tarvittaessa nostettavissa. SSID:t konfiguroitiin seuraavien parametrien mukaisiksi:

#### Yrityksen oma verkko:

- SSID nimi: Hedengren
- 2,4 ja 5,0 GHz taajuudet (g- ja a-radiot)

- HT40 käyttöön 5 GHz:lla
- Ei 802.11b datanopeuksia (1, 2, 5.5 ja 11 Mbps)
- Salaus /autentikointi: xxx

**Vierailijaverkko:**

- SSID nimi: Hedengren-Guest
- 2,4 GHz taajuus
- Ei 802.11b datanopeuksia (1, 2, 5.5 ja 11 Mbps)
- Salaus / autentikointi: xxx
- Kaistarajoitus 20 Mbit/s

## 6 Projekti Hedengren – Vaihe 2

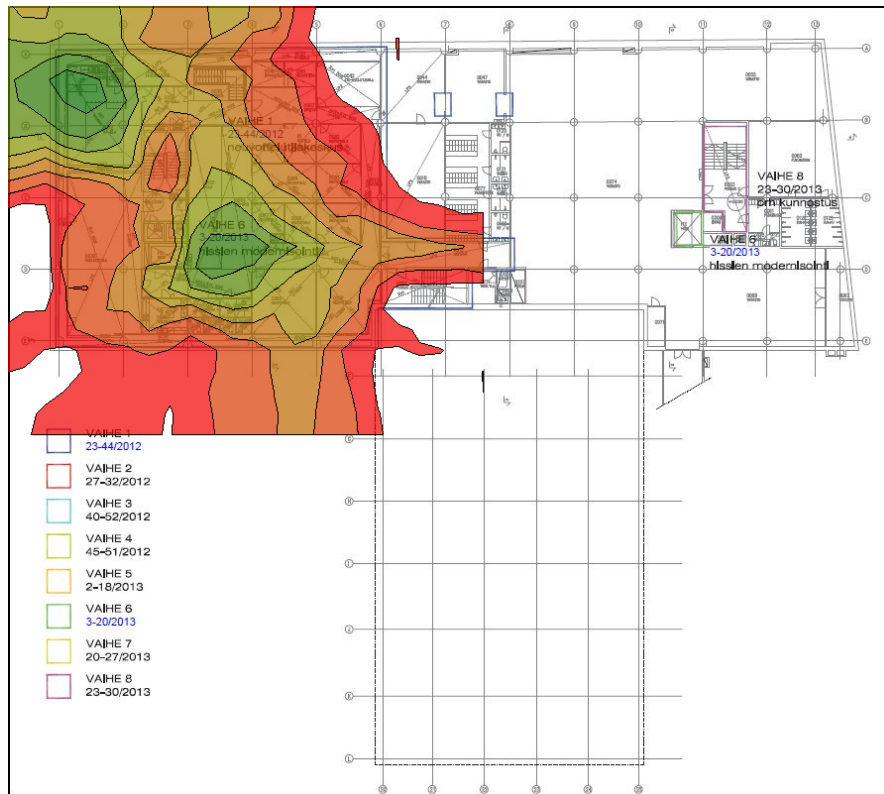
Laitteiston asennuksen ja tukiasemien kiinnitysten jälkeen siirryttiin projektiin vaiheeseen 2 ja kohteessa suoritettiin käyttöönottestaus, jolla varmistettiin WLAN-verkon suorituskyky suunnitellulla tavalla. Käyttöönottestaus sisältää mm. verkon peittoalueen varmistamisen, häiriötason mittaamisen sekä sovellustason mittaamisen 7signal Sapphire -laitteistolla.

### 6.1 Peittoalueen verifiointi

Peittoalueen verifiointilla varmennetaan, ettei kerroksiin jää katvealueita ja että tukiasemat kuuluvat molemmilla taajuuksilla (2,4 / 5,0 GHz) riittävän vahvoilla signaalinvoimakkuuksilla (RSSI  $\geq$  -65 dBm).

Peittoaluemittausta ei rajallisen aikataulun mukaisesti ehditty tekemään kuin yläkellariin ja silloinkin mittausta suorittaessa olivat tukiasemien 5 GHz:n radiot poissa käytöstä.

2,4 GHz:n peittoaluekuvasta voidaan kuitenkin nähdä, että todellinen peittoaluekuva (Kuva 40.) vastaa hyvin verkkosuunnitelmassa tehtyä simuloitua peittoaluekuvaa (Kuva 20).



Kuva 40. Todellinen 2,4 GHz:n taajuuden peittoaluekuva yläkellarista, jossa signaalivoimakkuus parempi kuin -65 dBm

Oletuksena 5 GHz:n taajuuden peittoalue tulee olemaan 2,4 GHz heikompi.

Oikeaan yläkulmaan, joka sattui olemaan noin 20 henkilön luokkahuone, jää kuitenkin katvealue -65 dBm:n rajalla, jonka seurauksena tultiin siihen tulokseen, että yksi tukiasema lisätään kyseiseen huoneeseen. Huoneessa ei myöskään ollut Ethernet-portteja kiinteään verkkoon, joten langaton verkkoysteys osoittautui entistäkin tärkeämmäksi.

## 6.2 Käyttöönottomittaus

Käyttöönottomittauksessa käytettiin 7signal Sapphire -ratkaisua, jolla varmistetaan verkon palvelunlaatu loppukäyttäjän kannalta. Käyttöönottomittaukselta varten asennettiin 2 kappaletta 7signal Eye valvonta-asemaa yläkellariin ja kerrokseen 1. Sonar-palvelin asennettiin kannettavaan tietokoneeseen, jonka tarkoituksena oli emuloida Heden-grenin konesalin tuotantopalvelimia.

Automaattisessa valvonnassa/mittauksessa Sapphire-ratkaisu mittaa erittäin monipuolisesti päästä-päähän-yhteyden palvelunlaadun esim. tutkimalla spektrimittauksilla radioympäristön tilan, mittaamalla signaali- ja kohinatasot, sovelluskohtaisesti yhteyden käytettävyys ja suorituskyky sekä muiden päätelaitteiden suorituskykyä verkossa.

Automaattisen mittauksen piiriin valittiin yhteensä 6 tukiasemaa, 5 kpl 2,4 GHz:n BSSID:tä ja 6 kpl 5,0 GHz:n BSSID:tä. Jatkuvaa laadunvalvontaa varten Hedengrenin tiloihin tulisi asentaa yläkellariin ja 1. kerrokseen yhteensä 3 - 4 valvonta-asemaa, jolloin kaikki kerroksien tukiasemat olisivat valvonnassa.

Esitetyt tulokset sisältävät dataa kolmelta vuorokaudelta ja sijoittuvat aikavälille 21.1–24.1. Mittaukset kohdistettiin SSID Hedengren:n ja tuloksia on tarkasteltu radiokohtaisesti 2,4 GHz ja 5,0 GHz erikseen. Vierailijaverkon toimintaa ei tässä raportissa otettu huomioon.

### 6.2.1 Yhdistetty palvelutasonäkymä (SLA)

Palvelutasonäkymä kertoo verkon/tukiasemien todellisen suorituskyvyn ns. liikennevalonäkymällä.

Seuraavassa näkymässä on esitettyä tulokset molemmilta taajuusalueilta 2,4 GHz:n ja 5,0 GHz:n verkolle Hedengren ja kerrokseen 1 ja YK.

### 2,4 GHz:n ja 5,0 GHz:n radiot – YK ja kerros 1. (sis. 5 AP:ta)

▼ YK / Kerros 1/"Hedengren" (NW-1), 2.4 GHz <a href="#">Go to top of the page</a>											
<a href="#">Hide/show numbers</a> <a href="#">Hide/show KPI-names</a> <a href="#">Rotate KPI-codes</a> <a href="#">Even width</a>											
"Hedengren" (NW-1)/YK / Kerros 1, 2.4 GHz											
DAY	AV008 Beacon availability in managed AP scan	AC001 Radio attach success rate	AC002 IP address retrieval success rate	QURT007 Ping success rate	RE004 FTP test success rate	RE005 VoIP test success rate	QURT004 Ping RTT	QUAP001 FTP DL throughput	QUAP002 FTP UL throughput	QUAP005 VoIP MOS downlink (listening)	QUAP006 VoIP MOS uplink (talking)
2013-01-21	99.2%	99.3%	99.6%	95.0%	82.7%	99.5%	98.9%	82.7%	100.0%	36.7%	63.1%
2013-01-22	98.5%	100.0%	97.6%	92.2%	80.3%	99.9%	98.4%	88.8%	97.5%	39.2%	68.8%
2013-01-23	99.1%	100.0%	98.9%	95.6%	82.4%	99.9%	99.4%	88.4%	99.5%	52.6%	73.7%
2013-01-24	98.9%	96.3%	96.8%	92.1%	83.8%	99.2%	99.5%	89.2%	97.3%	59.0%	69.9%

Kuva 41. 2,4 GHz:n taajuus – YK ja kerros 1. (sis. 5 AP:ta)

▼ YK / Kerros 1/"Hedengren" (NW-1), 5 GHz											
Hide/show numbers Hide/show KPI-names Rotate KPI-codes Even width											
"Hedengren" (NW-1)/YK / Kerros 1, 5 GHz											
DAY	AV008 Beacon availability in managed AP scan	AC001 Radio attach success rate	AC002 IP address retrieval success rate	QURT007 Ping success rate	RE004 FTP test success rate	RE005 VoIP test success rate	QURT004 Ping RTT	QUAP001 FTP DL throughput	QUAP002 FTP UL throughput	QUAP005 VoIP MOS downlink (listening)	QUAP006 VoIP MOS uplink (talking)
2013-01-21	95.7%	72.7%	100.0%	93.3%	81.4%	99.5%	99.5%	98.9%	96.2%	94.2%	93.8%
2013-01-22	96.1%	74.5%	98.8%	89.3%	78.6%	100.0%	98.6%	97.8%	96.6%	96.4%	94.6%
2013-01-23	91.9%	75.5%	100.0%	92.8%	82.7%	99.9%	99.8%	97.4%	95.7%	99.0%	94.3%
2013-01-24	94.3%	67.5%	100.0%	90.6%	85.5%	99.9%	98.7%	100.0%	93.8%	98.4%	95.2%

Kuva 42. 5,0 GHz:n taajuus – YK ja kerros 1. (sis. 6 AP:ta)

Taulukkoihin on valittu 11 kpl WLAN/LAN-verkon palvelunlaatua mittaavaa KPI-mittaria. Suurin osa tuloksista on vihreällä mittausjakson aikana (suorituskyky on hyvä). Tuloksista kuitenkin huomataan, että vaikeuksia on ollut eniten tukiasemaan liittymisessä 5 GHz:lla (Radio attach success rate) ja 2,4 GHz:n alasuunnan VoIP MOS:ssa (VoIP MOS downlink). Nämä tulokset näkyvät taulukossa oranssina / punertavina. Tuloksia tarkastellaan tarkemmin kohdassa "Sovellustason tulokset". Tavoiteraja-arvot eri mittareille on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. KPI mittareiden tavoiteraja-arvot automaattisessa valvonnassa

