

**SAVONIA**

- OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LANGATTOMAN LÄHIVERKON KUULUVUUSMITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI

TEKIJÄ/T: Ville Sirviö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Sirviö	
Työn nimi Langattoman lähiverkon kuuluvuusmittaukset ja dokumentointi	
Päiväys 27.4.2015	Sivumäärä/Liitteet 34 / 0
Ohjaaja(t) lehtori Veijo Pitkänen / Savonia-ammattikorkeakoulu	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Siilinjärven kunnan tietotekniikkapalvelut / vastaava järjestelmäasiantuntija Teemu Pesonen	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö käsittelee Siilinjärven kunnan langattomaan lähiverkkoon tehtyjä kuuluvuusmittauksia ja mittaustulosten dokumentointia. Mittaukset aloitettiin loppukäyttäjiltä saadun palautteen vuoksi ja tarkoituksena oli kartoittaa langattoman lähiverkon toimivuutta kaikissa niissä Siilinjärven kunnan kohteissa, joihin tukiasemia on sijoiteltuna.</p> <p>Mittaukset suoritettiin kohteissa käyttäen Ekahau Site Survey ohjelmiston standard-versiota. Saatujen tulosten pohjalta voitiin tehdä päätelmiä verkon toiminnasta. Lopuksi monissa kohteissa ongelmakohtien toimivuutta parannettiin tai parannetaan tulevaisuudessa.</p> <p>Lopputuloksena Siilinjärven kunnan tietotekniikkapalveluille luovutettiin mittausdokumentointi, joka sisältää lämpökartat kaikista kohteista sisältäen signaaliukuuluvuudet. Lisäksi dokumentoitiin tiedot tukiasemien sijoittelusta ja niissä käytetyistä kanavista.</p>	
Avainsanat langaton, lähiverkko, WLAN, Ekahau	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Information Technology			
Author(s) Ville Sirviö			
Title of Thesis Wireless Local Area Network Measurements and Documentation			
Date	April 27, 2015	Pages/Appendices	34 / 0
Supervisor(s) Mr. Veijo Pitkänen, Principal / Savonia University of Applied Sciences			
Client Organisation /Partners Municipality of Siilinjärvi IT Department / Mr. Teemu Pesonen, Team Leader/Information Systems Specialist			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to carry out wireless local area network measurements and produce documentation for the municipality of Siilinjärvi IT department. These measurements were started because of the end users' feedback and the purpose was to find out how the wireless local area network works in every building where the IT department has access points located in Siilinjärvi.</p> <p>First, the measurements were done using the Ekahau Site Survey standard version. After the measurements were done, the collected information was used to make improvements to the wireless local area network. Finally, many places where users have had problems using the wireless local area network were fixed or will be fixed in future.</p> <p>As a result, the municipality of Siilinjärvi IT department received full measurement documentation including buildings' heatmaps. These heatmaps include for example signal strengths for every building. Also the access point placement layout and used channels were included in the documentation.</p>			
Keywords wireless, local, area, network, WLAN, ekahau			

## SISÄLTÖ

TYÖSSÄ KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT.....	6
1 JOHDANTO .....	8
2 LANGATTOMAT LÄHIVERKOT (WLAN).....	9
3 LANGATTOMAN LÄHIVERKON SIGNAALIT JA SUUNNITTELUN HAASTAVUUS.....	10
3.1 Signaalit langattomissa lähiverkoissa .....	10
3.2 Langattoman lähiverkon suunnittelun haastavuus .....	12
4 LANGATTOMIEN LÄHIVERKKOJEN SUUNNITTELU .....	13
4.1 OSI-malli .....	13
4.2 WLAN-standardit.....	14
4.2.1 802.11b.....	15
4.2.2 802.11a.....	15
4.2.3 802.11g.....	15
4.2.4 802.11n.....	15
4.2.5 802.11ac .....	15
4.3 Topologiat .....	15
4.3.1 Basic Service Set (BSS).....	16
4.3.2 Extended Service Set (ESS) .....	16
4.3.3 Independent Basic Service Set (IBSS).....	17
4.4 Taajuusalueet ja kanavat.....	18
4.4.1 2,4 GHz:n kanavat .....	18
4.4.2 5,0 GHz:n kanavat .....	19
4.5 Signaalin eteneminen .....	21
4.6 Antennityypit .....	22
4.7 Langattoman verkon kuuluvuus (Signal Strength) .....	22
4.8 Langattoman verkon häiriöt (Noise) .....	23
4.9 Langattoman verkon signaali-kohinasuhde (Signal To Noise Ratio).....	24
5 SIILINJÄRVEN KUNNAN LANGATON LÄHIVERKKO.....	25
5.1 Verkon rakenne .....	25
5.2 Tukiasemat.....	25
5.3 Kontrolleri .....	26
5.4 Jaettavat verkot (SSID) .....	26

5.5	Päätelaitteet .....	26
6	EKAHAU SITE SURVEY .....	27
6.1	Ekahau.....	27
6.2	Ekahau Site Survey .....	27
7	KUULUVUUSMITTAUKSET .....	28
7.1	Mittauslaitteisto .....	28
7.2	Mittaukset .....	28
7.3	Ongelmat .....	31
8	DOKUMENTOINTI.....	32
9	YHTEENVETO.....	33
	LÄHTEET .....	34

## TYÖSSÄ KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

802.11	Langattomien lähiverkkojen standardi
Ad-hoc	Langaton lähiverkko, missä liikennöinti tapahtuu ilman tukiasemia
AP	Access Point, langattoman lähiverkon tukiasema
Beamforming	Langattoman lähiverkon säteilykuvion keskittäminen
BSS	Basic Service Set, langattoman lähiverkon topologia, missä on yksi liityntäpiste ts. tukiasema
dB	Desibeli, logaritminen mittayksikkö tehojen mittaukseen
dBm	Desibelien suhde yhteen milliwattiin
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol, IP-osoitteita jakava palvelu
DFS	Dynamic Frequency Selection, 5 GHz:n verkon dynaaminen kanavan valinta
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, suorasekventointi. Lähetys jaetaan pieniin osiin ja jaetaan koko taajuusalueelle.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, eurooppalainen standardoimisjärjestö
Firmware	Laiteohjelmisto
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum, taajuushyppely. Lähetysten taajuus vaihtelee tietyn mallin mukaisesti
Ethernet	Lähiverkkotekniikka
HTTP	HyperText Transfer Protocol, www-palvelinten ja selainten välillä toimiva protokolla
IBSS	Independent Basic Service Set, langattoman lähiverkon topologia, missä ei ole erillistä tukiasemaa
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen järjestö joka huolehtii mm. lähiverkko standardien määrittelystä
IP	Internet Protocol, internet protokolla joka huolehtii ip-pakettien välittämisestä OSI-mallin verkkokerroksella
ESS	Extended Service Set, langattoman lähiverkon topologia, missä useita liityntäpisteitä ts. tukiasemia
ESS	Ekahau Site Survey, wlan-verkkojen mittausohjelmisto
ISM	Industrial, Science and Medical, vapaasti käytössä oleva taajuuskaista
LAN	Local area network, lähiverkko
MAC	Media Access Control, verkkosovittimen eli verkkokortin yksilöivä osoite
MIMO	Multiple In Multiple Out, tietoliikennetekniikka, joka hyödyntää langattomissa verkoissa lähetukseen ja vastaanottoon useampaa antennia
Mu-MIMO	Multiuser-MIMO, datan yhtäaikainen lähetys käyttäen useaa eri antennia usealle eri vastaanottajalle
OFDM	Orthogonal Frequency-Divison multiplexing, datan lähetys useilla taajuuskanavilla yhtäaikaa
PoE	Power over Ethernet, sähkön toimitus laitteelle Ethernet kaapeloinnin avulla

Reititin	Tietoverkkojen välissä toimiva laite, reitittää tietoa IP-osoitteiden avulla. Toimii OSI-mallin 3. kerroksella
RJ-45	Lähiverkoissa yleisesti käytössä oleva liittintyyppi
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
SNR	Signal-to-Noise Ratio, signaali-kohinasuhde
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol, sähköpostien välittämiseen sähköpostipalvelimen välillä käytettävä protokolla
SSID	Service Set Identifier, jaettavan langattoman lähiverkon tunnus ts. nimi
TCP	Transmission Control Protocol, tietokoneiden välille luotavien yhteyksien protokolla
TPC	Transmit Power Control, tukiaseman lähetysoimakkuuden rajoitus
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure, toinen langattomien lähiverkkojen käyttämä taajuuskaista
Työryhmäkytkin	Lähiverkon osia yhdistävä laite, toimii OSI-mallin 2. kerroksella
WLAN	Wireless local area network, langaton lähiverkko
WPA / WPA2	Wi-Fi Protected Access / Wi-Fi Protected Access 2, langattomien lähiverkkojen salaamiseen käytettävä protokolla

## 1 JOHDANTO

Langattomat lähiverkot ovat yleistyneet viimeisen 5 - 10 vuoden sisällä huimaa vauhtia. Uusia tekniikoita kehitetään vuosittain ja nopeuksien ja toimintavarmuuden kasvaessa esimerkiksi yhä useammat yritykset ovat halukkaita laajentamaan langattoman lähiverkon toimintaansa. Myös monet kaupungit ja kunnat tarjoavat keskusta-alueillaan ilmaista ns. avointa verkkoa kaupungissa olevien käyttöön.

Yksi syy langattomien lähiverkkojen nopeaan kehitykseen on erilaisten päätelaitteiden yleistyminen. Tällä hetkellä ihmisillä alkaa olla käytössään monia erilaisia laitteita, kuten kannettavia tietokoneita, matkapuhelimia, tabletteja sekä edellä mainittujen yhdistelmiä ns. hybrid-laitteita. Kaikki edellä mainitut voivat yleensä käyttää langatonta lähiverkkoa ja usein tällaisen langattoman lähiverkon eli WLAN-yhteyden käyttäminen on huomattavasti nopeampaa kuin esimerkiksi 3G- tai 4G-verkkojen käyttäminen. Tämän vuoksi langatonta lähiverkkoa suositaan ja sitä käytetään lähes aina, kun sellainen on saatavilla.

Suurin syy langattomien lähiverkkojen suosioon on tietysti langattomuus. Työpaikoilla työntekijöille ja esimerkiksi kouluissa oppilaille tarjotaan mahdollisuus liikkua päätelaitteen kanssa vapaammin eikä työskentely ole sidoksissa vain yhteen tilaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa Siilinjärven kunnan langattoman lähiverkon kuuluvuus kaikissa niissä kunnan tiloissa, joihin tukiasemia on sijoitettu. Sen lisäksi kaikkien tukiasemien tiedot dokumentoidaan esimerkiksi niiden sijoittelun kannalta. Mittausten ja dokumentoinnin avulla voidaan tehdä parannuksia verkon toimintaan ja paikata esimerkiksi kuuluvuuden katvealueita lisäämällä tai siirtämällä tukiasemia.

Opinnäytetyössä käsitellään aluksi langattomien verkkojen teoria työhön liittyvien asioiden kannalta. Seuraavaksi kuvaillaan tarkemmin Siilinjärven kunnan langatonta lähiverkkoa ja suoritettuja mittauksia sekä käytettyjä työkaluja. Lopuksi esitellään mittausten ja dokumentoinnin tulokset.



## 2 LANGATTOMAT LÄHIVERKOT (WLAN)

Langattomien lähiverkkojen eli WLAN-verkkojen avulla erilaiset tietokonelaitteet voivat kommunikoida keskenään ilman liittymistä fyysiseen tietoverkkoon. Tällöin laitteita voidaan siirtää verkon kuuluvuuden rajoissa vapaasti esimerkiksi rakennuksissa, joissa langattomia lähiverkkoja yleisimmin käytetään. Langattomia lähiverkkoja käyttävien laitteiden katsotaan olevan käytännössä tietokoneita, sillä ne sisältävät prosessorin, muistia ja langattoman verkkosovittimen. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa elektroniikkalaitteista tulee sisältämään jossain muodossa langattoman verkkosovittimen. (Geier 2005, 4.)

