



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Mikael Paloranta

Langattomat yritysverkot

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

IoT & Cloud Computing

Insinöörityö

10.5.2020

Tekijä Otsikko	Mikael Paloranta Langattomat yritysverkot
Sivumäärä Aika	35 sivua 19.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	IoT and Cloud Computing
Ohjaajat	Ryhmäpäällikkö Olli-Pekka Männistö Lehtori Marko Uusitalo
<p>Insinööriyö käsittelee langattomia verkkoja. Tarkoituksena oli korjata erään virastotalon langaton verkko. Kiinteistön käyttäjät olivat havainneet puutteita langattomassa verkossa. Kiinteistöön tehtiin kuuluuuskartoitus, lisättiin tukiasemia ja purettiin vanhat langattomat verkot.</p> <p>Insinööriyön tavoitteena oli oppia lisää langattomien verkkojen teoriasta sekä korjata puutteet virastotalon langattomassa verkossa. Insinööriyö toteutettiin noin kolmen viikon aikana. Teoriaosuuden pohjana käytettiin alan kirjallisuutta.</p> <p>Insinööriyön tuloksena langaton verkko saatiin vastaamaan asiakkaan vaatimuksia. Insinööriyötä voi käyttää apuna langattoman verkon suunnittelussa.</p>	
Avainsanat	WLAN-suunnittelu, IEEE 802.11, Ekahau

Author Title	Mikael Paloranta Wireless Enterprise networks
Number of Pages Date	35 pages 19 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communications Technology
Professional Major	IoT and Cloud Computing
Instructors	Olli-Pekka Männistö, Manager Marko uusitalo, Senior Lecturer
<p>This thesis researches wireless local area networks. The goal of this thesis was to repair a wireless network in an office building. The users in the office had noticed that the coverage of the wireless network is not feasible. The old wireless networks in the building were removed and new access points were installed to remedy the dead spots where signal strength was not strong enough.</p> <p>Ekahau Pro software was used to conduct a site survey to reveal the problematic zones for wireless coverage in the building. After the new access points were installed another site survey was conducted to ensure that the wireless network was up to the client's requirement. The thesis is based on researches and studies about wireless networks. The results of this thesis can be used when designing wireless networks.</p>	
Keywords	WLAN design, IEEE 802.11, Ekahau

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	IEEE 802.11 -standardi	2
2.1	802.11a	2
2.2	802.11b	3
2.3	802.11g	3
2.4	802.11n	3
2.5	802.11ac	4
2.6	802.11ax	4
3	Radioaallot	5
3.1	Vaimeneminen	7
3.2	Heijastuminen	7
3.3	Sironta	8
3.4	Monitie-eteneminen	9
3.5	Taipuminen (diffraktio)	10
4	WLAN-taajuusalueet	10
4.1	Kanavat	11
4.2	Lähetystekniikat	13
4.3	MIMO	14
5	WLAN-suunnittelu	16
5.1	Kuuluvuus	16
5.2	Lähetysteho	18
5.3	Roaming	19
5.4	Kanavas suunnittelu	20
5.5	Kapasiteetti	21
5.6	Kartoitus	23
6	Virastotalon WLAN-verkon korjausprojekti	24

7 Yhteenveto

32

Lähteet

34

Lyhenteet

WLAN	Wireless Area Network. Langaton lähiverkko.
AP	Access Point. Langattoman verkon tukiasema, jonka kautta on yhteys langattomasta lähiverkosta langalliseen.
OSI-malli	Open Systems Interconnection Reference Model. Kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa.
Mb/s	Megabittiä sekunnissa. Siirtonopeuden yksikkö.
MAC	Medium Access Control. Kaistanvaraus 802-verkossa.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing. Taajuuskanavointi, jossa tietoa voidaan siirtää useilla eri taajuuskanavilla samaan aikaan.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum. Hajaspektritekniikka.
CCK	Complementary Code Keying. Modulointitekniikka.
MIMO	Multiple-In/Multiple-out. Tekniikka, jossa tiedon lähetykseen ja vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia.
MU-MIMO	Multi User MIMO. Yhdellä tukiasemalla pystyy kommunikoimaan samanaikaisesti usean eri päätelaitteen kanssa.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance. WLAN-verkoissa käytettävä vuoronvaraustekniikka.
UNII	Unlicensed national information infrastructure. Taajuusalue 5 Ghz:n taajuudella.

DFS	Dynamic Frequency Selection. Osalla 5 GHz:n taajuusalueen kanavista toimii tutkia, jotka havaitessaan tukiaseman täytyy vaihtaa kanavaa.
dBm	Desibelimilliwatti. Langattomissa verkoissa käytetty tehon yksikkö.
IoT	Internet of Things. Asioiden tai esineiden internet.
PoE	Power over Ethernet. Virransyöttö verkkokaapelin kautta laitteelle.
SSID	Service Set Identifier. WLAN-verkon verkkotunnus.

1 Johdanto

Nykypäivänä useat yritykset ja organisaatiot tarjoavat langatonta verkkoa käytettäväksi henkilöstölle sekä vieraille. Langattomaan lähiverkkoon (WLAN) liitettävien laitteiden määrä tulee kasvamaan vielä merkittävästi tulevaisuudessa. WLAN-verkkojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon kasvavat käyttäjämäärät laitteet ja WLAN-verkon käyttötarkoitus. Hyvällä kapasiteetin ja käyttötarkoituksen suunnittelulla saadaan WLAN-verkon käyttökokemus mahdollisimman hyväksi.