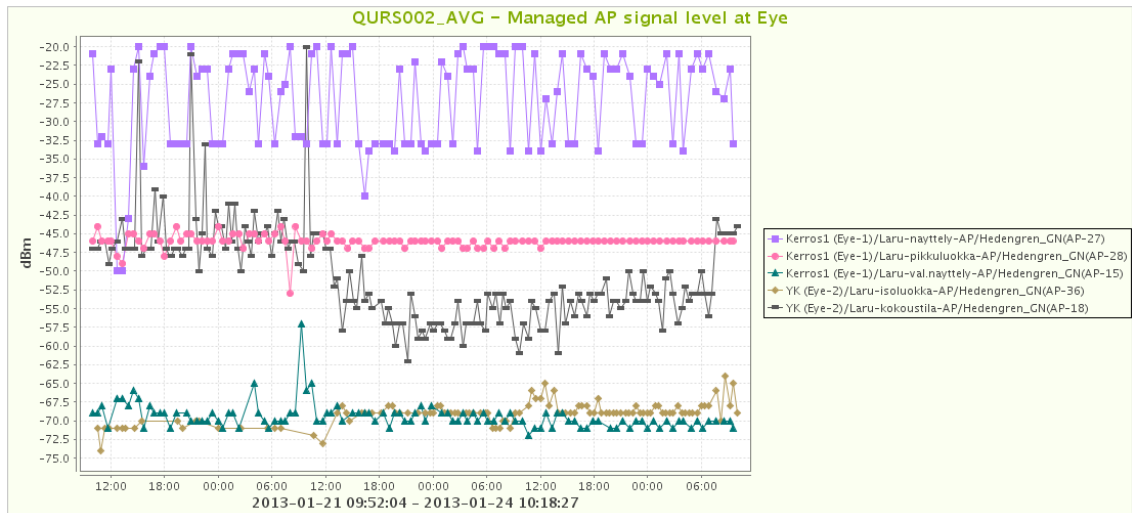
KPI	Target	Green	Yellow
AV008: Beacon availability in managed AP scan	>=1.0#	80.0%	70.0%
AC001: Radio attach success rate	>=1.0#	90.0%	80.0%
AC002: IP address retrieval success rate	>=1.0#	98.0%	90.0%
QURT007: Ping success rate	>=1.0#	80.0%	50.0%
RE004: FTP test success rate	>=1.0#	90.0%	75.0%
RE005: VoIP test success rate	>=1.0#	90.0%	75.0%
QURT004: Ping RTT	<=10.0ms	99.5%	95.0%
QUAP001: FTP DL throughput	>=10.0Mbit/s	95.0%	85.0%
QUAP002: FTP UL throughput	>=8.0Mbit/s	95.0%	85.0%
QUAP005: VoIP MOS downlink (listening)	>=3.6#	90.0%	80.0%
QUAP006: VoIP MOS uplink (talking)	>=3.6#	90.0%	80.0%

Taulukon 9 mukaisesti esimerkiksi FTP DL -siirtonopeuden tavoiteraja on 10.0 Mbit/s, mutta jos mittaustuloksista 85 % tai vähemmän jää alle 10 Mbit/s, niin taulukon ruudun väri alkaa punertua sitä mukaa, mitä heikompi tulos on.

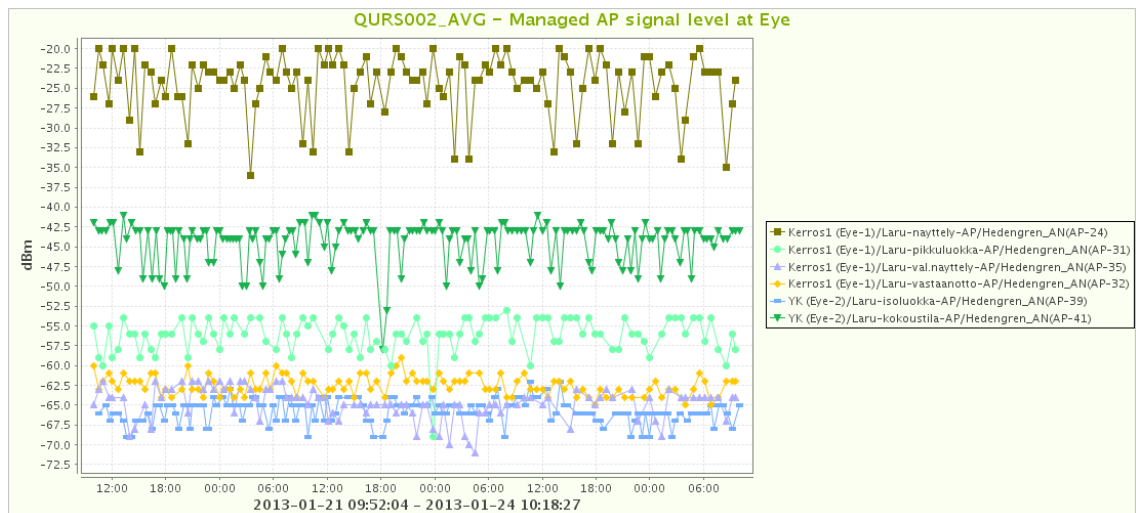
## 6.2.2 Radioympäristön tila

Signaalivoimakkuuskuvissa on esitetty valvottavien tukiasemien signaalivoimakkuuden vaihtelua mittausjakson aikana. Mittaushetkellä kohteessa oli päällä automaattinen tehon- ja kanaviensäätö (Aruba ARM). Signaalivoimakkuuksien vaihtelu on kuitenkin pysynyt pienenä.

### Signaalivoimakkuudet – 2,4 GHz ja 5,0 GHz



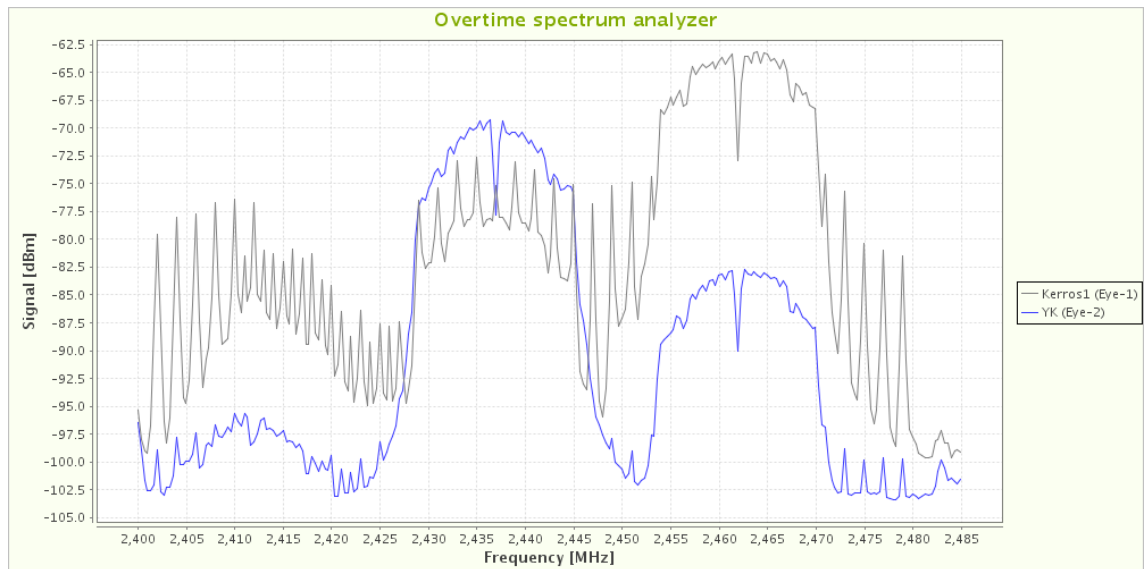
Kuva 43. Valvonnassa olevien 2,4 GHz-radioiden signaalivoimakkuudet



Kuva 44. Valvonnassa olevien 5,0 GHz-radioiden signaalivoimakkuudet



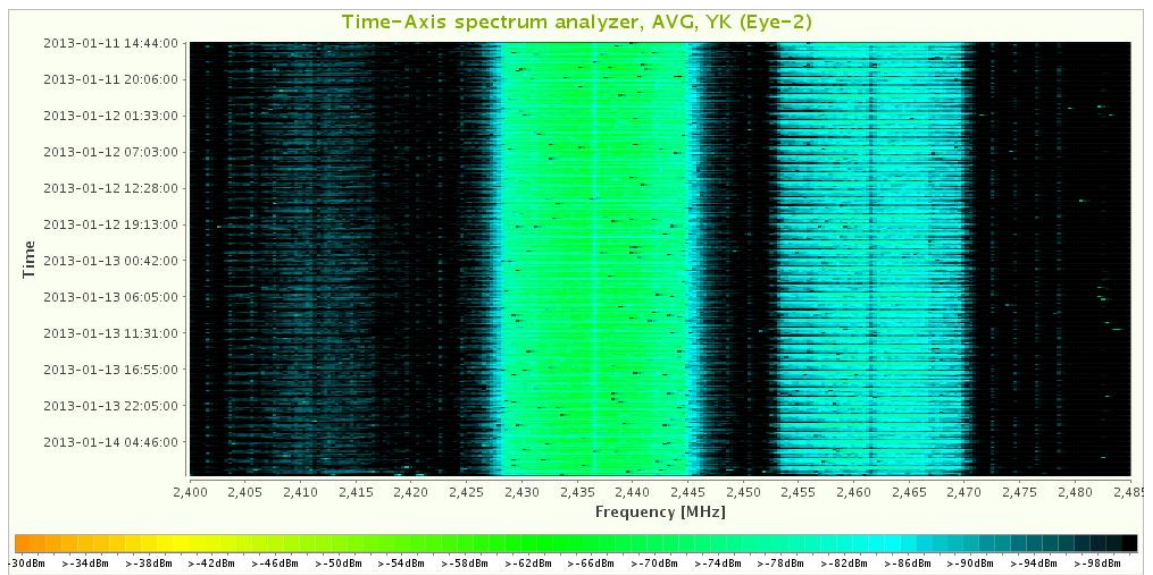
## 2,4 GHz:n spektri – YK ja kerros 1.



Kuva 45. 2,4 GHz:n mittausjakson yli oleva keskimääräinen singaalivoimakkuus kerroksittain

WLAN-liikenne painottuu kanaville 1, 6 ja 11. Kuvassa 45 näkyvät n. 1 MHz:n välein olevat piikit ovat luultavasti Bluetooth-laitteista aiheutuvaa häiriötä, jota näkyy selvästi voimakkaammin kerroksessa 1. Kerros 1:n näyttelytilassa on paljon teknisiä laitteita esitteillä (TV:t, radiot, videokamerat), joista mahdollisesti aiheutuu häiriötä 2,4 GHz:n WLAN:lle.