Langattomien lähiverkkojen kuten myös langallisten lähiverkkojen (Ethernet-lähiverkko), jotka perustuvat kuparikaapelointiin tai optisiin kuituihin, periaatteena on siirtää tietoa eri laitteiden välillä. Useimmiten siirrettävä tieto on dataa, kuten sähköpostiviestejä, web-sivuja tai tiedostoja. Langattomien lähiverkkojen kehittymisen myötä erilaisten video- ja puheviestintäsovellusten käyttö on tullut mahdolliseksi. (Geier 2005, 4.)

Langattomissa lähiverkoissa tiedonsiirrossa hyödynnetään radiosignaaleja, joita ihmissilmä ei voi nähdä. Myös käytettävä siirtotie eli ilma on läpinäkyvä käyttäjälle. Usein laitteiden verkkosovittimet on myös ns. integroitu laitteiden sisälle, jolloin ne ovat pois käyttäjän nähtäviltä. Tämän vuoksi langattomat verkkolaitteet ovat helppokäyttöisiä ja helposti siirreltäviä laitteiden mukana. (Geier 2005, 4.)

Langattomien lähiverkkojen vahvuus on mahdollisuus liikkua päätelaitteen kanssa eri tilojen välillä menettämättä mahdollisuutta korkeaan suorituskyykyyn, oli kyse sitten toimisto- tai tehdasrakennuksista tai kodeista. Verkon palveluita voi hyödyntää lähes kaikkialla rakennuksen sisällä, kuten erilaisissa kokoustiloissa ja saleissa. (Geier 2005, 8.)

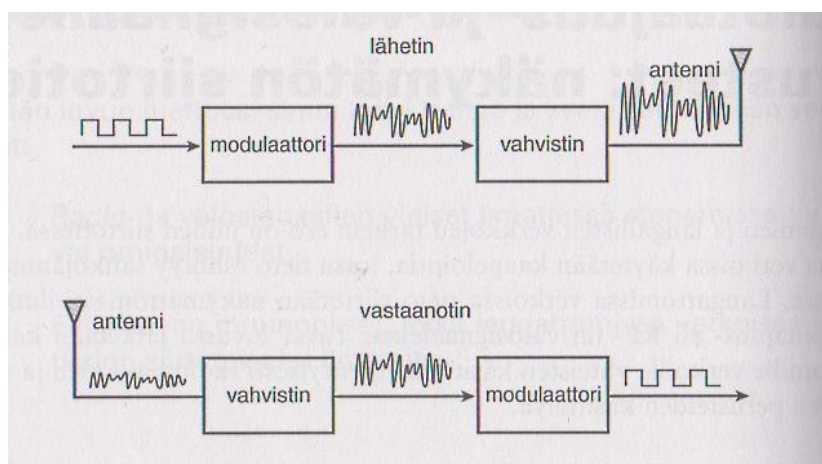
Langattomat lähiverkot ovat suorituskyykyllään, rakenneosiltaan, kustannuksiltaan ja toiminnaltaan hyvin samankaltaisia langallisten Ethernet-lähiverkkojen kanssa, ja monesti langattoman lähiverkon suorituskyky riittääkin suurelta osin tehokkaaseen tiedonsiirtoon Ethernet-lähiverkon lailla. (Geier 2005, 8.)

Monesti kaupungit, kunnat ja yritykset tarjoavat asiakkailleen käytettäväksi avoimen langattoman lähiverkon tiloissaan. Palvelualue voi kattaa esimerkiksi kaupungin- tai kunnantalon tai hotellin tilat. Yleensä nykyisin yhteyksien käyttäminen on ilmaista, mutta maksulliset yhteydetkin ovat mahdollisia. Monissa paikoissa, kuten hotelleissa, vaaditaan jonkinasteinen tunnistautuminen, ennen kuin verkkoa voidaan käyttää.

### 3 LANGATTOMAN LÄHIVERKON SIGNAALIT JA SUUNNITTELUN HAASTAVUUS

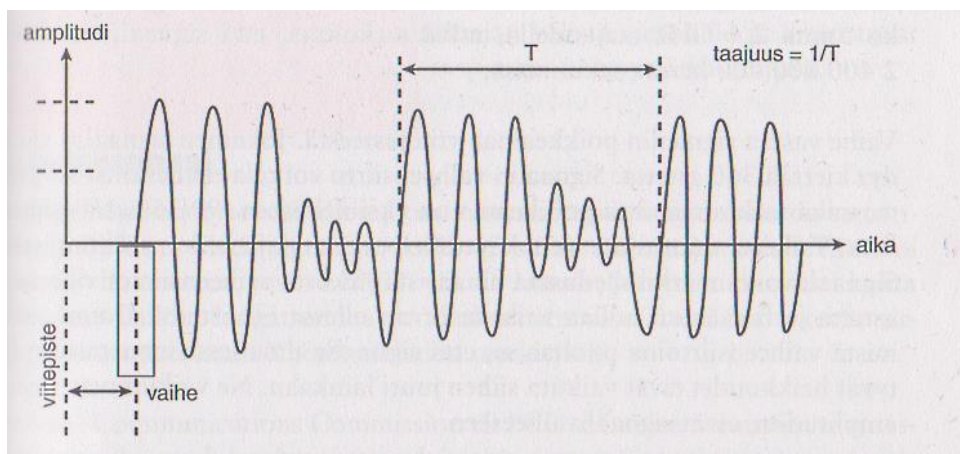
#### 3.1 Signaalit langattomissa lähiverkoissa

Langattomissa lähiverkoissa signaali etenee ilmaa pitkin radiotaajuus- eli RF-signaalina (Radio Frequency). RF-signaalit ovat sähkömagneettisia aaltoja, joten laitteen lähettäessä signaalia on se ensin moduloitava analogiseksi digitaalisesta muodosta. Laitteen vastaanottaessa tieto taas on moduloitava takaisin digitaaliseksi, jotta vastaanottava laite ymmärtää sitä. Ennen lähetystä ja vastaanottoa signaalin voimakkuutta kasvatetaan vahvistimien avulla. Kuvassa 1 on kuvattuna signaalin kulku lähettävästä laitteesta vastaanottavaan laitteeseen. (Geier 2005, 69.)



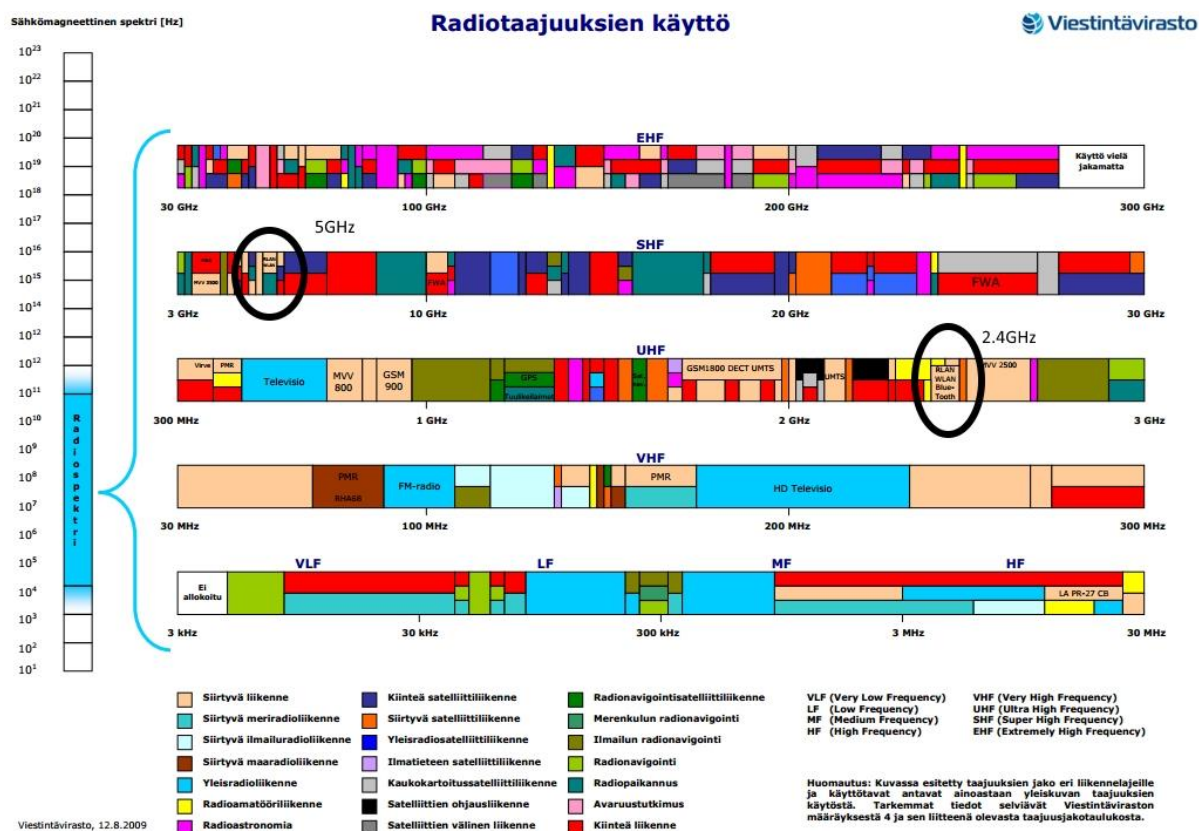
KUVA 1. Signaalin modulointi lähettimessä ja vastaanottimessa (Geier 2005, 70.)

RF-signaalilla voidaan olettaa olevan lähettäjä ja vastaanottaja, joiden laitteiden antennien välillä signaali kulkee. RF-signaalilla on perusominaisuuksia, kuten amplitudi, taajuus ja vaihe, jotka vaihtelevat ajan mukaan. Amplitudi kuvaa signaalin voimakkuutta ja signaalin edetessä amplitudi pienenee. Tämä voi tapahtua etäisyyden kasvaessa tai välissä olevien esteiden vuoksi. Myös erilaiset häiriöt siirtotieässä voivat aiheuttaa ongelmia tiedonsiirrossa. Signaalin etenemistä ja erilaisia häiriöitä käsitellään työssä tarkemmin tuonnempana luvussa 4.5. Taajuus esittää sitä, kuinka monta kertaa sekunnissa signaali värähtelee ja sen yksikkö on Hz. Eri taajuuksilla signaali etenee eri tavalla ja läpäisee esteitä taajuuden mukaan joko helpommin tai huonommin. Myös taajuuksia käsitellään työssä tuonnempana luvussa 4.4. Vaihe taas esittää signaalin poikkeamaa viitepisteestä. (Geier 2005, 70 - 71.) Kuvassa 2 on esitettyä RF-signaalin perusominaisuudet.



KUVA 2. Signaalin perusominaisuudet (Geier 2005, 71.)

Radiotaajuuksien käyttö on Suomessa valvottua ja vaatii yleensä luvan viranomaiselta, joka Suomessa on Viestintävirasto. Kuitenkin langattomien lähiverkkojen taajuusalueet ovat luvasta vapautettuja kaistoja ja niitä voidaan käyttää ilman lupaa laitteiden ollessa määräysten mukaiset. (Puska 2005, 53.) Nämä taajuusalueet käsitellään työssä tarkemmin tuonnempana luvussa 4.4. Alla olevasta kuvasta 3 nähdään, kuinka langattomien lähiverkkojen taajuusalueet asettuvat radiospektriin. Kuvassa langattomien lähiverkkojen kohdat on ympyröity ja merkitty.



KUVA 3. Radiotaajuuksien käyttö Suomessa (Viestintävirasto 2009-8-12.)