Valtion tieto- ja viestintätekniikkakeskus Valtori tuottaa valtionhallinnon virastoille ja organisaatioille toimialariippumattomat ICT-palvelut. Valtorin lähiverkkopalvelu on nimeltään Lähireitti, joka tarjoaa virastoille sekä langallisen että langattoman lähiverkon. Palvelu sisältää tietoliikennelaitteet ja niiden valvonnan ja hallinnoinnin. Lähireitti mahdollistaa viraston sisäisten palveluiden käytön mistä tahansa, missä Reitti-lähiverkko on käytössä.

Eräissä melko suuressa virastotalossa käyttäjät olivat tyytymättömiä WLAN-verkon käyttökokemukseen. Käyttäjät raportoivat yhteyksien katkeamisesta ja heikosta signaalista työasemillaan. Virastotaloon tehtiin langattoman verkon kuuluvuuskartoitus Ekahau Pro -ohjelmalla (ent. Ekahau Site Survey). Kuuluvuuskartoituksen tarkoituksena oli paikallistaa katvealueet sekä mahdolliset häiriölähteet. Virastotalossa oli vielä käytössä kahden eri organisaation vanhat WLAN-verkot, jotka purettiin uusien langattoman verkon tukiasemien asennuksen yhteydessä.

Opinäytetyössä käsitellään WLAN-verkkojen teoriaa, standardeja ja WLAN-verkkojen suunnittelua. Opinäytetyössä käydään lävitse Ekahau Pro:lla tehty WLAN-verkon kuuluvuuskartoituksen lähtö- ja lopputilanne. Tarkoituksena on havainnollistaa, kuinka langattoman verkon kuuluvuutta ja käyttökokemusta saatiin parannettua.

2 IEEE 802.11 -standardi

IEEE 802.11 on standardi langattomille lähiverkoille (WLAN). Langattomat lähiverkot toimivat OSI-mallin (Open Systems Interconnection Reference Model) ensimmäisellä ja toisella kerroksella. Standardi määrittelee WLAN-verkkojen ominaisuudet, kuten siirtonopeudet ja käytetyt taajuudet. [1, s. 3.] Kuvassa 1 havainnollistetaan OSI-malli.



Kuva 1. OSI-mallin kerrokset.

IEEE 802.11 -standardi mahdollistaa eri laitevalmistajien WLAN-laitteiden toimivuuden keskenään. Ensimmäinen 802.11-standardi julkaistiin vuonna 1997 mahdollistaen yhden tai kahden Mb/s:n siirtonopeudet 2,4 GHz:n taajuusalueella. Alkuperäinen standardi hyödynsi DSSS- ja FHSS-tekniikoita signaalin moduloinnissa.

2.1 802.11a

IEEE 802.11a:n laajennus julkaistiin vuonna 1999, ja se oli ensimmäinen 802.11 -standardista, joka toimi 5 GHz:n kaistalla. Standardin siirtonopeus oli korkeimmillaan 54 megabittia sekunnissa (Mb/s), mutta todellisuudessa lähempänä 20 Mb/s, ja se käyttää monikanta-aaltomodulointia (OFDM). Käyttämällä 5 GHz:n kaistaa saadaan selvä etu verrattuna 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueeseen, joka on erittäin ruuhkainen johtuen sitä käyttävistä laitteista sekä kanavien määrästä. IEEE 802.11a -standardi ei tullut aikanaan kovin laajasti käyttöön, koska sitä tukevien laitteiden toimitus alkoi myöhemmin, kuin alun perin oli tarkoitus, ja korkeataajuisten komponenttien hinta oli suurempi kuin esimerkiksi IEEE 802.11b/g -standardia tukevilla laitteilla. IEEE 802.11a sai myöhemmin suosioita

ympäristöissä, joissa langattomilta verkoilta vaadittiin suurempaa kapasiteettia ja suorituskykyä hinnasta riippumatta. [1, s. 5.]

2.2 802.11b

IEEE 802.11b -standardia tukevat laitteet ilmestyivät markkinoille 2000-luvun vaihteessa. Standardi tukee maksimissaan 11 Mb/s:n siirtonopeutta, ja se toimii 2.4 GHz:n taajuusalueella käyttäen 20 MHz:n kanavaa. [1, s. 4-5.] IEEE 802.11b -standardi käyttää modulaationaan CCK-tekniikkaa (Complementary Code Keying), joka perustuu DSSS-hajaspekritekniikkaan [2]. Korkeammat siirtonopeudet ja laitteiden alhaisemmat hinnat toivat suuren suosion 802.11b -standardille, ja se levisi laajasti käyttöön. Yksi 802.11b-standardin heikkouksista on sen alttius häiriölähteille, esimerkiksi mikroaaltouuneille, radiolaitteille ja langattomille lähettimille. Häiriönlähteistä ja suurista käyttäjämääristä on tullut ongelma käytettäessä 2,4 GHz:n kaistaa. [1, s. 4-5.]

2.3 802.11g

IEEE 802.11g tuli nopeasti kuluttajien käyttöön tammikuusta 2003 lähtien. Langattomilta lähiverkoilta vaadittiin korkeampia siirtonopeuksia ja matalampia valmistuskustannuksia. 802.11g toimii 2.4 GHz:n taajuusalueella samaan tapaan kuin 802.11b, mutta mahdollistaen jopa 54 Mb/s:n siirtonopeuden. 802.11g -standardia tukevat laitteet ovat myös yhteensopivia 802.11b-laitteiden kanssa, mutta vanhempia laitteita on syytä tuoda harakiten 802.11g-WLAN-verkkoihin, koska se vaikuttaa merkittävästi lähiverkon suorituskykyyn ja käyttökokemukseen. Sama pätee käytettäessä uudempien standardien laitteita. [1, s. 6.] Mahdollisimman hyvä yhteensopivuuden takaamiseksi käytössä on neljä eri fyysistä laajennusta ERP-DSSS, ERP-OFDM, ERP-PBCC ja DSSS-OFDM [2].