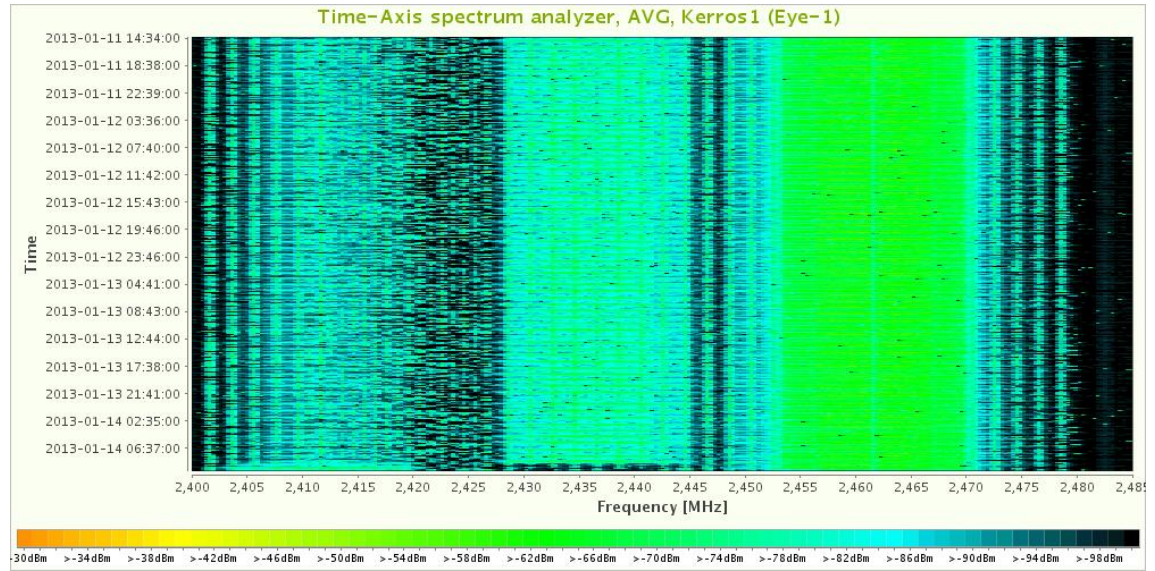
## 2,4 GHz:n spektri ajan suhteen – YK ja kerros 1.



Kuva 46. 2,4 GHz:n spektri ajan suhteen – yläkellari

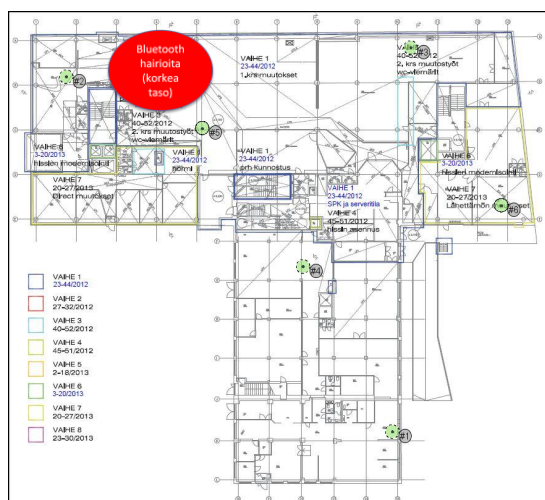


Spektrimittaus kertoo mm. ei-WLAN-lähettimien aiheuttamat ongelmat kohteessa. Kuvassa 46 erottuu WLAN-liikenne kanavilla 1,6 ja 11. YK:ssa ei havaittu merkittäviä häiriölähteitä mittausjakson aikana.



Kuva 47. 5,0 GHz:n spektri ajan suhteen – kerros 1

Spektrimittaus kertoo mm. ei-WLAN-lähettimien aiheuttamat ongelmat kohteessa. Kuvassa 47 erottuu WLAN-liikenne kanavilla 1,6 ja 11. Kuvassa näkyy paljon liikennettä / häiriötä myös kanavien 1,6 ja 11 välillä. Häiriölähte on todennäköisesti kerroksen esitelytilassa olevat Bluetooth-laitteet.

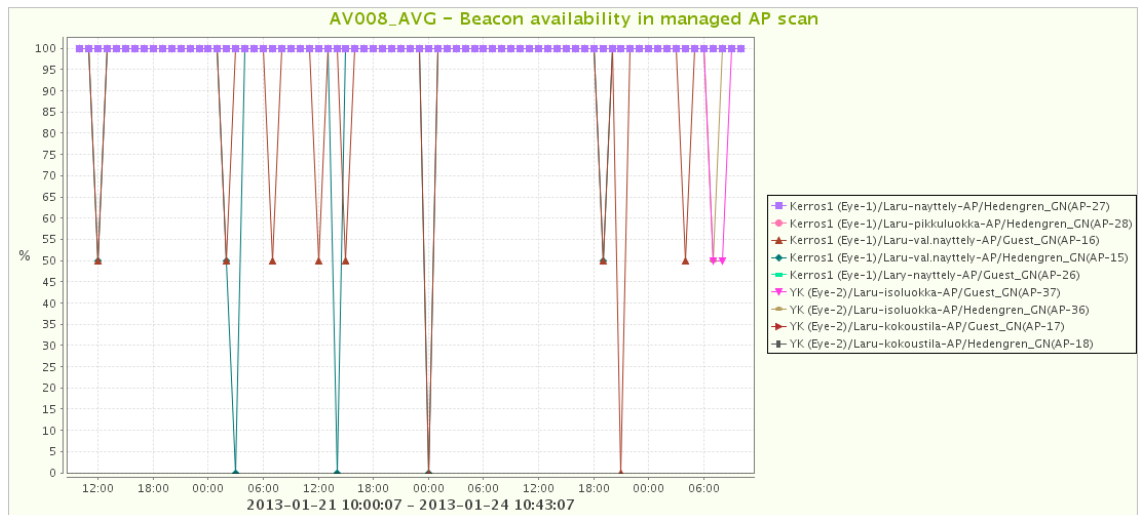


Kuva 48. Bluetoothista aiheutuva häiriötaso oli korkeimmillaan Eyen antennisuunnissa 1 ja 6 ja osuu kuvassa punaisen ympyrän alueelle

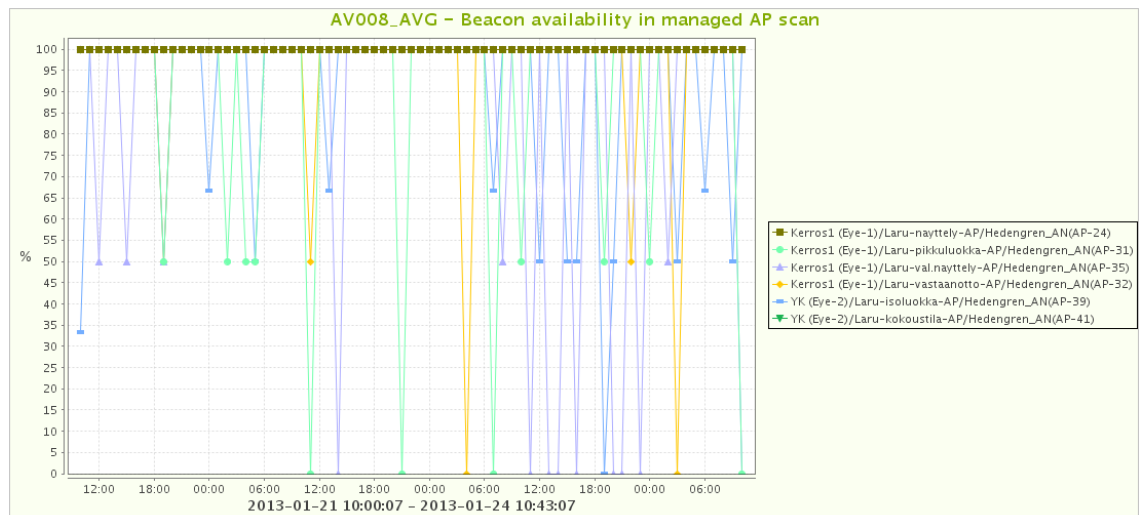
### 6.2.3 Verkon saatavuus

Verkon saatavuus mitataan muun muassa pilotti-signaalista (beacon), radioon liittymisestä (attach) sekä IP-osoitteen saatavuudesta verkosta. Pilotti signaalin avulla tukiasema informoi olemassa olostaan käyttäjän päätelaitetta.

#### Pilottin saatavuus – 2,4 GHz ja 5,0 GHz



Kuva 49. Pilottisignaalin saatavuus 2,4 GHz:n radioista

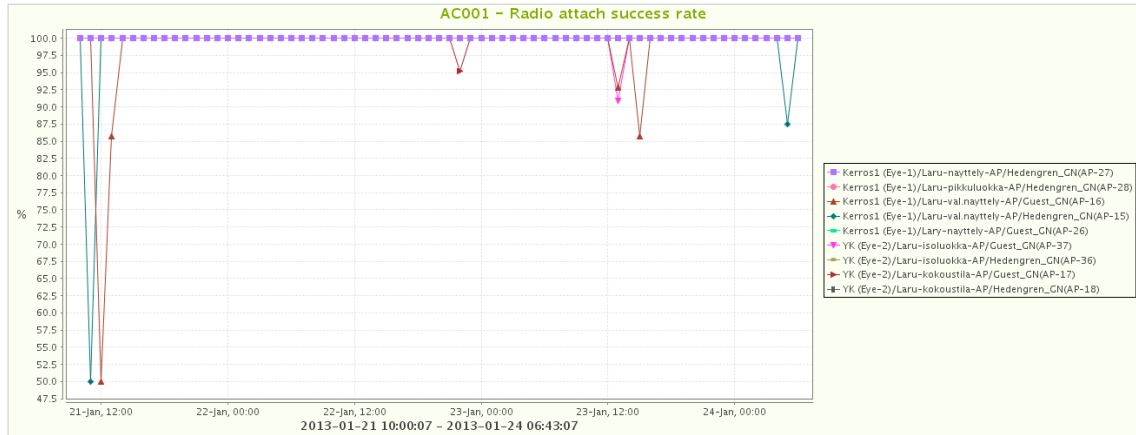


Kuva 50. Pilottisignaalin saatavuus 5,0 GHz:n radioista

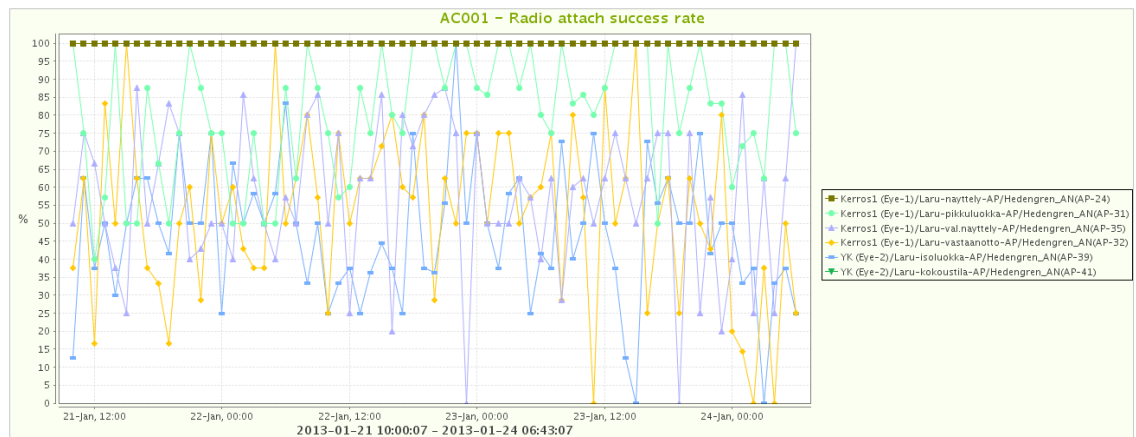
Alhainen pilottisignaalin saatavuus vaikuttaa mm. tukiaseman vaihtamiseen kuuluvuusalueen reunalla (roaming). 2,4 GHz:lla pilottisignaali saadaan luotettavasti. 5,0 GHz:lla

pilotin saaminen epäonnistuu ajoittain. Keskimäärin pilottisignaali saadaan 5,0 GHz:n radiolla kuitenkin yli 90 % ajoista, joka on kohtuullinen taso.