### 3.2 Langattoman lähiverkon suunnittelun haastavuus

Langattoman lähiverkon suunnittelussa on paljon erilaisia haasteita, joista yleisimpiä käsitellään seuraavaksi (Puska 2005, 22 - 23):

- 1) Radioaaltojen kulkua ei voida rajoittaa rakennuksen sisälle. Tästä syystä verkkoa on mahdollisuus kuunnella ja häiritä myös rakennusten ulkopuolelta. Tämä voi aiheuttaa mahdollisia tietoturvaongelmia ja on sen vuoksi huomioitava verkkoa ylläpidettäessä.
- 2) Langattomissa lähiverkoissa on nykyisin jo hyvä suorituskyky, mutta yleensä langallisissa Ethernet-lähiverkoissa suorituskyky on huomattavasti parempi. Langattomissa lähiverkoissa suorituskyky vaihtelee päätelaitemäärän ja signaalivoimakkuuksien mukaan.
- 3) Signaalivoimakkuuksiin ja langattoman lähiverkon suorituskykyyn vaikuttavat radiosignaalin etenemistä vaikeuttavat esteet, kuten esimerkiksi rakennusten seinät, kalusteet ja erilaiset häiriölähteet. Olosuhteet muuttuvat koko ajan ulkoisten tekijöiden mukaan, ja tämän vuoksi verkon suunnittelu etukäteen on haastavaa.
- 4) Signaalien monimutkaisen etenemisen vuoksi verkon toteutus täysin luotettavaksi ja kokonaan tilat kattavaksi on hankalaa. Muuttuvien olosuhteiden vuoksi hetkeä aiemmin moitteettomasti toiminut verkko ei enää muutamien minuuttien päästä toimikaan. Tämän vuoksi verkon ylläpidossa ja monitoroinnissa tarvitaan erikoistyökaluja ja osaamista.

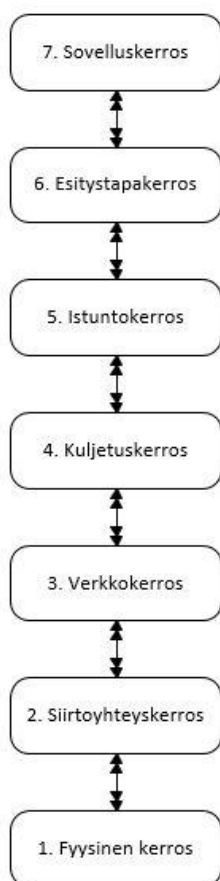
Esimerkiksi edellä lueteltujen ongelmien takia langattomat lähiverkot eivät vielä ole täysin korvanneet langallisia lähiverkkoja. On myös hyvä huomata, että vaikka langattoman verkot tarjoavat vapaampaa liikkuvuutta ja langattomuutta myös osaksi laitteistojen välille, täytyy langatonta verkkoa tarjoavat laitteet yhä kytkeä langalliseen lähiverkkoon ja niihin mahdollisesti virtaa tarjoaviin kytkimiin parikaapeleilla. (Puska 2005, 23.)

Seuraavassa luvussa käsitellään langattomien lähiverkkojen suunnitteluun liittyvät tekniset valinnat sekä erilaiset signaalitasot, joilla langattoman verkon on mahdollista toimia riittävän hyvin. Näillä teknisillä valinnoilla voidaan tässä luvussa mainittuja ongelmia minimoida mahdollisimman vähäisiksi.

## 4 LANGATTOMIEN LÄHIVERKKOJEN SUUNNITTELU

### 4.1 OSI-malli

Tietoverkoissa tiedon kulkua havainnollistetaan usein erilaisilla malleilla. Yksi yleisimmistä malleista on International Standards Organizationin eli ISO:n kehittämä Open Systems Interconnect eli OSI-malli. OSI-mallissa verkon rakenne on jaettu seitsemään eri kerrokseen, jotka havainnollistavat hyvin tietoverkon toimintaa. Mallilla voidaan kuvata myös langattomien verkkojen toimintaa. Kuvassa 4 on esitettyä OSI-mallin kaikki kerrokset. Kerrosmallin mukaan alemmat kerrokset tukevat aina ylemmän kerroksen toimintoja. Langattomat verkot toteuttavat OSI-mallista suoraan vain alimmat kerrokset. Esimerkiksi langaton verkkokortti toteuttaa mallin kaksi alinta kerrosta: fyysisen- ja siirtoyhteyserroksen. (Geier 2005, 52 - 54.)

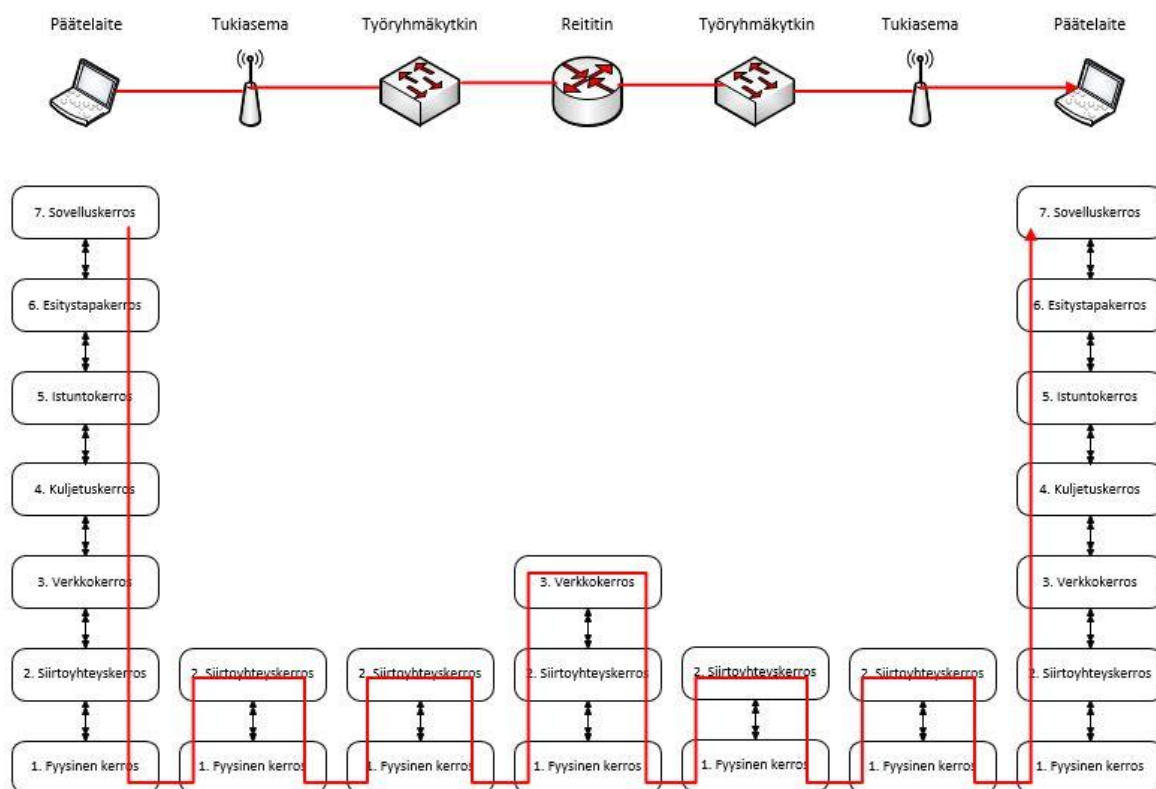


KUVA 4. OSI-mallin kerrokset (Sirviö 2015-8-4.)

Sovelluskerros tarjoaa erilaisia palveluita ohjelmille, kuten tiedonsiirron ja sähköpostin. Esimerkiksi HTTP- ja SMTP-protokollat toimivat tässä kerroksessa. Esitystapakerros määrittää yhteisen esitystavan jaettavalle tiedolle. Tällaisia esitystapoja ovat mm. ASCII-, AVI- ja JPG-tiedostomuodot. Istuntokerros muodostaa ja sulkee sovellusten väliset yhteydet ja huolehtii ilmenevistä vikatilanteista. Langattomissa verkoissa langattomat väliohjelmistot ja pääsynvalvojat toimivat istuntokerroksessa. Jos verkossa ilmenee häiriöitä, istuntokerroksen tarjoamat toiminnot keskeyttävät yhteyden kunnes häiriö on poistunut. Kuljetuskerros tarjoaa puitteet yhteyden muodostamiselle, sulkemiselle ja virheenkorjaukselle. Kuljetuskerroksen protokollia ovat mm. TCP ja UDP. Käytännössä kuljetuskerroksen yh-

teys voi olla esimerkiksi web-selaimen yhteys palvelimessa pyörivään web-sivuun. Verkkokerros reitittää verkossa kulkevat paketit oikeaan osoitteeseen. Verkkokerroksella toimii esimerkiksi IP-protokolla. Siirtoyhteyserkerros tarjoaa pääsyn siirtotiehen ja varmistaa kahden yksikön välisen synkronoinnin ja virheiden tarkistuksen. Langattomissa verkoissa siirtoyhteyserkerroksen toimintoihin kuuluvat muun muassa ilmatiehen pääsyn hallinta ja toipuminen virheistä. Fyysinen kerros tarjoaa siirtotapahtuman tiedonsiirron. Langattomissa verkoissa siirto tapahtuu radioaaltojen avulla. Myös fyysinen kaapelointi kuuluu fyysiseen kerrokseen. (Geier 2005, 52 - 54.)

Käytännössä tiedonkulku verkossa tapahtuu OSI-mallin kerrosten välillä kuvan 5 mukaisesti.



KUVA 5. Tiedonkulku tietoverkossa OSI-mallin mukaisesti (Sirviö 2015-4-10.)

## 4.2 WLAN-standardit

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) julkaisi ensimmäisen langattoman lähiverkon standardinsa IEEE 802.11 vuonna 1997 (Salter 2013, 39). Se koskettaa 2,4 GHz:n taajuusalueita ja käyttää hajaspektritekniikkana FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ja DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) tekniikoita. Näiden käyttö tarkoittaa sitä, että jokainen käyttäjä levittää lähetyksensä koko taajuusalueelle. (Granlund 2007, 298.) Nopeuksista tuettuina ovat 1 ja 2 Mbps (Salter 2013, 39).

#### 4.2.1 802.11b

Standardi IEEE 802.11b julkaistiin vuonna 1999 (Salter 2013, 39). Se koskettaa 2,4 GHz taajuusalueita ja sen käyttämä hajaspektritekniikka on DSSS (Puska 2005, 46). Nopeuksista on tuettuina 1, 2, 5.5 ja 11 Mbps nopeudet (Salter 2013, 39).

#### 4.2.2 802.11a

Standardi IEEE 802.11a julkaistiin myös vuonna 1999. Se käyttää 5,0 GHz taajuusalueita ja hajaspektritekniikkana on OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation). Tuetut nopeudet ovat välillä 6 - 54 Mbps. (Salter 2013, 40).

#### 4.2.3 802.11g

Standardi IEEE 802.11g julkaistiin vuonna 2003. Se koskettaa 2,4 GHz taajuusalueita ja sen käyttämä hajaspektritekniikka on myös OFDM. Tuetut nopeudet ovat 1 - 54 Mbps välillä. (Puska 2005, 46.)

#### 4.2.4 802.11n

IEEE 802.11n standardi on tällä hetkellä laajimmin käytössä oleva standardi. Se julkaistiin vuonna 2009 ja se käyttää hajaspektritekniikkana OFDM ja tukee lisäksi MIMO-tekniikkaa (Multiple In Multiple Output). Se toimii sekä 2,4 GHz:n, että 5,0 GHz:n taajuusalueilla. MIMO-tekniikka mahdollistaa useamman antennin käytön lähetyksessä/vastaanotossa ja lähetyksen käyttämä kaistanleveys voi olla joko 20 tai 40 MHz. Tekniikoiden avulla voidaan päästä jopa 600 Mbps teoreettisiin nopeuksiin. (Salter 2013, 41 - 42,44; Granlund 2007, 305.)