2.4 802.11n

IEEE 802.11n on ensimmäinen 802.11 -standardi, joka hyödynsi MIMO (Multiple-In/multiple-out) -tekniikkaa ja kahden 20 MHz:n kanavan yhdistämistä, joka mahdollisti 40

MHz:n kaistanleveyden käytön. Käytettäessä 40 MHz:n kaistanleveyttä saadaan kaksinkertaistettua siirtonopeus. Parannusten ansiosta 802.11n mahdollistaa teoriassa 600 Mb/s:n siirtonopeuden langattomasti, joka on merkittävästi enemmän kuin aikaisemmissa 802.11-laajennuksissa. [1, s. 6.] 802.11n-standardi toimii sekä 2.4- että 5 GHz:n taajuuksialueilla, ja se käyttää modulaationaan CCK-, DSSS ja OFDM-tekniikoita [2].

2.5 802.11ac

WLAN-verkkojen suosion takia on kehittynyt uudenlaisia tarpeita ja käyttökohteita, jotka vaativat langattomalta verkolta enemmän suorituskykyä, esimerkiksi langattomat näytöt, suurien tiedostojen siirto langattomasti ja erilaiset yritysten tarpeet. Tähän tarpeeseen kehitettiin IEEE 802.11ac -standardi, jota kutsumaan myös lyhenteellä VHT (Very High Throughput). [1, s. 7.] 802.11ac mahdollistaa jopa kahdeksan samanaikaisen datavirran (spatial stream) hyödyntämisen ja modulaationaan BPSK-, QPSK-, 16-QAM-, 64-QAM- ja 256-QAM-tekniikoita. Poiketen 802.11n-standardin 20 ja 40 MHz:n kaistanleveydestä 802.11ac mahdollistaa niiden lisäksi 80:n, 160:n tai kahden 80 MHz:n kaistanleveyden käytön. Suuremman kaistanleveyden ja tehokkaampien modulaatiotekniikoiden ansiosta standardin teoreettinen maksiminopeus on 6,93 Gb/s. [2.]

2.6 802.11ax

Toiselta nimeltään Wi-Fi 6, 802.11ax julkaistiin vuonna 2019 ja on uusin laajennus 802.11-perheeseen. Yhtenä suurimpana erona aikaisempiin 802.11-versioihin 802.11ax mahdollistaa usealla laitteella lähettämisen saman aikaisesti. 802.11 hyödyntää OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) -tekniikkaa. WLAN-verkkoon voidaan luoda, OFDMA-tekniikkaa hyödyntäen alikanavia, OFDMA-tekniikka määrittää laitekohtaisesti alikanavien määrän kaistanleveystarpeen perusteella. [3.] 802.11ax on kehitetty vastaamaan langattoman verkon yhä kasvavia laitemääriä. On ennustettu, että vuonna 2020 keskiverto kotitaloudessa olisi noin 50 langattomaan verkkoon kytkettyä laitetta. Useat näistä kytketyistä laitteista ovat IoT (Internet of Things) -laitteita, esimerkiksi lamppuja termostaatteja ja jääkaappeja. Uutena ominaisuutena 802.11ax:ssä on myös TWT (Target Wake Time) -tekniikka, joka on erityisen hyödyllinen laitteille, jotka toimivat akulla, esimerkiksi matkapuhelimet tai IoT-laitteet. TWT-tekniikan avulla on

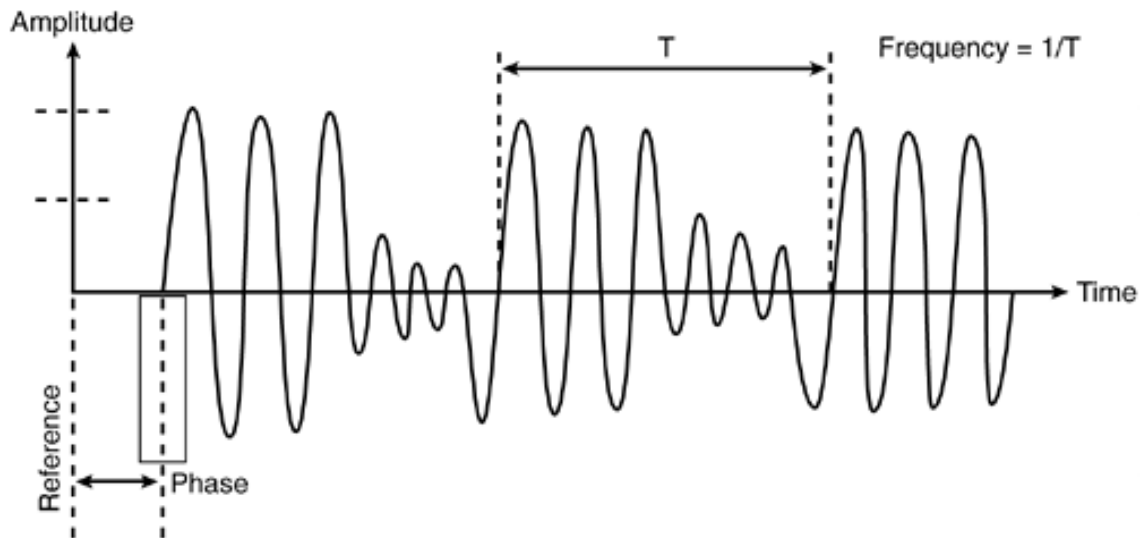
mahdollista asettaa ajankohta laitteille, kun niiden halutaan olla aktiivisia. [4, s. 2-5.] 802.11ax-standardi mahdollistaa jopa 9,6 Gb/s:n siirtonopeuden hyödyntäen erittäin tehokasta 1024-QAM modulaatiota ja kahdeksaa samanaikaista datavirtaa [5]. Taulukkoon 1 on kerätty IEEE 802.11-standardit.