## Radioon liittyminen – 2,4 GHz ja 5,0 GHz



Kuva 51. Radioon liittyminen 2,4 GHz:n radioihin

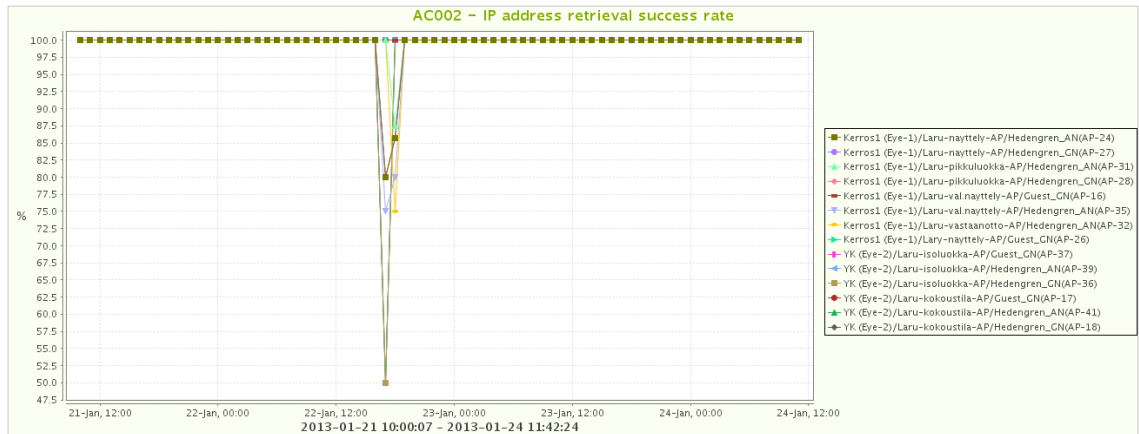


Kuva 52. Radioon liittyminen 5,0 GHz radioihin

Radioon liittyminen koostuu käyttäjän assosioitumisesta ja autentikoitumisesta tukiaseman radioon. 2,4 GHz:lla liittyminen onnistuu hyvin. 5,0 GHz:n radioon liittymisen keskimääräinen onnistumisprosentti vaihtelee tukiasemakohtaisesti 50:stä 100 prosenttiin.

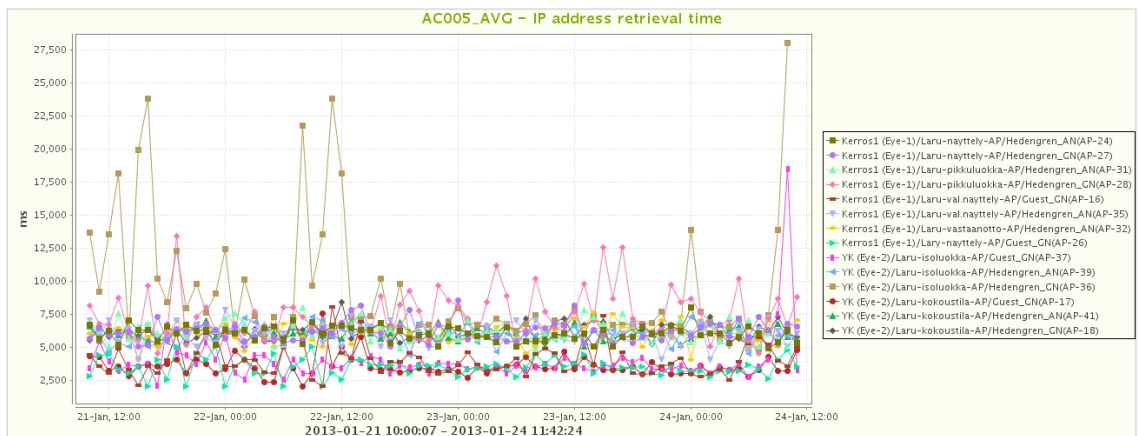
5,0 GHz:lla liittyminen onnistuu 100 %:sti tukiasemiin Laru-nayttely ja Laru-kokoustila (signaalitaso  $\geq -45,0$  dBm). Tuloksista nähdään, että liittymisen keskimääräinen onnistumisprosentti tippuu 50–75 % välille, kun vastaanotettu signaalitaso on  $\leq -55$  dBm.

## IP-osoitteen saaminen ja saamisajat



Kuva 53. IP-osoitteen saaminen DHCP-palvelimelta

IP-osoite saadaan luotettavasti kaikilla tukiasemilla. Hetkellinen piikki osuu 22.1. klo 17:00 kohdalle, joka voi johtua hetkellisestä DHCP-palvelimen kuormittumisesta.



Kuva 54. IP-osoitteen saamisajat

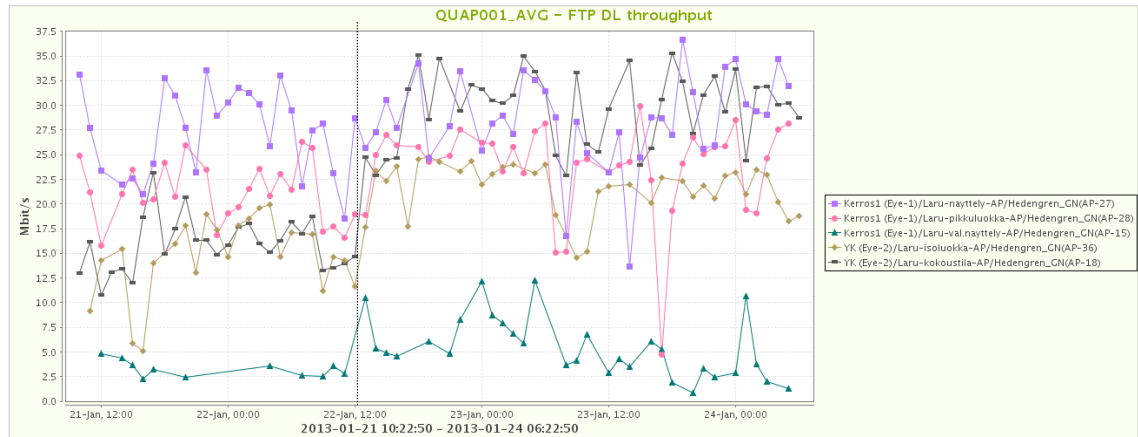
IP-osoitteen saaminen kestää keskimäärin noin 7 sekuntia, joka on ihan kelvollinen aika.

### 6.2.4 Sovellustason tulokset

Sovellustason mittaukset sisältävät mm. vasteaika tuloksia, datasiirtonopeuksia ja puheenlaatutuloksia.

## Datanopeudet ajan suhteen – 2,4 GHz ja 5,0GHz

### 2,4 GHz Alasuunta (DL):



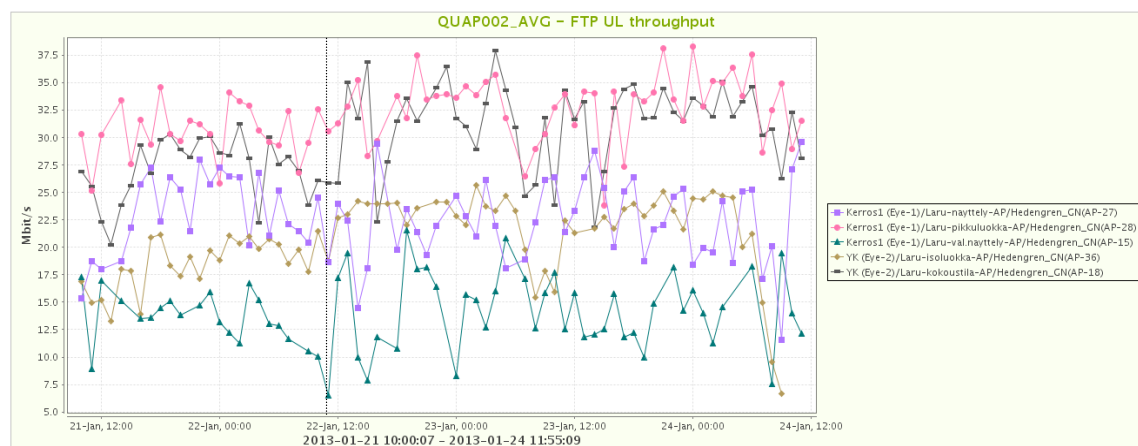
Kuva 55. 2,4 GHz:n alasuunnan datanopeudet esitettynä ajan suhteen

2,4 GHz:llä päästään tavoitteen mukaisiin tiedonsiirtonopeuksiin. Datanopeuksissa on kuitenkin suurta vaihtelua 15–30 Mbit/s välillä.

802.11b-koodekkien pudottamisella Hedengren 2,4 GHz BSSID:stä (pysty katkoviiva) on positiivinen vaikutus tiedonsiirtonopeuteen.

Laru-val.nayttely-AP:n heikko saattaa johtua heikosta RSSI:stä (-70 dBm).

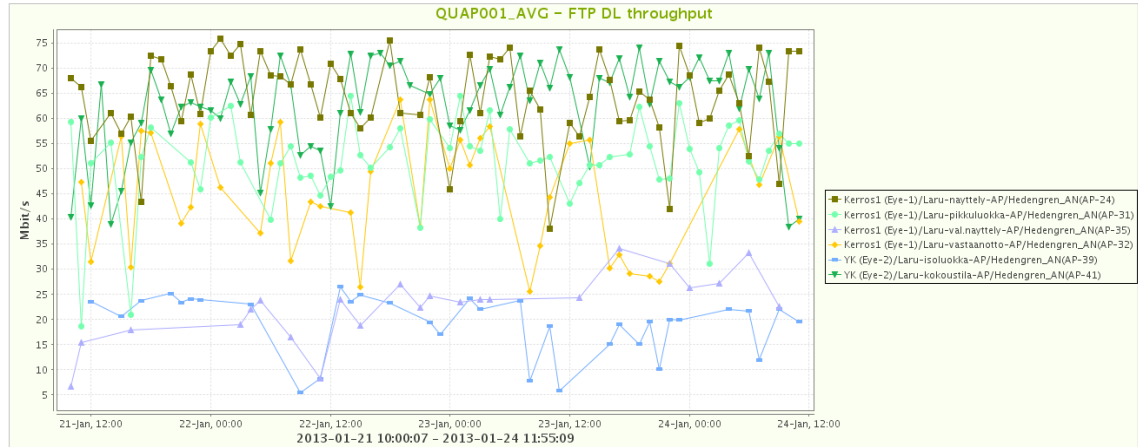
### 2,4 GHz Yläsuunta (UL):



Kuva 56. 2,4 GHz:n yläsuunnan datanopeudet esitettynä ajan suhteen

2,4 GHz yläsuunnan datanopeuksissa myös paljon vaihtelua, mutta tavoitteen mukaisesti tiedonsiirtonopeuksiin päästään.