#### 4.2.5 802.11ac

IEEE 802.11ac-standardi on tällä hetkellä tulossa kovaa vauhtia markkinoille ja myös sitä tukevia laitteita alkaa löytyä yhä enemmän kauppojen hyllyiltä. Se julkaistiin vuonna 2013 ja se tukee Beamforming ja Mu-MIMO-tekniikoita (Multiuser MIMO). Beamforming käyttää käyttäjien laitteiden lähettämään informaatiota, sekä lähettävän laitteen useampaa antennia vaiheen säätämiseen, jolloin saavutetaan parempi signaalivoimakkuus että saavutetaan kauemmat etäisyydet. Ac-standardi käyttää vain 5,0 GHz taajuusalueita. Kaistanleveyksistä tuettuina ovat 20, 40 ja 80 MHz kaistanleveydet. Maksimi teoreettinen tiedonsiirtonopeus ac-standardissa on 6.93 Gbps, joskin todellinen nopeus on noin kolmin-nelinkertainen verrattuna IEEE 802.11n standardiin. (Mäkinen 2012.)

### 4.3 Topologiat

IEEE 802.11 standardin mukaan langattomissa lähiverkoissa on kolme mahdollisuutta kytkeä laitteet toisiinsa. Perusarkkitehtuurista käytetään Basic Service Set (BSS) nimitystä ja se muodostuu joukosta laitteita, mitkä osaavat suosituksen mukaisesti kommunikoida keskenään. (Granlund 2007, 294.)

### 4.3.1 Basic Service Set (BSS)

BSS on tietoverkko, joka muodostuu yhdestä tukiasemasta ja siihen langattomasti liitetyistä laitteista. Kaikki tiedonsiirto tapahtuu tukiaseman eli AP:n (Access Point) kautta ja topologiaa voidaan verrata langallisissa lähiverkoissa kytkimien avulla toteutettuun topologiaan. (Granlund 2007, 295.)

BSS-verkko on yleisin malli esimerkiksi kotona löytyvästä langattomasta lähiverkosta. Kuvassa 6 on kuvattuna BSS-verkon topologia. Monissa laitteissa kytkin ja langaton tukiasema ovat rakennettu samaan laitteeseen, mutta havainnollistamiseksi ne on piirretty kuvaan erikseen.

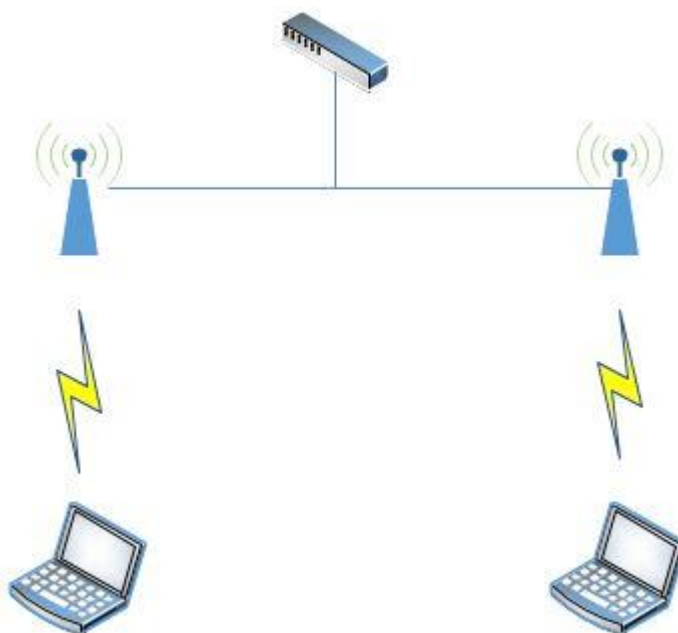


KUVA 6. BSS-verkon topologia (Sirviö 2015-4-8.)

### 4.3.2 Extended Service Set (ESS)

BSS-verkossa tukiasemia on vain yksi kappale ja kun verkkoon liitetään useampia tukiasemia, voidaan puhua ESS-verkosta. ESS-verkossa tukiasemat liitetään samaan runkoverkkoon, jolloin kaikki tukiasemat toimivat samassa verkossa ja päätelaitteet voivat kytkeytyä niitä siirrettäessä tukiasemasta toiseen. ESS-verkot ovat yleisin tapa käyttää langattomia lähiverkkoja isoissa ympäristöissä, joissa kuuluvuutta saadaan kasvatettua koskemaan esimerkiksi yhden huoneen sijasta lähes koko rakennusta. (Granlund 2007, 296.) Suurin osa yrityksissä käytettävistä verkoista ovat ESS-verkkoja. Kuvassa 7 on esitetty ESS-verkon topologia.

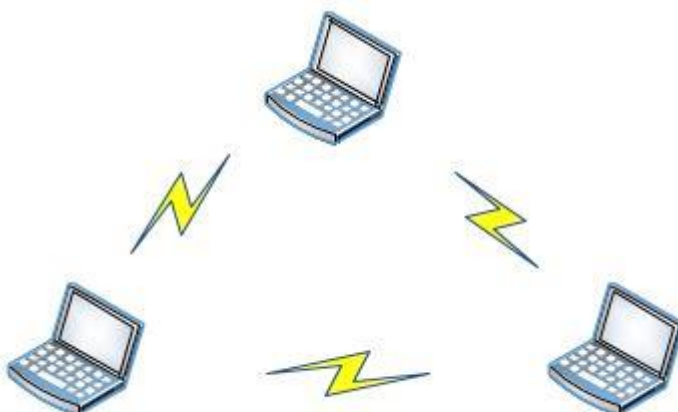




KUVA 7. ESS-verkon topologia (Sirviö 2015-4-8.)

#### 4.3.3 Independent Basic Service Set (IBSS)

Jos laitteita ei kytketä kiinteään verkkoon esimerkiksi AP:n avulla, vaan ne keskustelevat suoraan keskenään, käytetään tällaisesta verkosta nimitystä IBSS tai myös jossain tapauksissa Ad-Hoc-verkko. Yleensä tällainen verkko on hyvin lyhytaikainen ratkaisu esimerkiksi kokoustilanteen ajaksi. (Granlund 2007, 294.) Kuvassa 8 on esitetty IBSS-verkon topologia.



KUVA 8. IBSS-verkon topologia (Sirviö 2015-4-8.)

#### 4.4 Taajuusalueet ja kanavat

Langattomat lähiverkot toimivat yleisimmin käyttäen 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuusalueita. ISM-taajuusalue (Industrial Scientific Medical) on 2,4 GHz ja 2,485 GHz välillä. Myös 5,725 GHz - 5,875 GHz taajuusalue kuuluu ISM-taajuusalueeseen. ISM-taajuusalueet ovat vapaasti käytettävissä Euroopassa ja tätä myöten myös Suomessa. Taajuusalueella toimii myös muita laitteita ja esimerkiksi mikroaaltouunit käyttävät sitä. (Granlund 2007, 294.)

Toinen vapaa taajuusalue, jota langattomat lähiverkot nykypäivänä käyttävät, on U-NII-taajuusalue (Unlicensed National Information Infrastructure) 5,15 GHz - 5,825 GHz. Tämän taajuusalueen käyttö on paljon tarkemmin määriteltyä ja sisältää muun muassa maakohtaisia rajoituksia. Taajuusalue on jaettu neljään eri taajuusalueeseen U-NII 1, U-NII 2, U-NII-2E ja U-NII-3, joista U-NII-3 menee osittain päällekkäin ISM-taajuuskaistan kanssa. (Puska 2005, 16,45; Salter 2013, 3 - 4.)

Taajuusalueisiin liittyy paljon rajoituksia muun muassa kanavien käytön osalta ja tämän vuoksi Euroopassa niiden käytöstä suosituksia antaa ETSI (European Telecommunications Standards Institute) (Granlund 2007, 4).

Tässä työssä keskitytään käsittelemään vain Eurooppaa koskevat kanavat, taajuudet ja rajoitukset, joten työssä esiteltyjen tietojen voidaan olettaa pitävänsä paikkansa vain Euroopassa.

##### 4.4.1 2,4 GHz:n kanavat

Euroopassa on käytössä 2,4 GHz:n taajuusalueella 13 eri kanavaa, joiden keskitaajuuksien ero on 5 MHz. Langattomassa lähiverkossa yhden tukiaseman käyttämä yksi kanava on 22 MHz leveä. (Puska 2005, 40.) Taulukossa 1. ovat lueteltuna Euroopassa käytössä olevat kanavat ja niiden taajuusalueet keskitaajuuksineen.

TAULUKKO 1. Euroopassa käytössä olevat 2,4 GHz:n taajuusalueen kanavat (Poole 2014.)

Kanavan numero	Alataajuus (MHz)	Keskitaajuus (MHz)	Ylätaajuus (MHz)
1	2401	2412	2423
2	2404	2417	2428
3	2411	2422	2433
4	2416	2427	2438
5	2421	2432	2443
6	2426	2437	2448
7	2431	2442	2453
8	2436	2447	2458
9	2441	2452	2463
10	2451	2457	2468
11	2451	2462	2473
12	2456	2467	2478
13	2461	2472	2483

Koska taajuusalueella kanavat ovat 22 MHz leveitä, menevät vierekkäiset kanavat osittain päällekkäin. Jos useampi tukiasema on samalla alueella ja niissä on käytössä lähekkäin olevat kanavat, voivat tukiasemat aiheuttaa verkkoliikenteessä häiriöitä. Tämän vuoksi 2,4 GHz:n taajuusaluetta käytettäessä on tärkeää suunnitella, mikä kanava asetetaan tukiasemaan. (Puska 2005, 39.)

Euroopassa kanavia, jotka eivät ole päällekkäin ovat kanavat 1, 7 ja 13. Myöskään kanavat 1, 6 ja 13, sekä 1, 8, 13 ovat kanavia, jotka eivät mene päällekkäin. Usean tukiaseman ympäristöissä voitaisiin siis viereisiin tukiasemiin käyttää esimerkiksi kanavien 1, 7 ja 13 kombinaatiota.

Suurin osa markkinoilla olevista laitteista käyttää 2,4 GHz:n taajuusaluetta, ja tämän vuoksi kotiympäristöissä (esim. kerrostalot) voi olla huolellisesta kanavasunnittelusta huolimatta mahdotonta enää löytää täysin vapaata kanavaa käyttöön. Yritysten tiloissa tilanne on hieman parempi, ja kanavasunnitteluun kannattaakin panostaa, koska 2,4 GHz:n taajuusaluetta käytetään yhä paljon.

#### 4.4.2 5,0 GHz:n kanavat

Euroopassa on käytössä 5,0 GHz:n taajuusalueella 19 eri kanavaa, jotka ovat 20 MHz:n välein. Taulukossa 2 ovat lueteltuina Euroopassa käytössä olevat kanavat ja niiden taajuudet.

TAULUKKO 2. Euroopassa käytössä olevat 5 GHz:n taajuusalueen kanavat (Poole 2014.)

Kanava	Taajuus (MHz)	Rajoitukset Euroopassa
36	5180	Käyttö sallittua sisätiloissa
40	5200	Käyttö sallittua sisätiloissa
44	5220	Käyttö sallittua sisätiloissa
48	5240	Käyttö sallittua sisätiloissa
52	5260	Käyttö sallittua sisätiloissa / DFS / TPC
56	5280	Käyttö sallittua sisätiloissa / DFS / TPC
60	5300	Käyttö sallittua sisätiloissa / DFS / TPC
64	5320	Käyttö sallittua sisätiloissa / DFS / TPC
100	5500	DFS / TPC
104	5520	DFS / TPC
108	5540	DFS / TPC
112	5560	DFS / TPC
116	5580	DFS / TPC
120	5600	DFS / TPC
124	5620	DFS / TPC
128	5640	DFS / TPC
132	5660	DFS / TPC
136	5680	DFS / TPC
140	5700	DFS / TPC

5 GHz:n taajuusalueella ongelmia ei esiinny kanavien päällekkäin menossa niin paljoa, kuin 2,4 GHz:n taajuusalueella. 5 GHz:n alueella on kuitenkin huomioitava, että suurimmalle osalle kanavista on asetettu rajoituksia niiden käytölle, joista tärkeimpinä huomioonotettavina ovat DFS (Dynamic Frequency Selection) ja TPC (Transmit Power Control). (Salter 2013, 5.)