Taulukko 1. IEEE 802.11-standardit, mukailtu [1, s. 5].

Standardi	Ratifiointi	Modulaatio	Taajuusalue	Siirtonopeus
802.11	1997	DSSS, FHSS	2,4 GHz	1 tai 2 Mb/s
802.11a	1999	OFDM	5 GHz	54 Mb/s
802.11b	1999	CCK	2,4 GHz	11 Mb/s
802.11g	2003	DSSS, OFDM	2,4 GHz	54 Mb/s
802.11n	2009	OFDM	2,4 Ghz/5GHz	600 Mb/s
802.11ac	2013	OFDM	5 GHz	6,93 Gb/s
802.11ax	2019	BPSK, QPSK, QAM	2,4 Ghz/5GHz	9,6 Gb/s

3 Radioaallot

Langattomissa verkoissa datan siirtämiseen käytetään radioaaltoja. WLAN-verkkoja asennuksen, suunnittelun ja ylläpidon kannalta on tärkeää ymmärtää, miten radioaallot käyttäytyvät. Käytännön ympäristöissä väliaine ja esteet vaikuttavat radioaaltojen kulkuun. Radioaallot ovat tietynlaista värähtelevää elektromagneettista säteilyä, jota käytetään informaation siirtämiseen pitkillä välimatkoilla. Radioaaltoja kutsutaan myös RF (Radio Frequency) -signaaleiksi. [6.] Kuvassa 2 esitellään RF-signaalin amplitudi, vaihe ja taajuus.



Kuva 2. RF-signaalin amplitudi, vaihe ja taajuus havainnekuva. [6.]

Signaalin amplitudi kuvaa sen voimakkuutta. Amplitudin mittayksikkönä käytetään yleensä wattia, joka on SI-järjestelmän tehon yksikkö. Elektromagneettisessa säteilyssä teho kuvaa, kuinka paljon tarvitaan energiaa kuljettamaan signaali tietyn etäisyyden verran. Signaalin kantama kasvaa, mitä enemmän signaalilla on tehoa. Radioaaltojen tehon yksikkönä voidaan siis käyttää watteja tai dBm-mittayksikköä, joka kuvaa desibelien määrää suhteessa yhteen milliwattiin (mW). [6.]

Signaalin taajuus kuvaa, kuinka monta kertaa sekunnissa radiosignaali toistaa itsensä. Taajuuden yksikkö on hertsi (Hz), joka kuvaa monta sykliä signaalissa tapahtuu sekunnissa. WLAN-verkot käyttävät 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuusalueita, joka tarkoittaa 2,400 000 000 tai ja 5 000 000 000 signaalin sykliä sekunnissa. Kyseiset taajuudet ovat niin korkeita, että ne ovat ihmiselle huomaamattomia. Signaalin taajuus vaikuttaa radioaaltojen etenemiseen väliaineessa. Korkeamman taajuuden signaalit etenevät teoriassa lyhyemmän matkan kuin pienemmän taajuuden signaalit. Käytännön ympäristöissä signaalin kulkemaan matkaan vaikuttaa lähetysteho ja taustakohina, joka vaikuttaa yleisesti enemmän 2.4 GHz:n kuin 5 GHz:n radioihin. [6.]

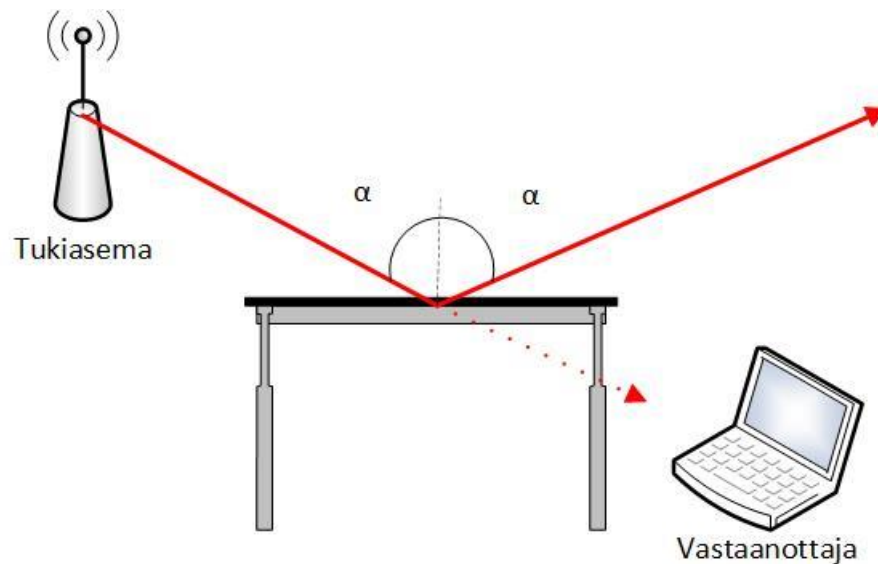
Radiosignaalin vaihe kuvaa, kuinka paljon signaali poikkeaa vertailukohtasta. Signaalin sykli kattaa 360 astetta. Asteita hyödyntämällä voidaan viitata siniaallon vaihekulmaan, jos halutaan kuvata paljon vaiheesta on kulunut. [6.]

3.1 Vaimeneminen

Vaimenemisella tarkoitetaan signaalin amplitudin ja tehon heikkenemistä. Amplitudin pienentyessä signaalin siniaallon korkeus pienenee. Eri materiaalit vaikuttavat signaalin etenemiseen eri tavoin. Signaali heikkenee myös kohtaamatta matkallaan esteitä, tätä kutsutaan vapaan tilan vaimennukseksi. [7.]