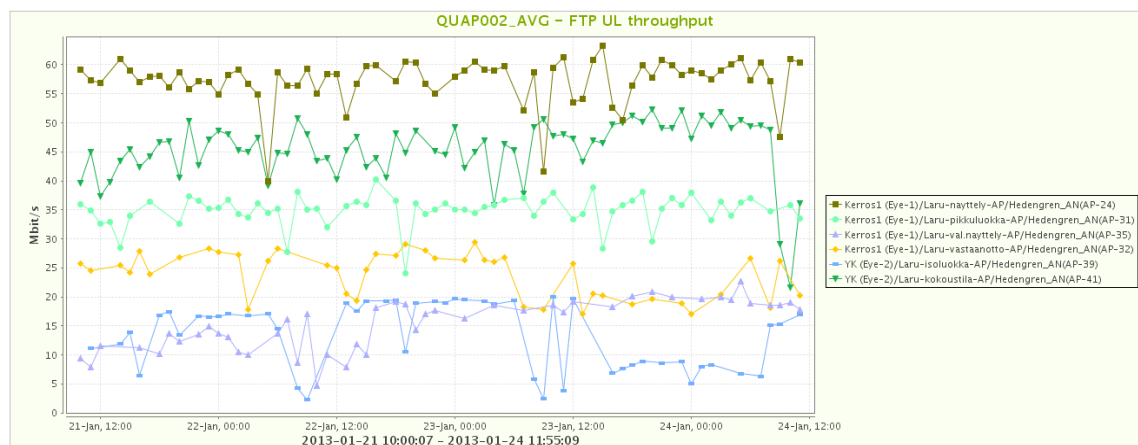
### 5,0 GHz Alasuunta (DL):



Kuva 57. 5,0 GHz:n alasuunnan datanopeudet esitettynä ajan suhteen

Keskimäärin päästään noin 50 Mbit/s per tukiasema, joka täyttää HT40-tiedonsiirtonopeuksien vaatimuksen. Heikoimmat siirtonopeudet ovat Laru-isoluokka ja Laru-kokoustila tukiasemilla, jotka ovat valvonnassa myös heikoimmilla signaalitasoilla. Heikko siirtonopeus johtuu todennäköisesti alhaisesta signaalitasosta (-70 dBm) (Eye-yksikön ja tukiaseman välinen yhteysväli ei ole riittävän hyvä saavuttaakseen hyvän tiedonsiirtonopeuden).

### 5,0 GHz Yläsuunta (UL):



Kuva 58. 5,0 GHz:n yläsuunnan datanopeudet esitettynä ajan suhteen

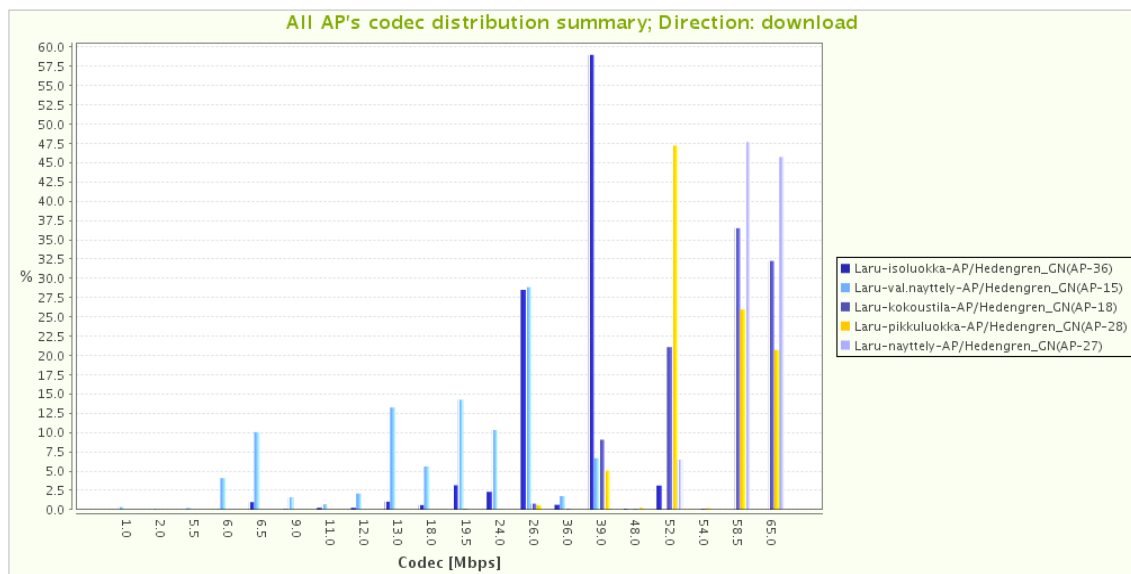


Yläsuunnan tiedonsiirtonopeudet täyttävät HT40 802.11n tiedonsiirtonopeuden vaatimukset 25 Mbit/s. Laru-kokoustilän tiedonsiirtonopeus tippuu lähestulkoon 20 Mbps mittausjakson lopussa.

### Datanopeuskoodekkijakaumia – 2,4 GHz ja 5,0 GHz

Datanopeuskoodekkijakauma kertoo radion laadusta sovellusmittausten aikana. Hyvissä radio-olosuhteissa käytetään suuria koodekkeja (39 Mbps  $\geq$ ), ja jos radiohäiriöt kasvavat tai signaalivoimakkuus on alhainen, niin käytetään pienempiä koodekkeja (18 Mbps  $\leq$ ). HT40 kanavia käyttäessä, suurten koodekkien raja menee 108 Mbps:ssä ja alhaisten koodekkien raja on 54 Mbps.

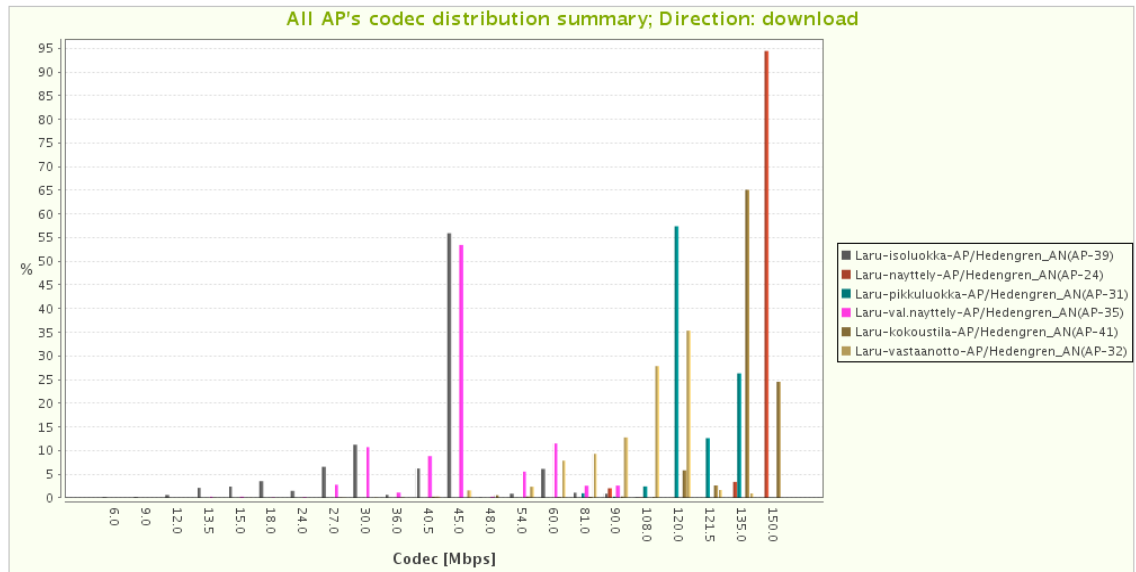
### Eyen FTP-testeissä käytetyt koodekit – 2,4 GHz Alasuunta (DL):



Kuva 59. Eyen FTP DL -testeissä käytetyt datanopeuskoodekit per 2,4 GHz:n radio

Kuvasta 59 nähdään, että suurimmaksi osaksi käytetään keskisuuria ja suuria koodekkeja.

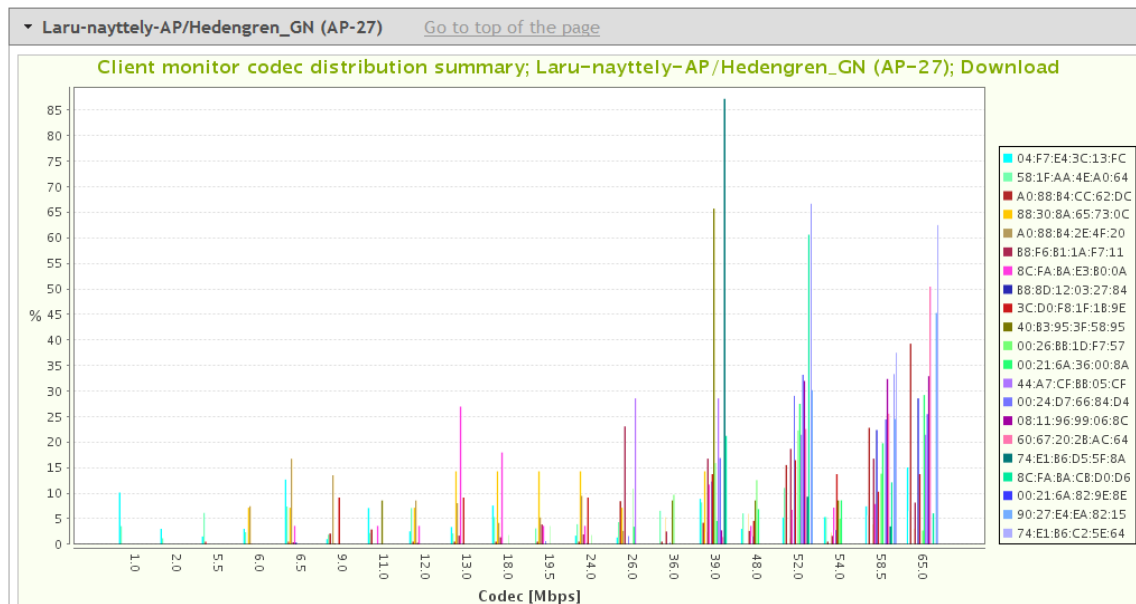
### Eyen FTP-testeissä käytetyt koodekit – 5,0 GHz Alasuunta (DL):



Kuva 60. Eyen FTP DL -testeissä käytetyt datanopeuskoodekit per 5,0 GHz radio

5 GHz:lla parilla tukiasemista joudutaan käyttämään alhaisia koodekkeja (alle 54 Mbps). Muilla tukiasemilla päästään hyviin datanopeuskoodekkeihin.

### Käyttäjien datanopeuskoodekkijakauma – 2,4 GHz Alasuunta (1 AP)



Kuva 61. Käyttäjien käyttämiä alasuunnan koodekkeja tukiasemassa Laru-nayttely-AP 2,4 GHz

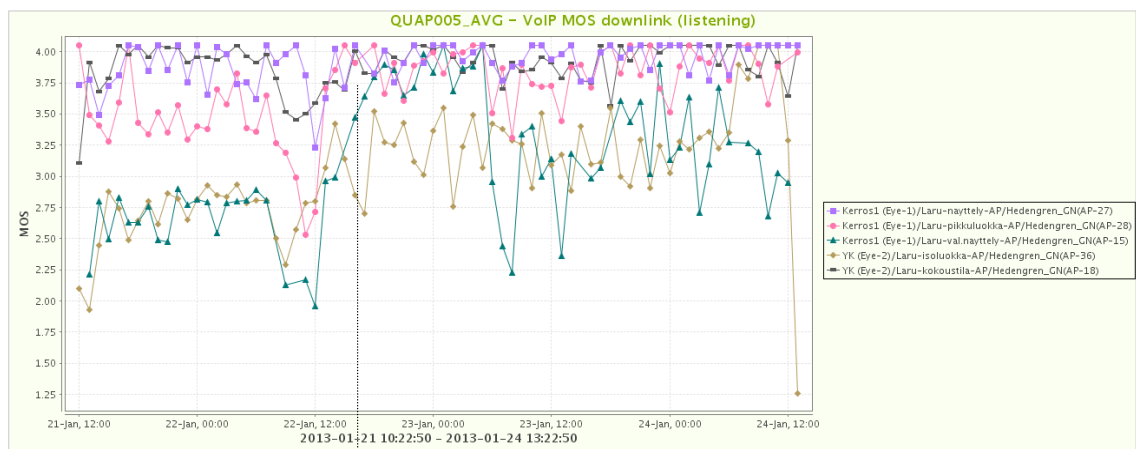


Kuvassa on esitetty käyttäjien käyttämiä alasuunnan koodekkeja tukiasemassa Laru-näyttely-AP. Pääosin päästään käyttämään suuria koodekkeja ( $\geq 39$  Mbps).