Jos tukiasema on asetettu toimimaan DFS-kanavalla, se tarkoittaa käytännössä sitä, että tukiasema tutkii onko kanavan taajuusalueella käytössä muita laitteita. Yleisesti ottaen esimerkiksi sotiastutkat ja satelliitit, sekä säätutkat käyttävät 5 GHz:n taajuusaluetta. Jos tukiasema havaitsee taajuusalueella muuta liikennettä, se vaihtaa automaattisesti ei-DFS-kanavalle. Tämän vuoksi, jos kanavat asetellaan manuaalisesti, eivätkä ne tahdo pysyä määritellyllä DFS-kanavalla, kannattaa harkita kanavien vaihtoa ei-DFS-kanaviksi. (Salter 2013, 5.)

TPC taas tarkoittaa sitä, että tukiaseman lähetysoimakkuutta on rajoitettu. Rajoitukset on tehty estämään häiriöiden syntymistä. Maksimi lähetysteho voi olla vain määritellyn rajoituksen mukainen (maakohtaisia) tai tarvittaessa sitä alempi. (Salter 2013, 5.)

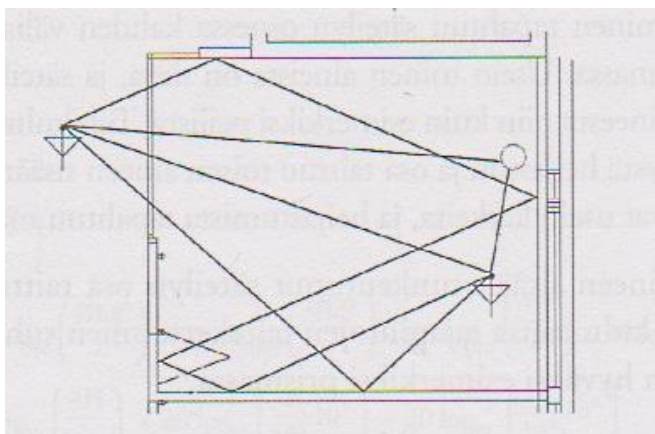
#### 4.5 Signaalin eteneminen

Signaalin etenemistä langattomissa verkoissa on vaikea ennustaa. Eteneminen riippuu paljon ympäristötekijöistä, kuten rakennuksen muodoista, sen sisällä olevien tavaroiden määrästä, sekä ympärillä olevista muista elektroniikkalaitteista. Tämän lisäksi rakennuksen seinämateriaalit ja rakennuksessa olevien ikkunoiden määrä ovat merkittäviä signaalin kulun kannalta.

Yleensä päätelaitteet saattavat olla hyvinkin kaukana tukiasemasta ja signaali tulee väistämättä vaimenemaan. Signaalin vaimenemista ja kulkua estävät esimerkiksi signaalin heijastuminen, taittuminen ja sironta. (Geier 2005, 57.)

Heijastumista tapahtuu signaalin osuessa johonkin pintaan, esimerkiksi rakennuksen seiniin, sopivassa kulmassa. Heijastuspinnat ovat usein karkeita ja heijastumista tapahtuu tämän vuoksi useaan suuntaan. Signaali voi myös taittua rajapinnassa, jolloin signaalin suunta voi muuttua täysin toiseen ja ennalta arvaamattomaan suuntaan. Sirontaa tapahtuu, kun signaali osuu epätasaiseen pienen partikkeliin, jolloin siitä kimpoava signaali hajaantuu useiksi eri aaltorintamiksi. (Geier 2005, 57 - 58.)

Signaalin edetessä tapahtuu yleensä kaikkia edellä mainittuja asioita, jolloin puhutaan monitie-etenemisestä. Signaali kulkee usealla eri tavalla lähettävästä laitteesta vastaanottavaan laitteeseen. Alla olevassa kuvassa 9 on esitettyä monitie-etenemisen käytävällä olevasta tukiasemasta langattomaan päätelaitteeseen.



KUVA 9. Monitie-eteneminen tukiasemasta langattomaan päätelaitteeseen (Puska 2005, 58.)

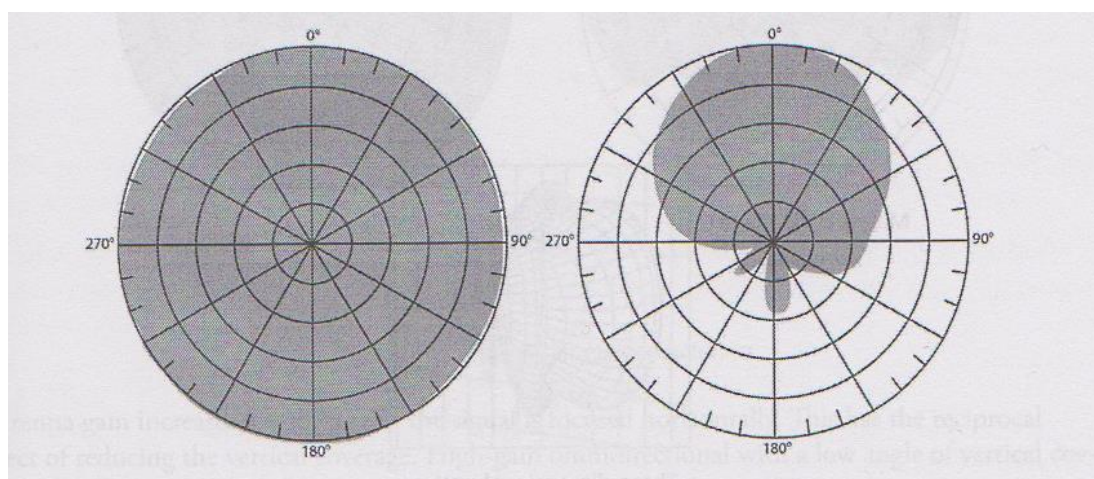
Signaalinvoimakkuutta langattomissa verkoissa mitataan yleensä dBm-arvolla. Tämä tarkoittaa desibelien (dB) määrää suhteessa yhteen milliwattiin. Arvo ei ole absoluuttinen, vaan logaritminen. Tämän vuoksi 3 desibelin lisäys signaalinvoimakkuuteen tarkoittaa käytännössä tuplasti isompaa signaalinvoimakkuutta. Vastaavasti 3 desibelin vähennys pienentää signaalinvoimakkuuden puoleen. 0 dBm arvo vastaa 1 mW tehoa ja kaikki negatiiviset dBm-arvot alle 1 mW:n tehoja. (Salter 2013, 29 - 30.)

Signaalin etenemistä vaikeuttavat pääasiassa erilaiset seinämateriaalit, sillä langattomia verkkoja käytetään yleisesti lähinnä rakennusten sisätiloissa. Esimerkiksi kipsilevy vaimentaa signaalia noin 2 - 4 dBm verran, tiiliseinä noin 6 - 10 dBm verran ja kerrosten välissä olevat paksut lattiat (yleensä betonista) noin 30 - 40 dBm. (Ekahau 2014.)

#### 4.6 Antennityypit

Langattomissa verkoissa käytetyissä tukiasemissa voi olla kahden tyyppisiä antennite: suunnattuja ja ympärisäteileviä. Suunnatut antennit ovat nimensä mukaisesti suunnattu tiettyyn suuntaan, ja tällöin pitää tarkasti tietää missä kohdassa päätelaitteita tullaan käyttämään. Yleisemmin langattomissa verkoissa käytetään ympärisäteilevillä antenniteilla varustettuja tukiasemia, jolloin tukiasema levittää signaalinsa vaakatasossa joka suuntaan. Tämä helpottaa päätelaitteiden sijainnin muuttamista, jolloin voidaan taata vapaampi liikkuvuus loppukäyttäjille. (Salter 2013, 34 - 38.)

Kuvassa 10 nähdään ympärisäteilevän ja suunnatun antennin luomat kuviot.



KUVA 10. Antennien luomat kuviot horisontaalisesti kuvattuna, vasemmalla on ympärisäteilevän antennin kuvio ja oikealla suunnatun antennin kuvio (Salter 2013, 35.)

#### 4.7 Langattoman verkon kuuluvuus (Signal Strength)

Langattomissa verkoissa tärkein mitattava ominaisuus on signaalinvoimakkuus. Sen mittayksikkö on dBm. Yleisenä pohjasääntönä voidaan pitää, että riittävä signaalinvoimakkuuden dBm-arvo on noin -67 dBm, kun verkossa on tarkoitus käyttää esimerkiksi VoIP-laitteita tai striimata paljon videoita. Alla olevassa taulukossa 3 on listattuna yleisimpiä arvoja eri käyttötarkoituksiin sekä rajatilanteet arvoille, joiden lähellä liikuttaessa verkon toimivuudesta ei voida enää antaa täyttä varmuutta. (Metageek 2015.)

TAULUKKO 3. Signaalinvoimakkuustasoja ja niiden käyttötarkoituksia (Metageek 2015.)

Signaalinvoimakkuus (dBm)	Käytettävyys	Käyttökohteet
-30	Maksimi saavutettava signaalinvoimakkuus käytännössä, pääte-laite aivan tukiaseman vieressä. Ei ilmene tyypillisesti todellisissa ympäristöissä useasti.	
-67	Minimi signaalinvoimakkuus ohjelmistoille, jotka vaativat hyvin luotettavaa ja nopeaa pakettien välitystä.	VoIP, videon striimaus
-70	Minimi signaalinvoimakkuus luotettavalle pakettien välitykselle.	Sähköposti, web-selaaminen
-80	Minimi signaalinvoimakkuus perus yhteyden muodostamiselle. Pakettien välitys voi olla jo epäluotettavaa.	Yhteyden muodostaminen voi onnistua ts. esimerkiksi Windows-laitteella verkot löytyvät ja voidaan yhdistää, mutta ei saada esim. web-sivuja kunnolla auki.
-90	Signaalinvoimakkuus alkaa hukkua ympäröivään häiriöön. Yleensä yhteyden muodostaminen ei enää onnistu.	

#### 4.8 Langattoman verkon häiriöt (Noise)

Vastaavasti ympäristössä olevan häiriön toivotaan olevan mahdollisimman vähäinen. Häiriöitä voivat aiheuttaa esimerkiksi muut elektroniikkalaitteet, toiset tukiasemat ja kannettavat mobiililaitteet. Ekahaun mukaan perussääntönä voidaan pitää noin -70 dBm verran häiriötä, jonka ylittyessä ongelmia voi alkaa ilmetä. (Ekahau 2015.)

## 4.9 Langattoman verkon signaali-kohinasuhde (Signal To Noise Ratio)

Signaalinvoimakkuuden ja häiriön avulla saadaan laskettua yksi langattomien verkkojen nopeuden kannalta oleellinen arvo: signaali-kohinasuhde. Sen yksikkönä on dB ja se saadaan laskettua vähentämällä signaalinvoimakkuuden tasosta häiriön taso. Esimerkiksi -53 dBm:n signaalinvoimakkuudella ja -90 dBm:n häiriöarvolla saadaan laskettua signaali-kohinasuhteeksi 37 dB. Periaatteessa kun SNR arvo on yli 0 dB, yhteyden muodostaminen on mahdollista. Kuitenkin esimerkiksi Geierin mukaan käytännössä riittävä SNR arvo on vasta 20 dB tienoilla ja hänen mukaansa se on hyvä suositus mitauksissa käytettäväksi arvoksi. Alla olevassa taulukossa on esitettyä Geierin suosittelemat SNR-arvot eri tilanteisiin. Signaalin taso on esitetty havainnollistamisen vuoksi myös Windows-laitteen langattoman verkon yhdistämistyökalun ilmoittamalla palkkien määrällä. (Geier 2008.)