3.2 Heijastuminen

Yksi WLAN-verkkoihin merkittävästi vaikuttava ilmiö on heijastuminen. Signaali heijastuu erityisesti tasaisista pinnoista esimerkiksi lasista, seinistä, ovista ja metallista. [7.] Kuvassa 3 havainnollistetaan signaalin heijastuminen pöydästä.

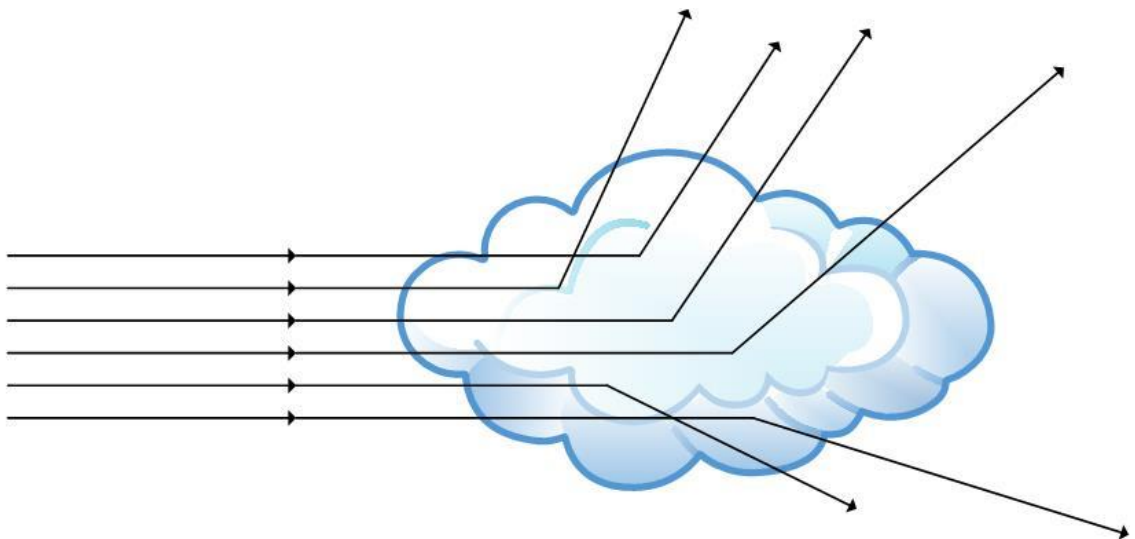


Kuva 3. Havainnekuva WLAN-signaalin heijastumisesta tasaisesta pinnasta.

Heijastuminen voi aiheuttaa tiedon korruptoitumista tai estää tiedon pääsemisen kohteeseen. [7.] Radioaalto heijastuu samassa kulmassa, kuin se on osunut kohteeseen.

3.3 Sironta

Sirontaa tapahtuu, kun radioaalto osuu pieniin partikkeleihin ja säteily hajoaa erisuuntaisiksi aaltorintamiksi. Sironta heikentää signaalin laatua ja lisää hajontaa. Myös muut objektit voivat aiheuttaa sirontaa kuin pienet partikkelit. Esimerkiksi kohteen pinnan karheus ja epätasaisuus voi aiheuttaa signaalin sironnan useaan eri suuntaan. Säteilyn sirontaan vaikuttaa myös sen aallonpituus. Edetessään samassa ympäristössä eri aallonpituudella kulkevat signaalit saattavat sirota partikkeleista merkittävästi, mutta toisiin signaaleihin partikkeleilla ei ole juurikaan vaikutusta [10, s. 11.] Kuvassa 4 esitetään RF-signaalin sirontaa partikkelista.



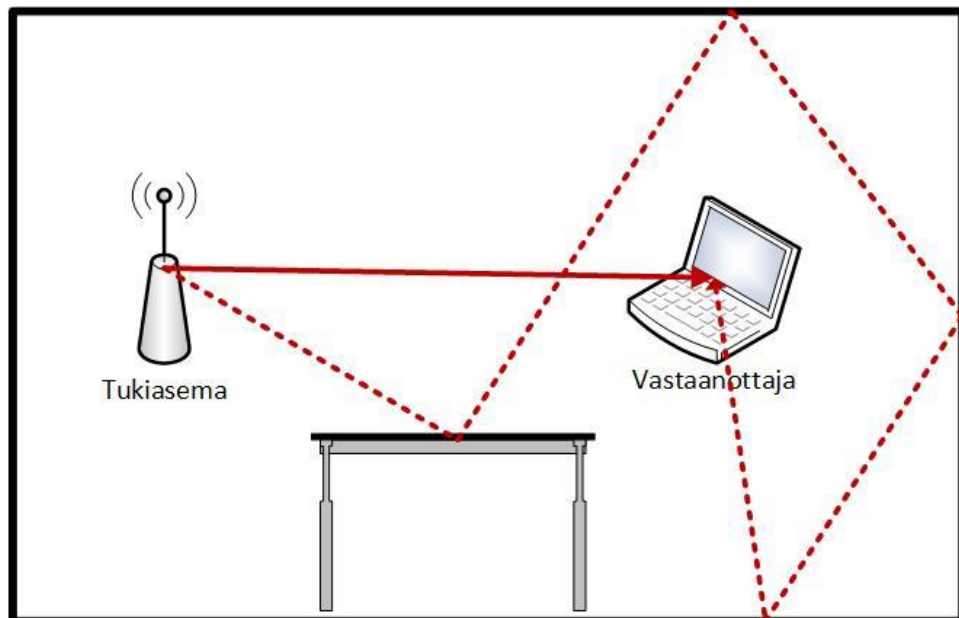
- Sirontaa tapahtuu kun säteily osuu partikkeleihin

Kuva 4. Havainnekuva WLAN-signaalin sironnasta sen osuessa partikkeliin, mukailtu [10, s.11].