## VoIP MOS ajan suhteen

Puheenlaatumittaus (VoIP MOS) kertoo verkon käytettävyyden mm. reaaliaika- tai muille viiveherkille sovelluksille. VoIP MOS -mittari reagoi verkon viiveeseen, viiveen vaihteluun ja pakettihävikkiin. Kohtalainen tavoiteraja on 3.6 ja hyvä tulos 4.0.

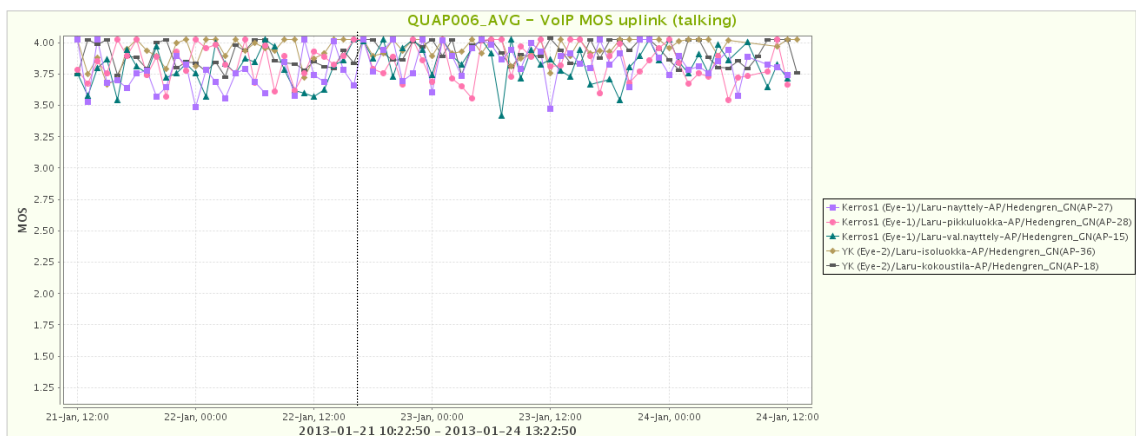
## 2,4 GHz MOS DL



Kuva 62. 2,4 GHz alasuunnan VoIP MOS esitettyä ajan suhteen

802.11b-koodekkien pudottaminen Hedengren 2,4 GHz BSSID:stä (pysty katkoviiva) parantanut osittain DL MOS:a, mutta toiminta on edelleen ailahtelevaa.

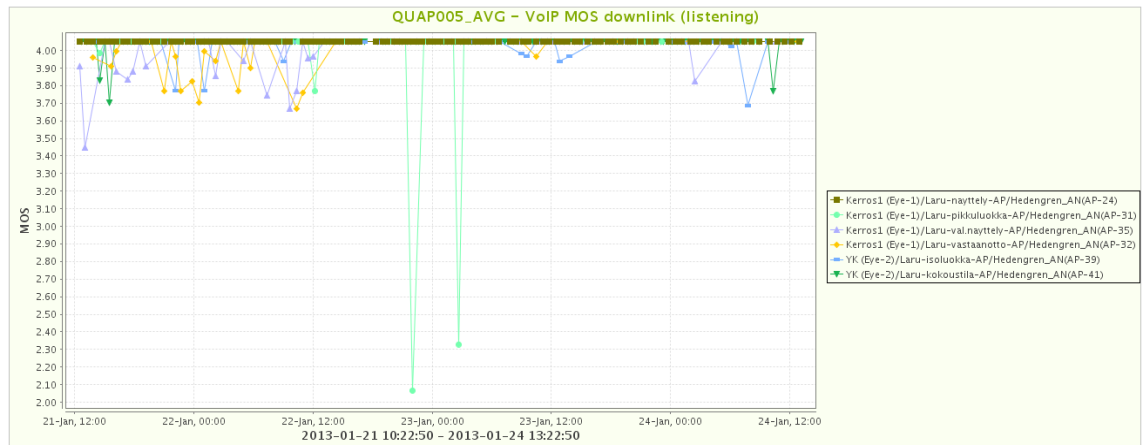
## 2,4 GHz MOS UL



Kuva 63. 2,4 GHz yläsuunnan VoIP MOS esitettynä ajan suhteen.

Yläsuuntaan liikenne toimii luotettavammin kuin DL.

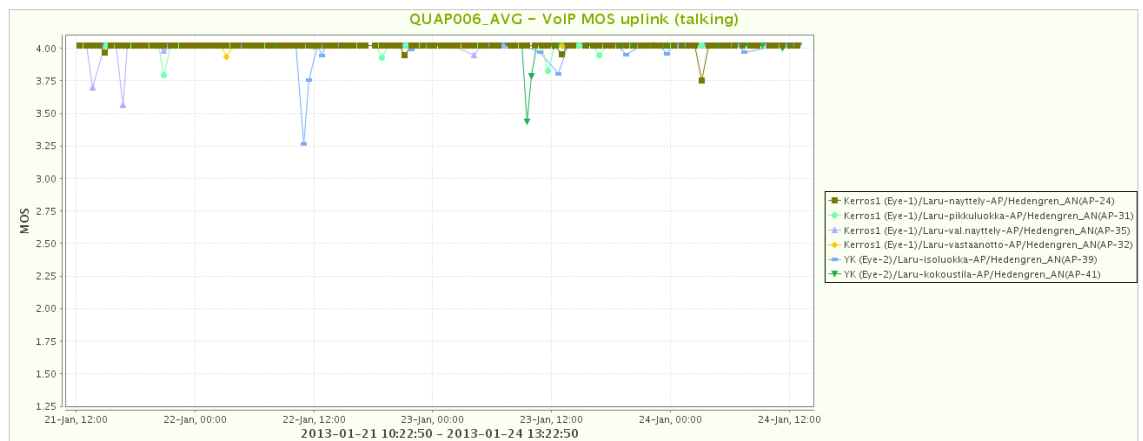
### 5,0 GHz MOS DL



Kuva 64. 5,0 GHz alasuunnan MOS esitettynä ajan suhteen

Suurimmaksi osaksi aikaa päästään hyvään tulokseen.

### 5,0 GHz MOS UL



Kuva 65. 5,0 GHz yläsuunnan MOS esitettynä ajan suhteen

Päästään lähes aina hyvään tulokseen.

### 6.3 Vaihe 2 – Yhteenveto

Lopulliset peittoaluemittaukset tullaan tekemään kerroksin yläkellari, 1 ja 2 sitten, kun kaikki suunnitellut tukiasemat on asennettu kerrokseen 2 ja teho- ja kanava-asetukset ovat kohdillaan. Käyttöönottomittaus suoritettiin kerroksissa yläkellari ja kerros 1 automaattisella 7signal Sapphire -laitteistolla. Kerrokseen 2 ja 4 tullaan myös tekemään peittoalueen varmentaminen ja laadunverifointi käyttöönoton yhteydessä.

Manuaaliset teho- ja kanava-asetukset ovat osa verkkosuunnitelmaa, joten myös kyseisen toimenpiteen vaikutus verkon toimintaan, tullaan verifioimaan 7signal Sapphirella. Tämä voi parantaa tukiasemaan liittymistä 5 GHz:lla ja tuoda stabiilisuutta kanava- ja signaalikäyttäytymiseen, ja sitä myötä parantaa myös tiedonsiirtonopeuksia.

Pienimpien koodekkien käyttö (802.11b-koodekit) poistettiin Hedengren-verkosta mitausjakson aikana. Toimenpiteellä vaikutti olevan positiivinen vaikutus reaaliaikaiseen liikenteen luotettavuuteen sekä tiedonsiirtonopeuksiin 2,4 GHz:n radiossa. 802.11b-koodekkien salliminen johtaa siihen, että päätelaitteet jäävät ”roikkumaan” verkkoon erittäin alhaisilla signaalivoimakkuuksilla ja seuraus on yleensä se, että 802.11g/n-tuen omaavien päätelaitteiden suorituskyky kärsii.

Spektristä voitiin päätellä, että kerros 1:ssä Bluetooth aiheuttaa häiriötä 2,4 GHz:lla operoiville WLAN-radioille. Voimakas Bluetooth-häiriölähde on hyvä syy selvittää, ja mahdollisesti poistaa häiritsemästä 2,4 GHz:lla toimivia WLAN-tukiasemia.

7signal Sapphiren avulla havaittiin myös yksi vikatilanne, missä yhden tukiaseman 5 GHz:n radiossa HT40 tippui pois (Laru-kokoustila-AP, kuva 57 ja 58). Kanavaa ei havaittu enää spektristä, ja tiedonsiirtonopeudet puolittuivat. Kontrollerista katsottuna kyseisen tukiaseman HT40 kanava-asetus oli kuitenkin aktiivinen. Tukiaseman uudelleenkäynnistäminen palautti kanavan näkyviin.

## 7 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin yritystason langattoman verkon suunnitteluun ja toiminnan varmentamiseen. Projekti tehtiin Hedengrenin Lauttasaaren toimistotiloihin

ja työssä oli tarkoitus tuoda esiin kahden ensimmäisen kerroksen vaiheet ja toimenpiteet.

Teoriaosuudessa tuotiin esille Wi-Fi/WLAN-tekniikan käyttöä nykyään ja IEEE 802.11 -standardin historiaa ja kehitystä. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös verkkosuunnitelmassa huomioon otettavia asioita, kuten ympäristöt, häiriöt ja käyttötarpeet. Tämän lisäksi esiteltiin 7signal Sapphire -laadunvalvontajärjestelmä, jonka avulla pystytään verifioimaan WLAN/LAN-verkon toiminta- ja suorituskyky käyttäjän näkökulmasta.

Opinnäytetyön käytännöosuudessa käytiin alkuun läpi käytännön asioita projektin aikataulujen ja vaiheiden suhteen. Ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin asiakkaan tarpeita WLAN-verkon käytölle ja tehtiin suuntaa-antava arvio tarvittavasta laitteistosta ja tukiasemien määrästä. Tämän jälkeen tehtiin tarjouspyynnöt kyseisistä laitteista ja kilpailutettiin ne eri maahantuojille.

Tarkempi ja lopullinen verkkosuunnitelma tehtiin esikartoituksen jälkeen, kun signaalin etenemistä kartoitettiin kohdeympäristössä testilähettimien avulla. Verkkosuunnitelman tekemisessä käytettiin apuna EkauHau Site Survey -työkalua.

Verkkosuunnitelma ja tukiasemien paikat katsottiin asiakkaan kanssa läpi, jonka jälkeen asennukset tehtiin sovitun mukaisesti käyttöönoton jälkeen. Peittoaluemittauksessa osoittautui, että todelliset peittoalueet korreloituivat hyvin simuloitujen peittoalueiden kanssa.

Käyttöönottomittauksessa käytettiin 7signal Sapphire -ratkaisua, jonka avulla pystytään verifioimaan verkon suorituskyky käyttäjän näkökulmasta.