TAULUKKO 4. Riittäviä signaali-kohinasuhdetasoja (Geier 2008.)

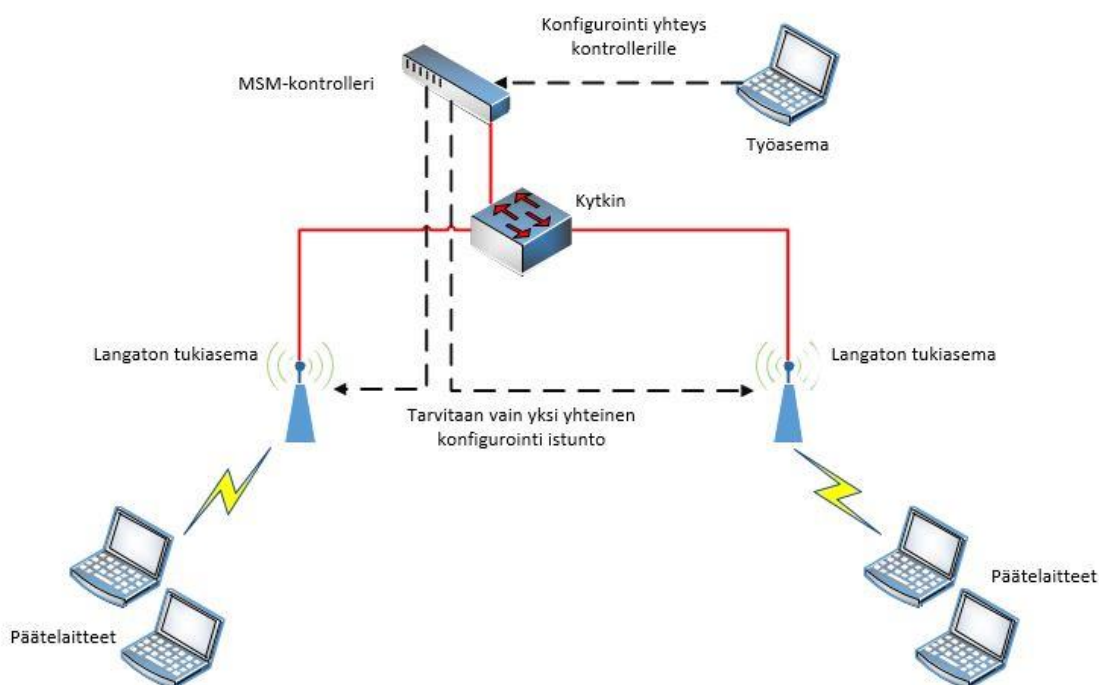
Signaali-kohinasuhde (dB)	Signaalin taso	Yhteyden nopeus
> 40	Erinomainen (5 palkkia)	Yhteys muodostuu aina ja toimii erittäin nopeasti
25 - 40	Erittäin hyvä (3 - 4 palkkia)	Yhteys muodostuu aina ja toimii kohtuullisen nopeasti
15 - 25	Alhainen (2 palkkia)	Yhteys muodostuu aina ja toimii yleensä kohtuullisen nopeasti
10 - 15	Erittäin alhainen (1 palkki)	Yhteys muodostuu yleensä ja toimii enimmäkseen hitaasti
5 - 10	Ei signaalia ollenkaan	Ei mahdollisuutta yhdistämiseen



## 5 SIILINJÄRVEN KUNNAN LANGATON LÄHIVERKKO

### 5.1 Verkon rakenne

Siilinjärven kunnalla on käytössään n. 150 tukiaseman langaton lähiverkko. Verkko on kontrolleripohjainen, eli kaikkia tukiasemia voidaan hallita keskitetysti kontrollereiden avulla. Yhdessä kohteessa voi olla jopa kymmeniä tukiasemia, jolloin niiden konfigurointi olisi todella hidasta yksitellen. Kontrollereiden avulla toteutetussa verkossa kaikille tukiasemille voidaan määrittellä yhteisiä asetuksia ja asettaa ne samalla kertaa, jolloin tukiasemien hallinta on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa. Lisäksi kontrollerin avulla nähdään helposti tarpeellisia tietoja verkon toiminnasta ja voidaan lokien avulla seurata virhetilanteita. Kuvassa 11 on esitettyä kontrolleripohjaisen verkon topologia.



KUVA 11. MSM-topologia (Sirviö 2015-4-8.)

### 5.2 Tukiasemat

Tällä hetkellä Siilinjärven kunnalla on käytössään HP:n MSM430-mallisia tukiasemia. Tukiasemamallin ominaisuuksia ovat (Hewlett-Packard, 2015):

- 1 RJ-45 10/100/1000 Mbps PoE-portti
- kaksi radiota, jotka tukevat 802.11a/n ja b/g/n-standardeja
- 6 sisäänrakennettua antennia (3 kpl 2,4 Ghz ja 3 kpl 5 Ghz)
- Euroopassa käytettävissä olevat taajuusalueet:
  - 2,412 - 2,472 GHz (1 - 13 kanavat)
  - 5,180 - 5,320 GHz (36 - 64 kanavat)
  - 5,500 - 5,700 (100 - 140 (lukuunottamatta 5600 - 5650 MHz) kanavat)
- tuki kahdelle yhtäaikaiselle lähetykselle ja 3 x 3 MIMO-tuki.

### 5.3 Kontrolleri

Käytössä oleva kontrolleri on mallia HP MSM765zl ja se on erikseen HP:n kytkimiin liitettävä moduuli. HP MSM765zl kontrollereita voidaan yhdistää yhteensä 5 kappaletta ja niihin voidaan maksimissaan liittää 800 tukiaseman ympäristöjä. (Hewlett Packard 2015.) Kontrollereita on käytössä 2 kappaletta ja verkon toimintaa on jaettu niiden kesken kuormituksen tasaamiseksi.

### 5.4 Jaettavat verkot (SSID)

Jaettavia verkkoja on yhteensä 5 kappaletta: open, terveyspalvelut, opetus, hallinto ja tablet. Kaikki verkot lukuun ottamatta avointa open-verkkoa ovat salattuja ja vaativat tunnistautumisen. Opetusverkko on tarkoitettu koulujen käyttöön, hallintoverkko kaikkien muiden kunnan työntekijöiden käyttöön ja terveyspalveluverkko terveyskeskuksien henkilöstön käyttöön. Tablet-verkko on tablet- ja hybrid-laitteita varten. Verkot on jaoteltu käyttäjien mukaan, jolloin jokaiselle verkolle saadaan vain tietyt omat palvelut käyttöön, minkä vuoksi niiden hallinnointi on helpompaa ja tietoturva paranee.

### 5.5 Päätelaitteet

Päätelaitteita on loppukäyttäjien käytössä laidasta laitaan: perinteisiä Windows-kannettavia (Windows 7/Windows 8.1), Windows-hybrid-laitteita (Windows 8.1), perinteisiä tablet-laitteita (Apple iPad) sekä matkapuhelimia (mm. Windows Phone / Android).

## 6 EKAHAU SITE SURVEY

### 6.1 Ekahau

Ekahau on vuonna 2000 perustettu yhdysvaltalaispohjainen yritys. Pääkonttori sijaitsee Yhdysvalloissa Virginian Restonissa. Lisäksi yrityksellä on toimistot Helsingissä (myynti, tuotekehitys ja tuotehallinta) ja Hong Kongissa. Yritys on keskittynyt kahteen tuotteeseen: langattomien verkkojen mittausohjelmistoihin sekä langattomiin verkkoihin pohjautuvaan reaaliaikaiseen paikannusjärjestelmään. Tässä työssä käytetään ensimmäisenä mainittua langattomien verkkojen mittausohjelmistoa Ekahau Site Surveyta. Kyseinen ohjelma on ollut ensimmäinen markkinoille tuotu yrityskäyttöön tarkoitettu langattomien verkkojen mittausohjelmisto. Ensimmäinen versio 1.0 on julkaistu jo maaliskuussa 2003 ja uusin versio ohjelmasta on 8.0 (huhtikuu 2015). Ohjelmiston ostaneita asiakkaita on yli 15000 ja käyttäjiä noin 500000. (Ekahau 2015.)

### 6.2 Ekahau Site Survey

Ekahau Site Surveysta on tarjolla kaksi eri versiota: Professional ja Standard, sekä lisäksi kotikäyttöön tarkoitettu erittäin karsittu Heatmapper-ohjelma. Professional-versio on suunnittelukäyttöön tarkoitettu ja sillä voidaan suunnitella täysin uusi langaton verkko alusta alkaen. Se sisältää lisäksi erilaisia ominaisuuksia langattoman verkon kapasiteetin tutkimiseen ja automaattisia raporttien luomiseen tarkoitettuja työkaluja. Edellä mainittujen lisäksi Professional-versioon sisältyvät myös Standard-version ominaisuudet. (Ekahau 2015.)

Standard-versiolla voidaan tehdä yksinkertaisia mittauksia langattomissa verkoissa ja vahvistaa esimerkiksi langattoman verkon kattavuus, suorituskyky sekä monia muita ominaisuuksia. Ohjelmalla voidaan lisäksi helposti selvittää erilaisia langattoman verkon vikatilanteita ja tuottaa yksinkertaisia niin sanottuja lämpökarttoja eri mitattavista ominaisuuksista. (Ekahau 2015.)

Ohjelma on tarkoitettu Windows 7 ja Windows 8 käyttöjärjestelmille ja se vaatii minimissään 2 GB RAM-muistia sekä 1 GB vapaata levytilaa. Varsinaisia mittauksia varten ohjelma täytyy asentaa kannettavaan tietokoneeseen tai tablettiin, suunnitteluohjelman käyttöön käy myös perinteinen pöytä-tietokone. Lisäksi tarvitaan ulkoinen WLAN-adapteri mittauksia varten sekä sisäinen verkkokortti reaaliaikaisten end-to-end-mittausten suorittamiseen. Ekahau Site Surveylla voidaan mitata kaikkia yleisimpiä WLAN-verkkoja ja standardeista tuettuina ovat 802.11ac/n/g/b. (Ekahau 2015.)

## 7 KUULUVUUSMITTAUKSET

### 7.1 Mittauslaitteisto

Mittauksissa oli käytössä Ekahau Site Survey Standard versio 7.6.4. Ohjelmisto asennettiin HP:n Folio 9470m ultrabook kannettavaan. Ulkoisena WLAN-adapterina käytettiin Ekahaun omaa Ekahau NIC-300 USB-adapteria. Huomioitavaa asennuksessa oli se, että lisenssi sidotaan käytettävään WLAN-adapteriin ja koneeseen, joten sitä voidaan käyttää vain yhdessä koneessa kerrallaan. Mittausten ajan oli tämän vuoksi käytössä koko ajan sama laitteisto.

### 7.2 Mittaukset

Mittauksia suoritettiin lähes kaikista kohteista, joissa Siilinjärven kunnalla on sijoitettuna tukiasemia. Kohteita on noin 15 ja tukiasemia kohteissa on noin 150. Kohteita olivat esimerkiksi koulut, terveyskeskukset, kirjastot ja päiväkodit. Rakennusten sijainti ja koko vaihtelivat suuresti. Suurimmassa kohteessa käytössä oli noin 30 tukiasemaa, kun taas pienimmissä kohteissa vain 1 - 2 tukiasemaa.

Mittausten pääasiallinen tarkoitus oli saada selville verkon kuuluvuus rakennuksissa ja tutkia, onko tukiasemien kanavia aseteltu mahdollisesti lähekkäin olevissa tukiasemissa päällekkäin. Mittausten perusteella voitaisiin tehdä ehdotuksia langattoman verkon toiminnan parantamiseen.