Sironta vaikuttaa kahdella tavalla WLAN-verkkoihin. Ensimmäinen vaikutus on signaalin vahvuuden heikkeneminen ja laadun huonontuminen vastaanottajalla. Toinen ongelmallinen ympäristö on, jos signaali joutuu edetä epätasaisissa ympäristöissä, missä on paljon heijastuspintoja. Sironnalla voi olla suuri vaikutus verkon suorituskykyyn. [10, s. 11.]

3.4 Monitie-eteneminen

Monitie-etenemistä tapahtuu, kun signaali hajoaa osiin ja päätyy eri reittejä kohteeseen. Signaali voi esimerkiksi kimmota kovista pinoista ja näin saavuttaa epäsuorasti kohteensa. Monitie-etenemisestä aiheutuvan viiveen takia signaali voi korruptoitua. Signaalin vastaanottaja voi tehdä virheitä purkaessaan lähetettyä dataa. [8.] Yksi tapa estää edellä mainitun ongelman esiintymistä on prosessoida data vasta, kun kaikki signaalin osat ovat saapuneet vastaanottajalle ja data on stabiilia. Siirtonopeudet hidastuvat odottaessa datan saapumista, mutta se estää datan korruptoitumisen ja minimoi virheiden väärän bittitasolla. Kuvassa 5 havainnollistetaan monitie-etenemistä tukiaseman ja vastaanottajan välillä. [9.]

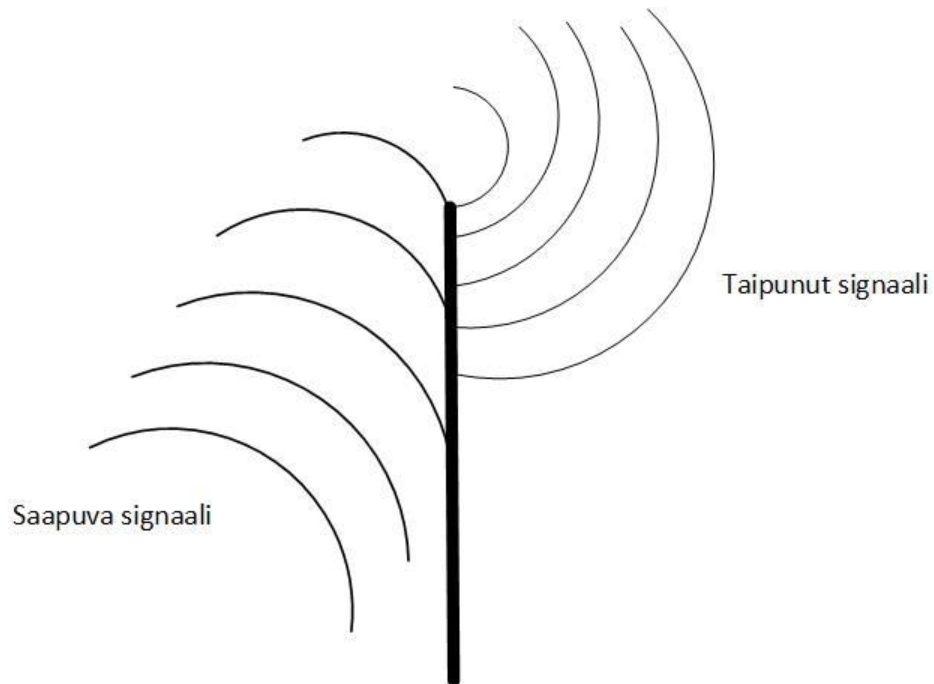


Kuva 5. Havainnekuva WLAN-signaalin monitie-etenemisestä, mukailtu [8].

Erilaisilla antenniratkaisulla, esimerkiksi MIMO-tekniikalla, voidaan ratkaista monitie-etenemisestä aiheutuvia ongelmia ja jopa hyödyntää sitä [9].

3.5 Taipuminen (diffraktio)

Taipumista tapahtuu, kun radioaalto ei pysty läpäisemään estettä. Yleensä aalto taipuu esteestä sen taakse. Ulkoympäristöissä radioaaltojen taipuminen aiheuttaa haasteita. [11.] Kuvassa 7 havainnollistetaan RF-signaalin taipumista esteestä.



Kuva 6. Havainnekuva signaalin taipumisesta kohdatessaan esteen.

Aalto, joka muodostuu esteen taakse, menettää tehoaan. Mitä korkeampi taajuus aallolla on, sitä enemmän tehoa häviää. [11.]

4 WLAN-taajuusalueet

Langattomat lähiverkot käyttävät pääosin 2,4 ja 5 GHz:n taajuusalueita. Kumpikin näistä taajuusalueista on erikseen jaettu kanaviin. 2,4 GHz:n taajuusalue on 100 MHz leveä, kattaa taajuudet 2,4 GHz:stä 2,5 GHz:iin ja on ollut käytetyin taajuusalue. Uudemmat päätelaitteet, joissa on nykyaikaiset 802.11-verkkokortit, pystyvät hyödyntämään 5 GHz:n taajuusaluetta. Tämän takia 2,4 GHz:n käyttö on vähentynyt, mutta taajuusalue

on vieläkin erittäin ruuhkainen. WLAN-laitteiden lisäksi 2,4 GHz:n taajuusaluetta käyttävät myös muut laitteet esimerkiksi mikroaaltouunit, langattomat kotipuhelimet, vauvojen itkuhälyttimet, langattomat lähettimet ja langattomat videokamerat. Lisäksi, toiset RF-signaaleja hyödyntävät teknologiat käyttävät myös 2,4 GHz:n taajuusaluetta, esimerkiksi Bluetooth ja Zigbee. [12, kpl 6.]