Mittaukset osoittivat 7signal Sapphiren hyödyllisyyden verkon käyttöönoton yhteydessä. Sapphiren avulla pystytään heti näkemään optimointi toimenpiteiden vaikutus verkon suorituskykyyn.

## Lähteet

- [1] 7signal Sapphire Deployment Guide. PDF-dokumentti. 7signal Oy.
- [2] Indoor 802.11n Site Survey and Planning. Verkkodokumentti. Aruba. <[www.arubanetworks.com/wp-content/uploads/Indoor80211n\\_2012-05-31.pdf](http://www.arubanetworks.com/wp-content/uploads/Indoor80211n_2012-05-31.pdf)> Luettu 7.11.2012.
- [3] Define WLAN requirements. Verkkodokumentti. Wi-Fi Planet. <[www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3766376/How-to-Define-Wireless-Network-Requirements.htm](http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3766376/How-to-Define-Wireless-Network-Requirements.htm)> Luettu 9.11.2012.
- [5] Seven Rules for Accurate Site Surveys. Verkkodokumentti. WLAN professionals. <[www.wirelesslanprofessionals.com/wp-content/uploads/2010/06/Seven-Rules-for-Accurate-Site-Surveys.pdf](http://www.wirelesslanprofessionals.com/wp-content/uploads/2010/06/Seven-Rules-for-Accurate-Site-Surveys.pdf)> Luettu 10.11.2012.
- [6] Akin Devin, Geier Jim. First Edition. CWAP – Certified Wireless Analysis Professional. McGraw -Hill/Osborne.
- [7] IEEE. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE>> Luettu 9.11.2012.
- [8] Hajaspektritekniikka. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Hajaspektri>> Luettu 9.11.2012.
- [9] Carpenter Tom. CWNA/CWSP All-in-One Exam Guide. McGraw-Hill.
- [10] WLAN-kanavat. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_WLAN\\_channels](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels)> Luettu 7.10.2012.
- [11] User Guide 7signal Sapphire Carat. PDF-dokumentti. 7signal Oy.
- [12] 802.11 and MIMO. Verkkodokumentti. CWNP, Markus Burton. <[http://www.cwnp.com/cwnp\\_wifi\\_blog/802-11n-and-mimo-are-not-synonymous/](http://www.cwnp.com/cwnp_wifi_blog/802-11n-and-mimo-are-not-synonymous/)> Luettu 13.11.2012.
- [13] Ad-Hoc-verkot. Verkkodokumentti. Microsoft. <[www.technet.microsoft.com/enus/library/cc757419%28v=ws.10%29.aspx](http://www.technet.microsoft.com/enus/library/cc757419%28v=ws.10%29.aspx)> Luettu 2.12.2012.

### **Liite 1: Aruba AP-104 tukiaseman tekniset ominaisuudet**

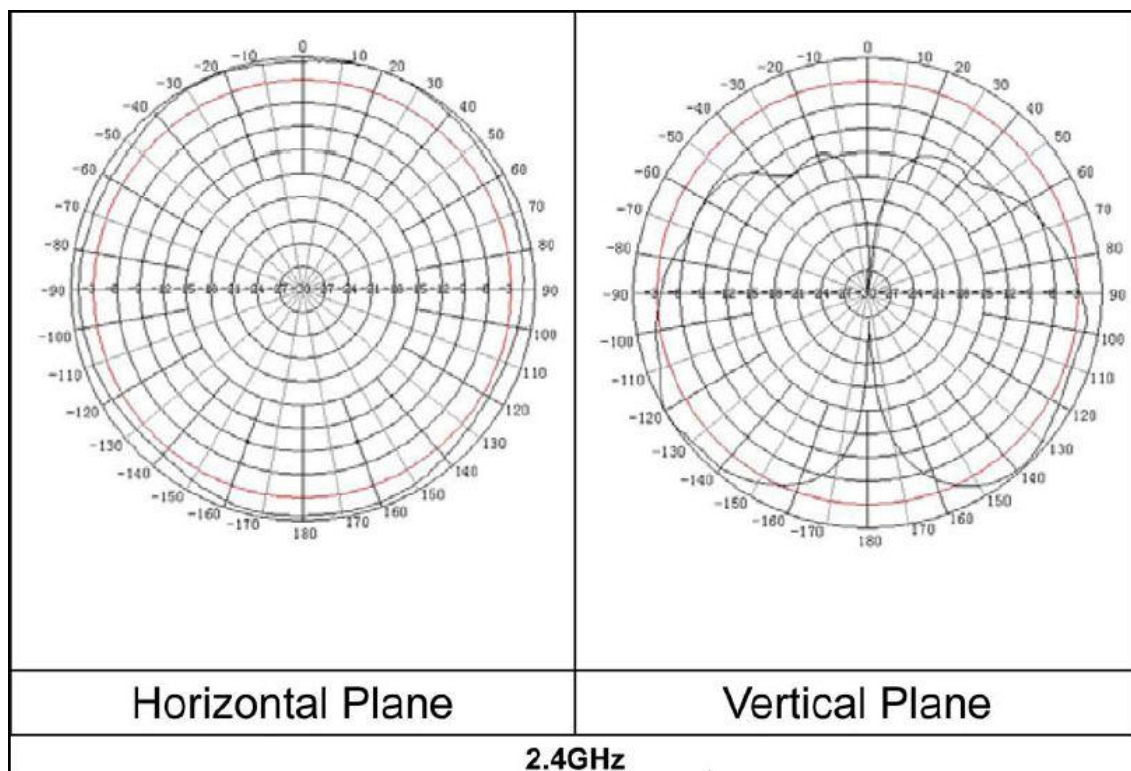
- Tukee 802.11/a/b/g/n-standardeja
- Kaksiradioinen, kaksitaajuuksinen, 2,4 tai 5,0 GHz
- 2x2:2 MIMO, 2 lähetys- ja 2 vastaanottoantennia sekä kaksi tietovirtaa
- Maksimi tiedonsiirtonopeus 300 Mbit/s
- 4 x RP-SMA-liitännät ulkoisille antenneille

## **Liite 2: Aruba 3200 –WLAN-kontrollerin tekniset ominaisuudet**

- Pystyy hallinnoimaan 32 LAN-tukiasemaa, 128 Remote-AP:ta
- 8 kappaletta Gigabit 10/100/1000 Ethernet-porttia
- Palomuurin datanopeus: 3 Gbps
- Hallinnoi autentikointia, salausta, VPN-yhteyksiä ja sisältää Aruba Policy Enforcement Firewall, Aruba Adaptive Radio Management

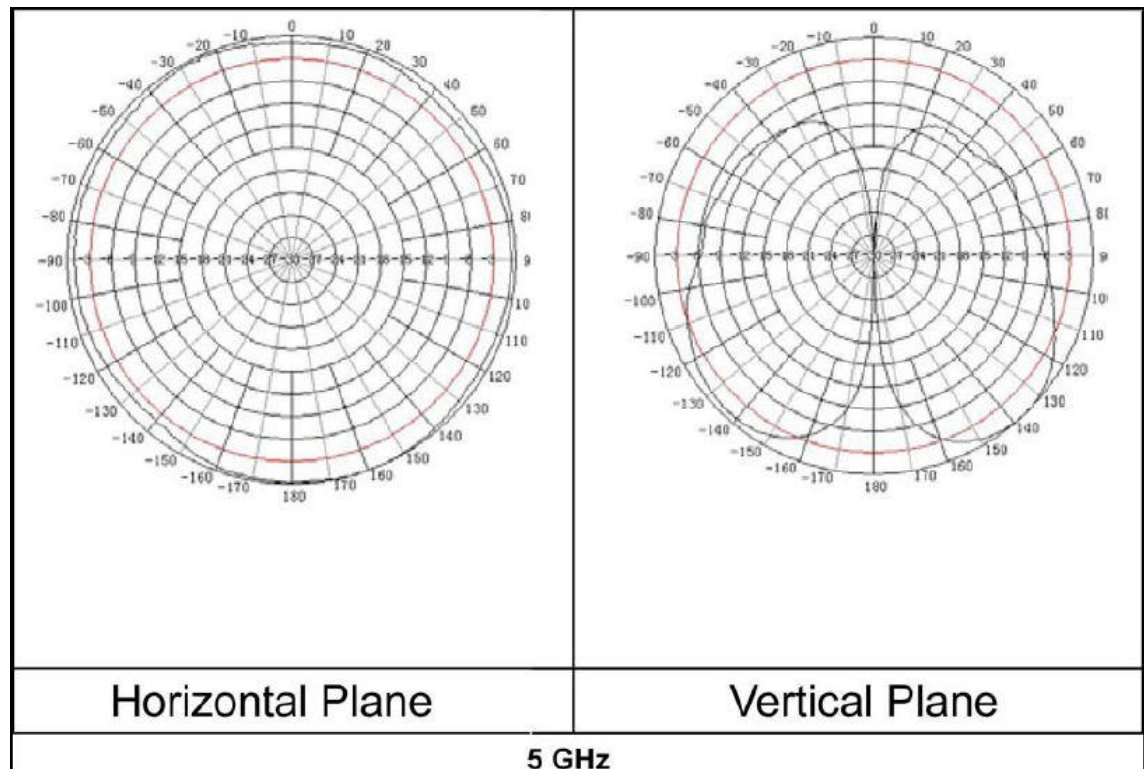
**Liite 3: 2,4/5.8 GHz 4 dBi Spatial Diversity MIMO Ceiling Antenna**

- Tukee 802.11/a/b/g/n-standardeja
- Tukee 1x2, 2x2, 2x3 ja 3x3 MIMO tukiasemia ja -reitittämiä
- Taajuusalueet / Vahvistus: 2,4-2.5 GHz (4.0 dBi), 4,9-5.850 GHz (4.0 dBi)
- Polarisaatio: Vertikaali
- Vertikaalinen keilanleveys: 50°
- Horisontaalinen keilanleveys: 360° suuntaamaton
- Antennityyppi: 6 x 18"-Koaksiaalikaapeli RP-SMA-konnektoreilla



Kuva 1. Antennin säteilykuviot 2.4 GHz:n taajuudella

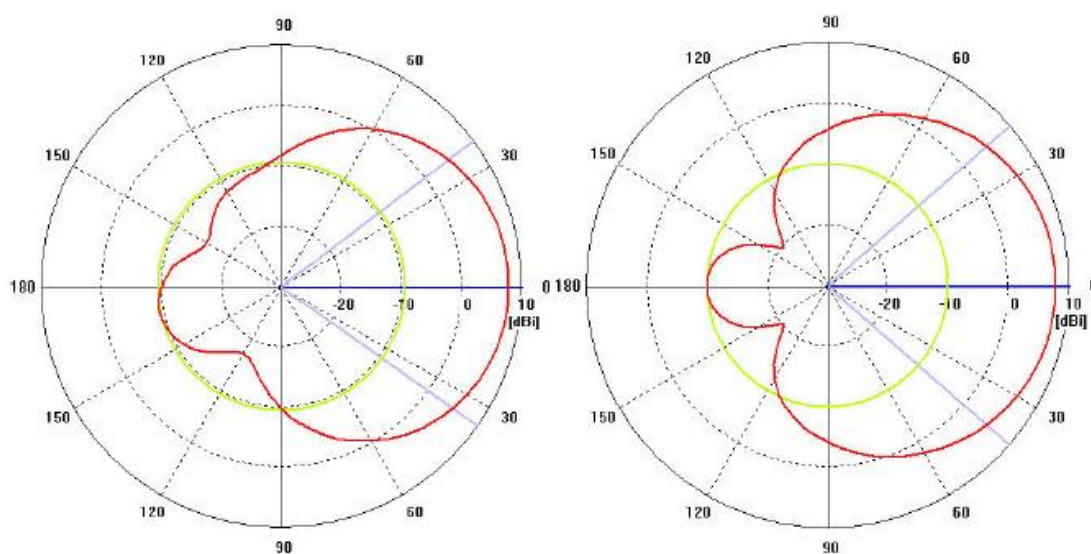




Kuva 2. Antennin säteilykuvio 5,0 GHz:n taajuudella

**Liite 4: TerraWave 802.11n 2,4/5 GHz 6/7 dBi MIMO Patch Antenna**

- Tukee 802.11/a/b/g/n-standardreja
- Taajuusalueet / Vahvistus: 2,4-2.5 GHz (6.0 dBi), 4.9-5.850 GHz (7.0 dBi)
- Polarisaatio: Vertikaali
- Vertikaalinen keilanleveys: 72° / 60°
- Horisontaalinen keilanleveys: 82° / 75°
- VSWR:  $\leq 1.5$  /  $\leq 2.0$
- Antennityyppi: 6 kpl 36"-Koaksiaalikaapeli RP-SMA-konnektoreilla