Mittaukset suoritettiin yleensä iltaisin tilojen tyhjennettyä, sillä mittaukset suoritetaan kävelemällä rakennukset huone huoneelta läpi. Tilojen käytössä ollessa mitaaminen olisi hyvin hankalaa ja häiritseisi tilojen käyttäjiä.

Ekahau Site Surveyssa (ESS) mittauksia voidaan suorittaa kolmella eri tavalla: aktiivi-, passiivi- ja hybridi-tiloissa. Aktiivimittaustilassa saadaan mitattua reaaliaikaisia viiveitä ja pakettihäviöitä, käytännössä pingaamalla verkon tukiasemia. Passiivimittaustilassa saadaan mitattua verkon kattavuutta ja suorituskykyä. Käytännössä ohjelma kuuntelee tukiasemien lähettämiä beacon-sanomia ja päätelaitteen lähettämiä probe-kyselyjä ja luo niistä automaattisesti lämpökarttoina pohjakuvaan mitattavat tiedot. Hybridi-tilassa käytetään aktiivi- ja passiivi-mittaustapoja yhtä aikaa. Tässä työssä käytettiin pelkästään passiivi-mittaustapaa. (Ekahau 2015.)

Mittausten suorittaminen aloitettiin perehtymällä ohjelmaan ja sen ominaisuuksiin tekemällä testimitoituksia. Tämän jälkeen käytiin mitattavat kohteet läpi ja ladattiin kunkin kohteen pohjakuva kunnan järjestelmästä PDF-muodossa tietokoneelle. ESS ei tue pohjakuvien lataamista muuta kuin kuvana (esim. jpeg, jpg, png, gif), joten pohjakuva täytyi muuntaa ensin PDF-dokumenteista kuviksi. Tämä tehtiin käyttäen PDF-XChange ohjelmaa ja muunnettiin kaikki PDF-dokumentit jpg-muotoon kuviksi.

Varsinaiset mittaukset suoritettiin aina paikan päällä kohteessa. ESS asetettiin skannaamaan kaikkia mahdollisia kanavia sekä määriteltiin valmiiksi raja-arvot tärkeimmille mitattaville ominaisuuksille,

kuten signaalivoimakkuudelle, häiriöille ja signaali-kohinasuhteelle. Sisäinen WLAN-verkkokortti sammutettiin mittausten ajaksi ja käytettiin vain ulkoista WLAN-adapteria.

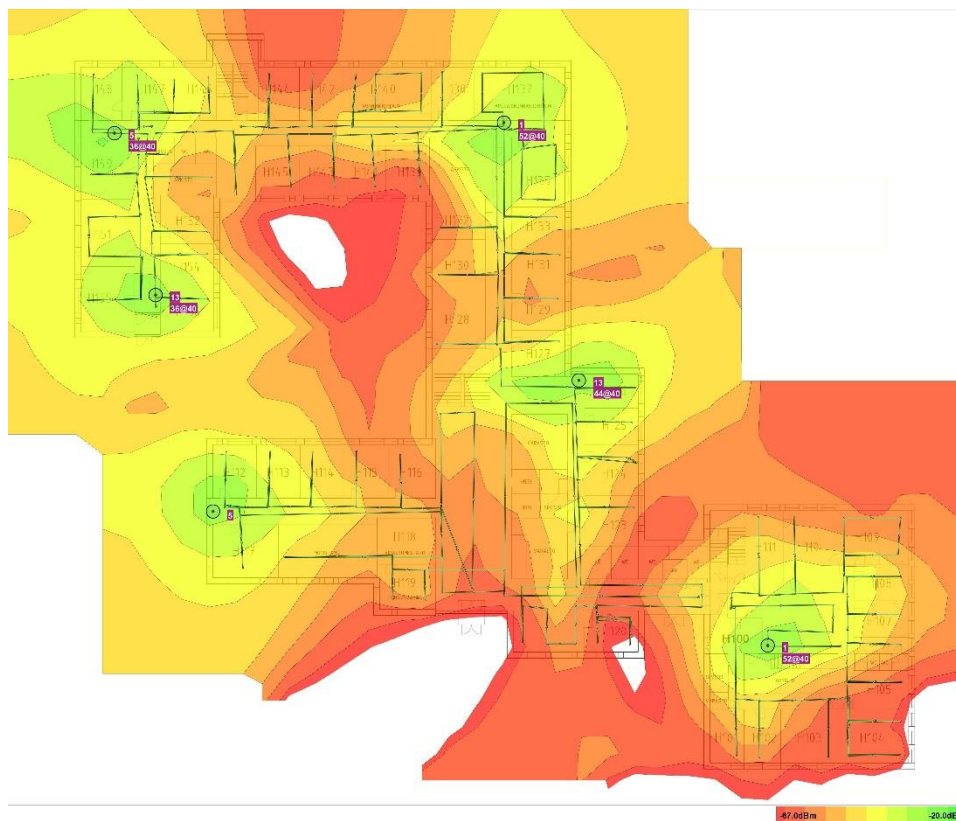
Kun päästään mitattavaan rakennukseen, täytyy ensimmäisenä pohjakuvan lataamisen jälkeen määrittellä mittakaava. Tämä tehdään yksinkertaisella työkalulla ESS:ssä ja vedetään viiva tunnettujen pisteiden välille ja syötetään kymmenen sentin tarkkuudella metreissä kyseisten pisteiden väli.

Varsinainen mittaaminen voidaan aloittaa mittakaavan määrittelyn jälkeen. Käytännössä mittaus tapahtuu yksinkertaisesti valitsemalla ohjelmasta mittauksen aloitus ja painamalla kartalla hiirtä vasemmalla painikkeella oman paikan kohdalla. Tämän jälkeen lähdetään kiertämään tiloja läpi. Tiloja kiertäessä joka kerta kun pysähdytään, käännytään tai tehdään muita poikkeavia liikkeitä, täytyy vasemmalla hiiren painikkeella painaa kartalle oma sijainti. Rakennukset käydään mahdollisimman tarkasti huone huoneelta läpi ja koko ajan kuljettu reitti piirtyy pohjakuvaan. Ohjelma tekee taustalla samalla automaattisesti analyysia verkosta. Kun tarvittavat tilat on käyty läpi, painetaan karttaa hiiren oikealla painikkeella, jolloin mittaus loppuu. Tämän jälkeen ohjelma laskee hetken mittauksilokkia, minkä jälkeen sen löytämät tukiasemat sijoittuvat automaattisesti kartalle. Tukiasemista näkyviä tietoja ovat niiden jakamat verkot (SSID) salauksineen (esim. WPA/WPA2), niissä käytössä olevat kanavat 2,4 GHz ja 5 GHz taajuusalueilla, tukiasemien mac-osoitteet ja ali-mac-osoitteet eri SSID:lle.

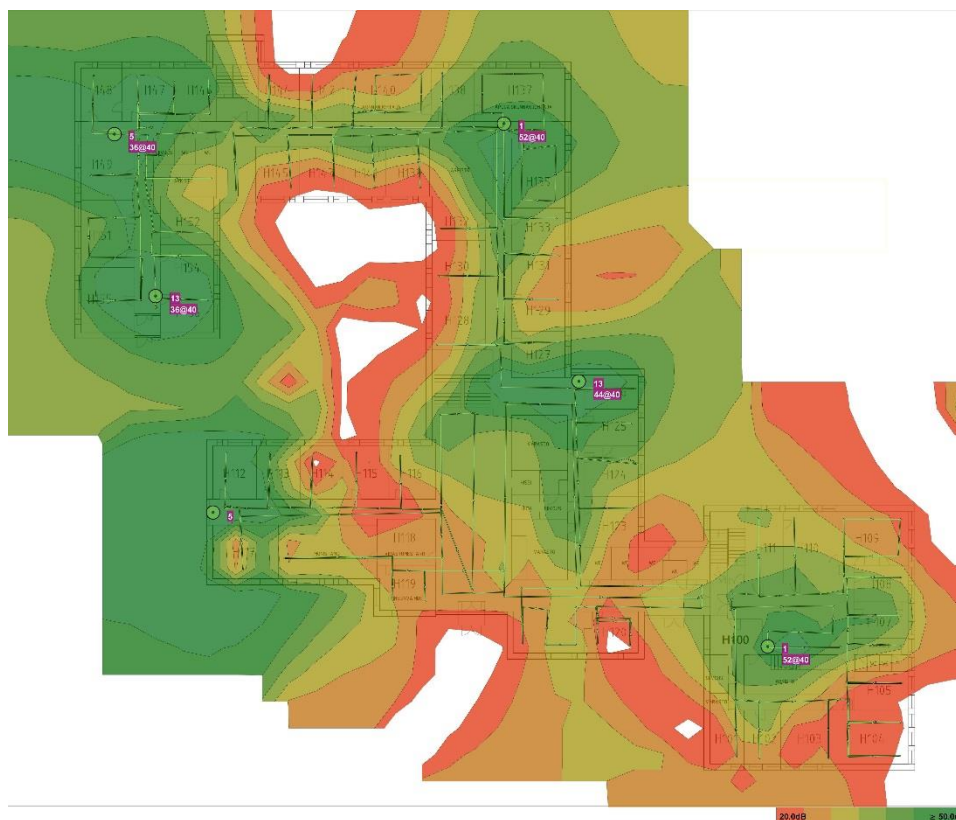
Mittausten jälkeen tukiasemien sijainnit täytyy tarkastaa vielä kertaalleen, sillä ohjelman automaattinen sijoittelu tekee välillä huomattaviakin virheitä. Tukiasemat saadaan sijoiteltua oikeisiin paikkoihin yksinkertaisesti raahaamalla niitä kartalla hiirellä. Myös ylimääräisiä tukiasemia voi erityisesti useamman kerroksen rakennuksissa ilmaantua karttaan, sillä ohjelma kuulee välillä alemman tai ylemmän kerroksen tukiasemat ja saattaa sijoittaa ne mitattavaan kerrokseen. Nämä tukiasemat täytyy mittaustulosten oikeellisuuden vuoksi poistaa tarvittaessa. Mittausten aikana tarkistaminen suoritettiin vertaamalla ESS:n ilmoittamia mac-osoitteita WLAN-kontrollerilla oleviin rakennusten tukiasemaryhmiin, joista saatiin selville, mitkä tukiasemat ovat oikeasti missäkin kerroksessa.

Alla on esimerkkikuvat (kuvat 12, 13, 14) lämpökartoista, jotka ohjelmalla on yhdestä kohteesta luotu. Jokaisesta rakennuksesta saatuja mittaustuloksia ei liitetä tietoturvan ja muiden turvallisuustekijöiden takia opinnäytetyöhön.