WLAN-verkot, jotka toimivat tarkemmin säädellyllä 5180-5745 GHz:n taajuusalueella, pystyvät hyödyntämään paljon enemmän eri kanavia kuin 2,4 GHz:n WLAN-verkot. 5180-5745 GHz:n taajuusalue on lajiteltu kolmeen Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) -taajuusalueisiin. [12, kpl 6.]

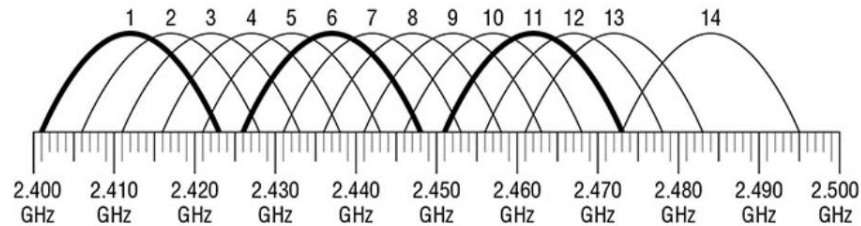
4.1 Kanavat

2,4 GHz:n taajuusalue on jaettu 14:sta eri kanavaan, mutta osaa kanavien käytöstä on rajoitettu eri maissa [12, kpl 6]. Taulukossa 2 on kuvattu, kuinka 2,4 GHz:n taajuusalueet on jaettu.

Taulukko 2. 2.4 GHz:n taajuusalueen jako kanavittain, mukailtu [12, kpl 6].

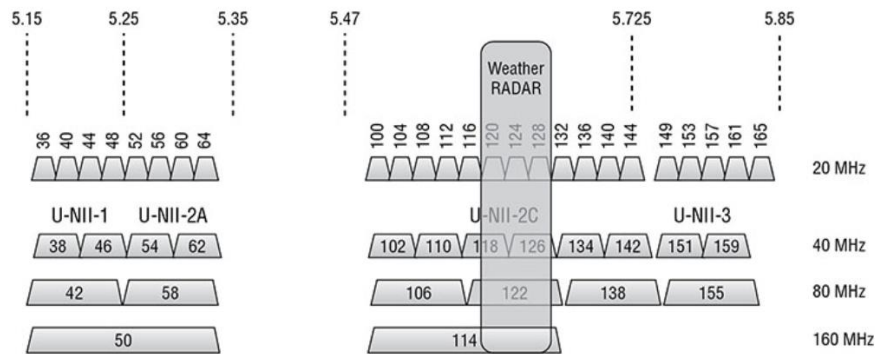
Kanava	Keskitaajuus (GHz)	USA	Kanada	Eurooppa
1	2.412	X	X	X
2	2.417	X	X	X
3	2.422	X	X	X
4	2.427	X	X	X
5	2.432	X	X	X
6	2.437	X	X	X
7	2.442	X	X	X
8	2.447	X	X	X
9	2.452	X	X	X
10	2.457	X	X	X
11	2.462	X	X	X
12	2.467			X
13	2.472			X
14	2.484			

2,4 GHz:n taajuusalueella kanavat ovat 22 MHz leveitä. Kanavien taajuus ilmoitetaan yleensä keskitaajuuden mukaan, kuten taulukossa 2 on esitetty. Kanavan leveys saadaan keskitaajuus ± 11 MHz. Esimerkiksi kanava 1 kattaa taajuudet 2,401 GHz:stä 2,423 GHz:iin. Jokaisen kanavan välillä on vain 5 MHz eroa. Tästä seuraa, että kanavat menevät toistensa päälle. 2,4 GHz:n taajuusalueella on vain kolme kanavaa, jotka ovat tarpeeksi erillään toisistaan ja taajuuksien päällekkäisyyksiä ei synny. Nämä kanavat ovat 1, 6 ja 11. Kuvassa 7 esitellään 2,4 GHz:n taajuusalueen kanavat. [12, kpl 6.]



Kuva 7. Havainnekuva 2,4 GHz:n taajuusalueen kanavista [12, kpl 6].

IEEE-standardit 802.11n, 802.11ac ja 802.11ax lähettävät 5 GHz:n taajuusalueella U-NII-1, U-NII-2A-, U-NII-2C- ja U-NII-3-kaistoilla. Interferenssin estämiseksi jokaisen kaistan välillä on ylimääräinen suojakaista (guard band). 5 GHz:n taajuusalueella kanavat ovat 20 MHz:n päässä toisistaan kanavien keskitaajuuksien suhteen. 802.11-radioiden, jotka toimivat U-NII-2 radiotaajuudella on käytettävä dynaamista taajuuden valintaa (DFS). U-NII-2-radiotaajuutta käyttävät WLAN-laitteiden lisäksi esimerkiksi tutkat, joita havaitessaan tukiasemat joutuvat siirtymään pois kanavilta. Tukiaseman havaitessa tutkan sen tulee lopettaa kanavan käyttö 30 minuutiksi. Seuraavaksi tukiasema seuraa jostain muuta kanavaa vähintään yhden minuutin ennen kanavan vaihtoa. DFS-kanavat ovat tärkeitä ottaa huomioon kanavasunnittelussa, koska esimerkiksi tutkapyyhkäisyt näkyvät käyttäjillä katkoksina yhteyksiin. [12, kpl 6.] Kuvassa 8 on esitelty 5 GHz:n taajuusalueen kanavat.



Kuva 8. 5 GHz:n taajuusalueen kanavat [12, kpl 6].