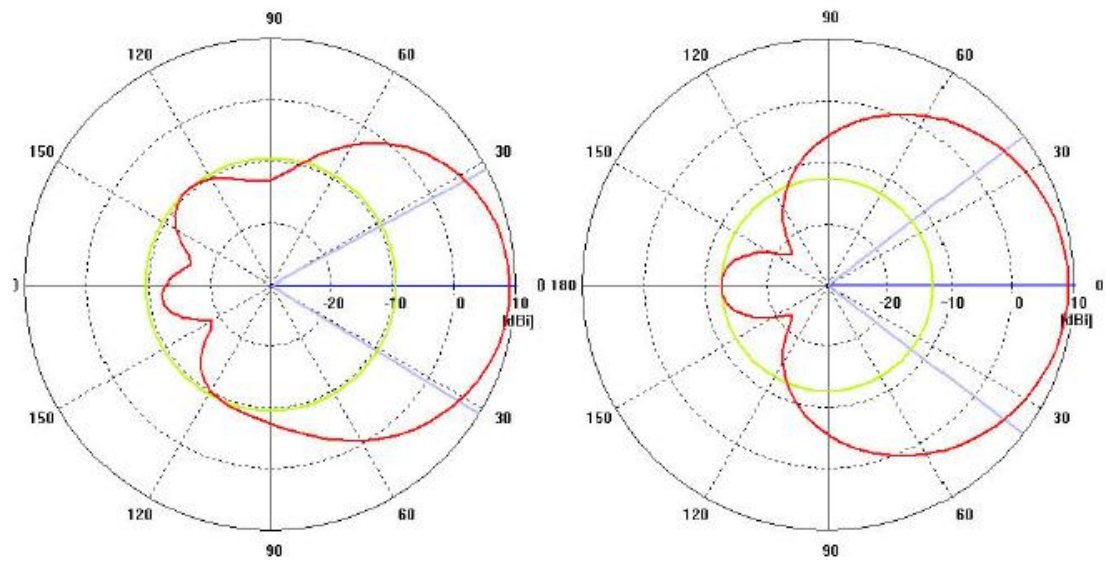


E-Plane Pattern

H-Plane Pattern

2.4 GHz

Kuva 1. Antennin säteilykuviot 2,4 GHz:n taajuudella



E-Plane Pattern

H-Plane Pattern

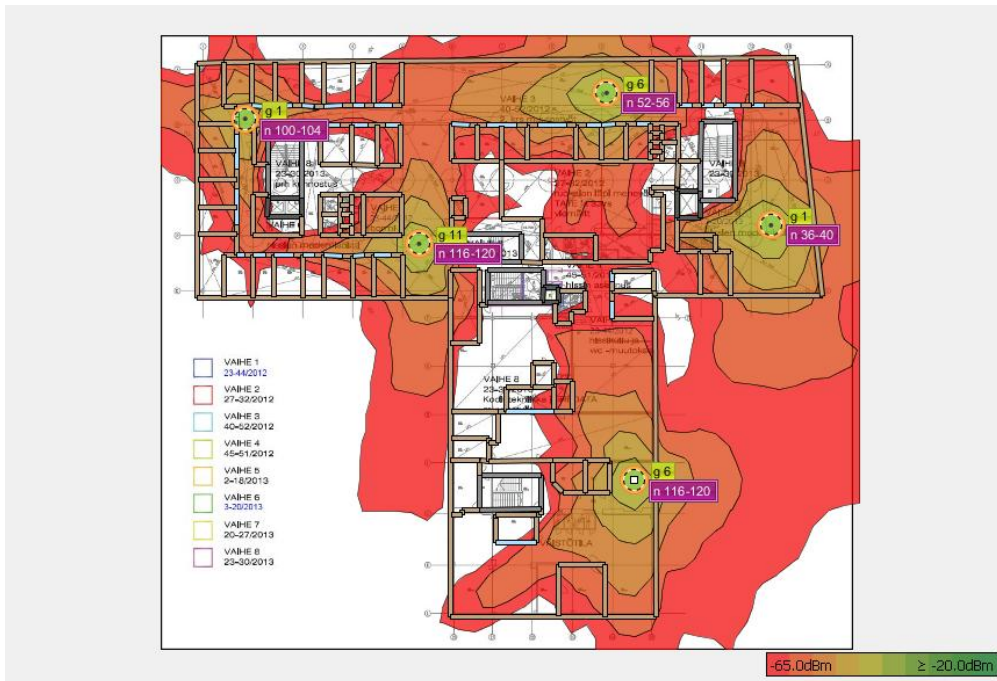
5 GHz

Kuva 2. Antennin säteilykuviot 5,0 GHz:n taajuudella

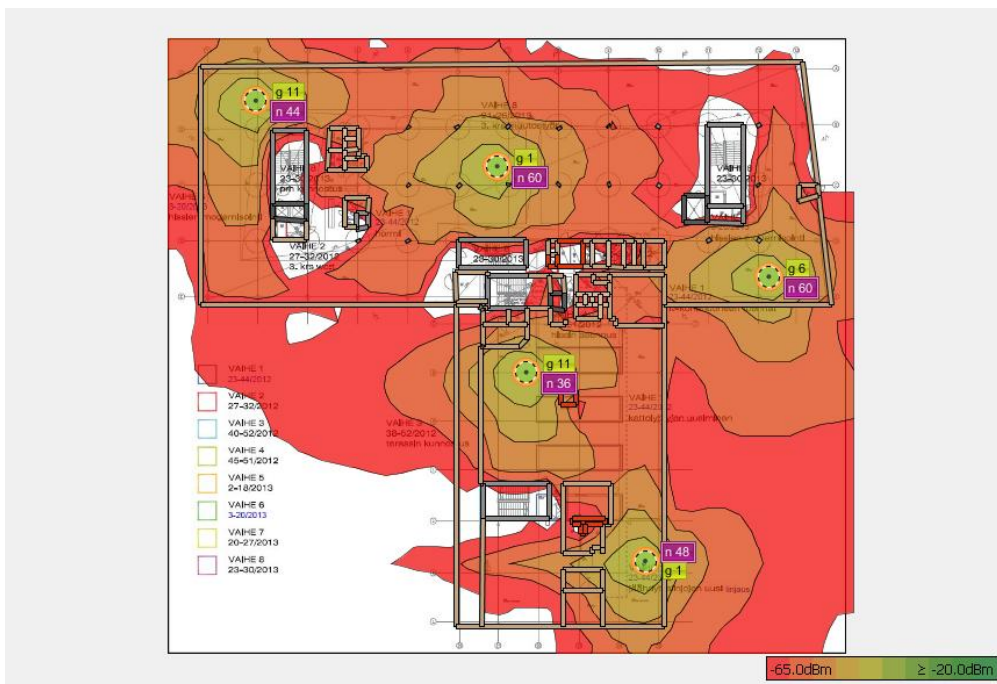
**Liite 5: Sapphire Eye -valvontayksikön tekniset tiedot**

- WLAN-radiomoduuli, 802.11a/b/g/n yhteensopiva (2,4 GHz, 4,9 – 5,8 GHz)
- Linux-käyttöjärjestelmä, 1GB Flash-muisti
- 6 sektoroitua korkeavahvisteista antennia horisontaalisesti ja 1 sektoroitu korkeavahvisteinen antenni vertikaalisti
- Spektrianalysaattorikomponentti
- Power over Ethernet (standard 802.11af, 48V)
- Akku
- Lämmitysyksikkö
- Vesitiivis (ulkokäyttöön soveltuva)
- Kompassipiiri
- Paikka ulkoiselle optionaaliselle antennille

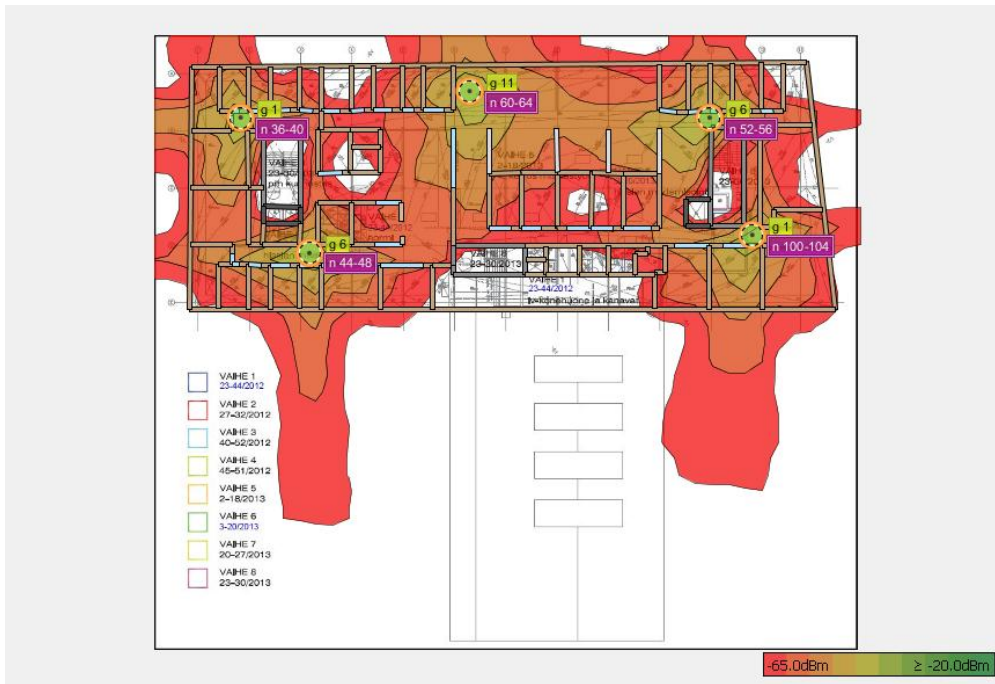
**Liite 6: Simuloidut peittoaluekuvat kerroksissa 2, 3 ja 4**



Kuva 1. Simuloitu peittoaluekuva – Kerros 2.



Kuva 2. Simuloitu peittoaluekuva – Kerros 3.



Kuva 3. Simuloitu peittoaluekuva – Kerros 4.