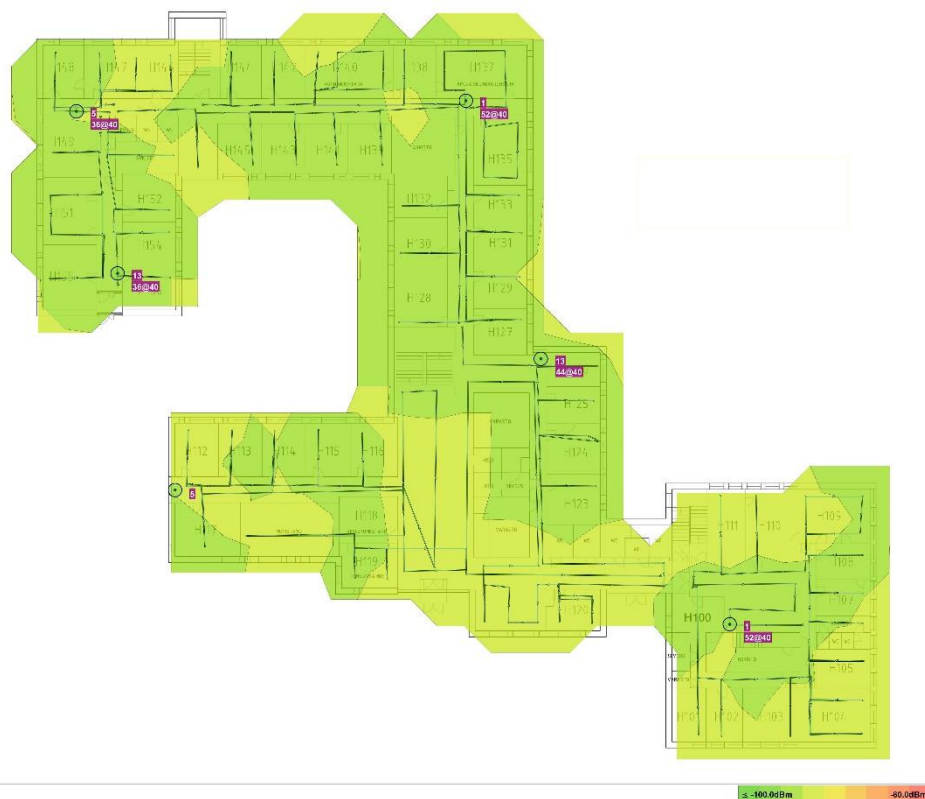
Signaalikuuluvuuden raja-arvoina mittauksissa käytettiin -67 dBm ja -20 dBm (suurempi parempi). -67 dBm on riittävä videopuheluiden soittamiseen ja videon striimaukseen. Signaali-kohinasuhteen raja-arvoina käytettiin 20 dB ja 50 dB (suurempi parempi). 20 dB on riittävä yhteyden luotettavalle muodostamiselle ja toimimiselle. Häiriön määrän raja-arvoina käytettiin -60 dBm ja -100 dBm (pienempi parempi).



KUVA 12. Signaalinvoimakkuuslämpökartta (punainen = heikompi kuuluvuus, vihreä = hyvä tai erinomainen kuuluvuus)



KUVA 13. Signaali-kohinasuhdelämpökartta (punainen = heikko signaali-kohinasuhde, vihreä = hyvä tai erinomainen signaali-kohinasuhde)



KUVA 14. Häiriön määrä (punainen = paljon häiriötä, vihreä = vähän häiriötä)

### 7.3 Ongelmat

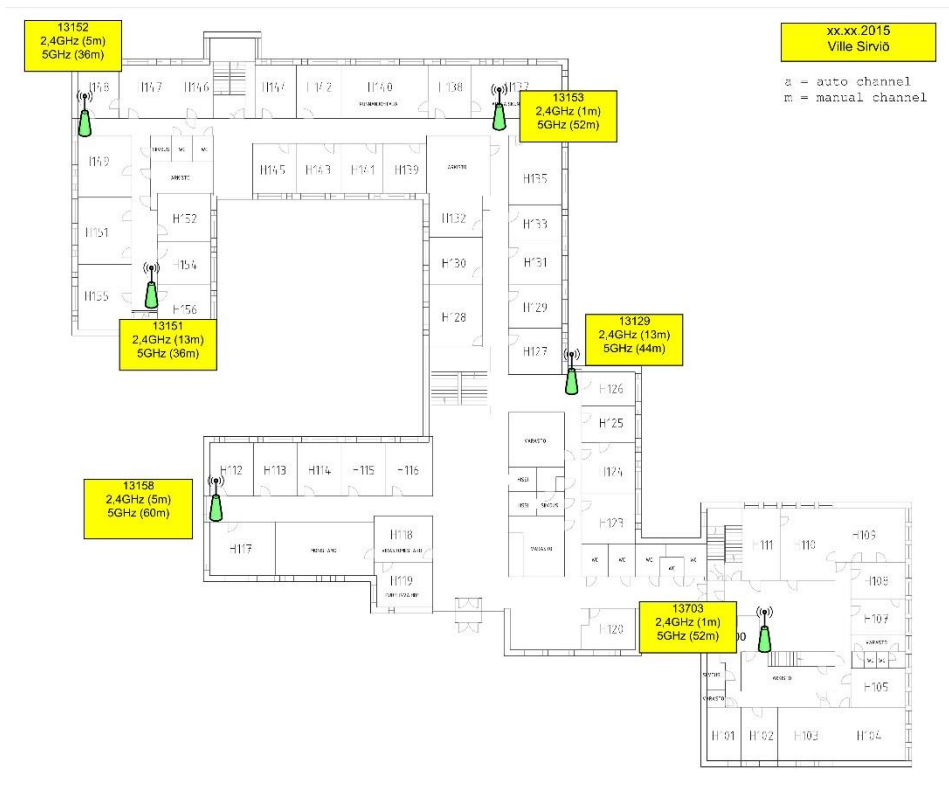
Ensimmäisissä mittauksissa ilmeni monia epäselvyyksiä mittaustuloksissa. ESS jakoi tukiasemia kahdeksi tukiasemaksi ja näytti toisessa tukiasemassa vain yhden verkon jaettavaksi. Loput verkot näkyivät toisessa tukiasemassa. Myös kanavien suhteen oli epäselvyyksiä ja usein yhdessä tukiasemassa saattoi näkyä kolme eri jaettavaa kanavaa. Asetusten muuttaminen ei auttanut, eikä tukiasemien yhdistäminen yhdeksi onnistunut ESS:lla. WLAN-kontrolleria tutkimallakaan ei saanut selvyttä, sillä ohjelman tietokannat näyttivät ristiriitaisia tietoja verrattuna aseteltuihin asetuksiin. Konsultoin asiantuntijaa, joka on mitannut paljon ESS:lla langattomia verkkoja ja hänen mielestään suurin epäilyksen aiheuttajaksi olisi WLAN-kontrolleri. Tämän vuoksi WLAN-kontrolleriin ajettiin firmware-päivitys. Päivityksen jälkeen testimittauksissa huomattiin heti, että suurin osa ongelmista ei enää näyttäytynyt ja mittaustulokset olivat selkeitä. Muita isompia ongelmia mittausten suhteen ei työn aikana enää ilmennyt ja WLAN-kontrollerin firmware-päivityksen jälkeen ESS on näyttänyt aina oikeita mittaustuloksia.

## 8 DOKUMENTOINTI

Mittausten ohella rakennuksista dokumentoitiin tukiasemien sijainnit sekä kirjattiin tukiasemissa käytössä olevat kanavat sekä 2,4 GHz:n, että 5 GHz:n taajuualueilla. Lisäksi kirjattiin onko kanavat aseteltu asettumaan automaattisesti vai ovatko ne määritelty manuaalisesti. Tukiasemien sijaintikuviiin merkattiin tarkat päivämäärät milloin mittaukset on suoritettu, että myöhemmin osataan arvioida onko tilanne langattomassa verkossa oleellisesti muuttunut ja onko täten tarvetta uudelle mittaukselle.

Myös mittauksissa havaitut katvealueet sekä muut huomioidut puutteet kirjattiin ja käydään mittauksen jälkeen läpi. Näiden puutteiden perusteella voidaan tehdä muutoksia tukiasemien sijainteihin ja kanaviin langattoman verkon toiminnan parantamiseksi.

Alla on esimerkkidokumentti (kuva 15) tukiasemien sijoittelusta.



KUVA 15. Tukiasemien sijoittelukuva



## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa kuuluvuusmittauksia Siilinjärven kunnan langattomaan verkkoon ja dokumentoida tulokset sekä langattomien tukiasemien sijainnit tarvittavine tietoineen. Työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen. Työtä tehdessä pääsi tutustumaan laajaan kontrolleripohjaiseen langattomaan lähiverkkoon, joista ei aikaisempaa kokemusta ollut kertynyt paljoa. Kontrolleripohjaiset laajat langattomat lähiverkot ovat toiminnaltaan monimutkaisempia kuin yhden tukiaseman kotiverkot, vaikka olettamuksena oli, että toiminnan pitäisi olla aika samanlainen. Verkkoa tarjotaan monelle eri taholle, mikä aiheuttaa haasteita asetusten määrittelyyn. Myös kannettavien päätelaitteiden erilaisuus vaikeuttaa asetusten määrittelyä, sillä osa laitteista ei toimikaan samoilla asetuksilla yhtä hyvin kuin toinen.

Työssä käytetty Ekahaun Site Survey -ohjelmisto on ehdottoman hyvä apu langattomien verkkojen toiminnan kartoittamiseen ja voin suositella ohjelmaa kaikille niille, jotka haluavat tutkia syvemmin langattoman verkkonsa toimintaa. Ohjelma on yksinkertainen käyttää ja sillä saadaan nopeasti varmennettua monta asiaa langattomasta verkosta, jos verkon toiminta ei ole sellainen kuin sen pitäisi.

Suoritetut mittaukset saatiin tehtyä määräajassa ja niiden perusteella on tehty jo muutoksia langattoman verkon toimintaan ja loppukäyttäjiltä saadun palautteen perusteella verkon toiminta on parantunut. Tehdyn dokumentaation perusteella on helppo jatkossa tarkistaa nopeasti tukiasemien sijainnit ja asetukset sekä Ekahaun Site Survey -mittausdokumenteista rakennusten kuuluvuusalueet. Niiden perusteella voidaan jatkossa helpommin reagoida loppukäyttäjiltä tulevaan palautteeseen verkon toimivuudesta.

## LÄHTEET

EKAHAU 2014. Wi-Fi Infographic: Best Practices for WLAN Design. [Viitattu 2015-3-18.] Saatavissa:

<http://www.ekahau.com/wifidesign/blog/tag/wlan-infographic/>

EKAHAU 2015. Ekahau Site Survey User Guide. [Viitattu 2014-3-18.] Saatavissa:

[http://docs.ekahau.com/index.php/Ekahau\\_Site\\_Survey\\_User\\_Guide](http://docs.ekahau.com/index.php/Ekahau_Site_Survey_User_Guide)

GEIER, Jim 2005. Langattomat verkot - perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.

GEIER, Jim 2008. Define Minimum SNR Values for Signal Coverage. [Viitattu 2015-3-18.] Saatavissa:

<http://www.enterprisenetworkingplanet.com/netsp/article.php/3747656/WiFi-Define-Minimum-SNR-Values-for-Signal-Coverage.htm>

GRANLUND, Kaj 2007. Tietoliikenne. Jyväskylä: Docendo Finland Oy.

HEWLETT-PACKARD. 2015. HP MSM-802.11n Dual Radio Access Point Series. [Viitattu 2015-10-4.] Saatavissa:

[http://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA3-2358ENW&doctype=data%20sheet&doclang=EN\\_US&searchquery=&cc=fi&lc=fi](http://h20195.www2.hp.com/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA3-2358ENW&doctype=data%20sheet&doclang=EN_US&searchquery=&cc=fi&lc=fi)

METAGEEK 2015. Acceptable Wi-Fi Signal Strengths. [Viitattu 2015-3-18.] Saatavissa:

<https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/201955754-Acceptable-Wi-Fi-Signal-Strengths>

MÄKINEN, Simo 2012. Uusi standardi tuo gigabit-nopeudet WLAN-verkkoon. [Viitattu 2015-4-10.] Saatavissa:

<http://www.nylund.fi/fi/yritys/ajankohtaista/asiantuntija-artikkeleita/uusi-standardi-tuo-gigabit-nopeudet-wlan-verkkoon.html#.VSfmXqZPadw>

POOLE, Ian 2015. Wi-Fi/WLAN Channels, Frequencies, Bands & Bandwidths. [Viitattu 2015-3-18.] Saatavissa:

<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>

PUSKA, Matti 2005. Langattomat lähiverkot. Helsinki: Talentum.

SALTER, Avril 2013. HP ASE Wireless Networks Official Certification Study Guide (Exam HP0-Y44). San Francisco: HP Press.

VIESTINTÄVIRASTO 2003. Radiotaajuudet ja niiden käyttö. Radiotajuuksien käyttö Suomessa. [Viitattu 2015-3-18.]

Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radiotaajuuksienkaytto.html>