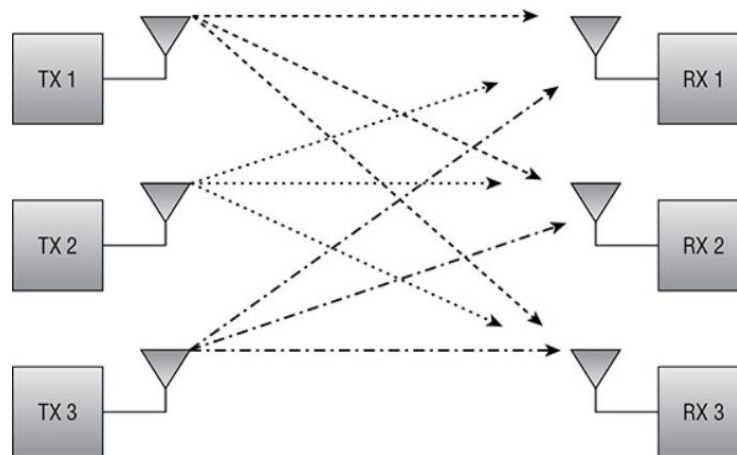
5 GHz:n taajuusalue mahdollistaa myös leveämpien 40, 80 ja 160 MHz:n kaistanleveyksien käytön. Suurempia kaistanleveyksiä voidaan hyödyntää kanavasunnittelussa. [12, kpl 6.]

4.2 Lähetystekniikat

Lähiverkoissa käytetään pääosin kahta eri törmäyksenestoprotokollaa Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) ja Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). CSMA/CD-tekniikkaa hyödynnetään 802.3-ethernet-lähiverkoissa ja 802.11-WLAN-verkot hyödyntävät CSMA/CA-tekniikkaa. Ethernet-lähiverkoissa lähettäjä varmistaa, että vastaanottaja ei lähetä samaan aikaan. Jos törmäys havaitaan, lasketaan satunnainen odotusaika, jonka jälkeen yritetään lähettää uudeksi. WLAN-verkot eivät pysty lähettämään ja vastaanottamaan dataa samaan aikaan, joten törmäyksen havaitseminen on mahdotonta lähettämisen aikana. Tästä syystä WLAN-verkot käyttävät CSMA/CA-vuoronvarausta törmäyksenestossa. CSMA/CA-vuoronvarauksella pyritään varmistamaan vain yhden WLAN-radion lähetyksen kerrallaan lähiverkossa. Lähettämisen yhteydessä jokaisen laitteen on ensin kuunneltava kanavaa varmistaa, että kanava on vapaa. Tämä prosessi ei ole kuitenkaan aukoton, vaan törmäyksiä tapahtuu. [12, kpl 6.]

4.3 MIMO

Multiple-in/Multiple-out (MIMO) on WLAN-tekniikka, jossa lähetyksessä ja vastaanotossa hyödynnetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia. Vanhemmissa 802.11-lähiverkoissa monitie-eteneminen on aiheuttanut ongelmia, mutta MIMO-radiot pystyvät hyödyntämään sitä. Sisätiloissa useat eri MIMO-radion lähettämät RF-signaalit saapuvat MIMO-vastaanottajalle monia eri reittejä. [12, kpl 10.] Kuvassa 9 havainnollistetaan, miten sama signaali saapuu lähettäjältä vastaanottajalle hyödyntämällä MIMO-tekniikkaa.



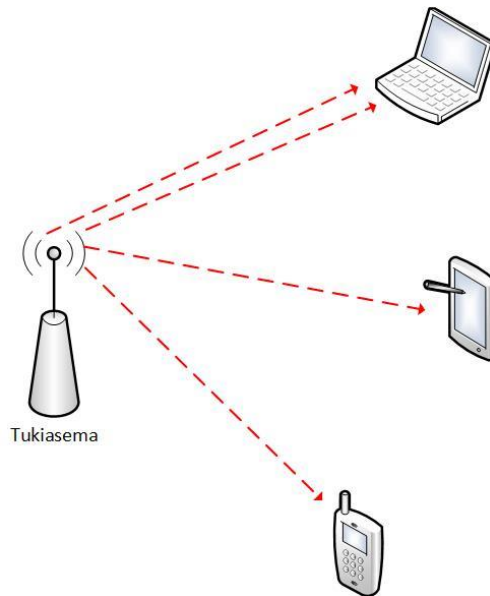
Kuva 9. Havainnekuva MIMO-tekniikasta ja monitie-etenemisen hyödyntämisestä [12, kpl 10].

Lähettämällä useampaa datavirtaa samanaikaisesti spatial multiplexing (SM) -tekniikalla mahdollistaa korkeammat siirtonopeudet. MIMO-tekniikkaa hyödyntämällä voidaan myös saavuttaa parempi kantama RF-signaaleille ja lisätä verkon luotettavuutta. [12, kpl 10.]

Vanhat 802.11-radiot lähettivät ja vastaanottivat RF-signaaleja käyttämällä Single-in/Single-Out (SISO)-tekniikkaa. SISO-järjestelmät käyttävät yhtä radioketjua (radio chain). MIMO-järjestelmä muodostuu useasta radioketjusta. MIMO-järjestelmä kuvataan lähettimien ja vastaanottimien lukumäärällä. Esimerkiksi 3x3 MIMO-järjestelmä koostuu kolmesta radioketjusta, jossa on kolme lähetintä ja kolme vastaanotinta. Järjestelmän virrankäyttö lisääntyy antennien määrän suhteen. [12, kpl 10.]

MIMO-tekniikka mahdollistaa myös usean uniikin datavirran lähettämisen samanaikaisesti. Jokainen datavirta voi sisältää dataa, joka on erilaista muiden saman lähetyksen datavirtojen kanssa. Hyödyntämällä useita eri datavirtoja verkon siirtonopeutta saadaan parannettua merkittävästi. MIMO-tukiasema, joka lähettää esimerkiksi kahden datavirran avulla, pystyy käytännössä kaksinkertaistamaan siirtonopeuden. Datavirtojen määrää ei tule kuitenkaan sekoittaa lähettimien määrään. MIMO-järjestelmiä kuvatessa on tärkeää ilmoittaa, kuinka monta datavirtaa järjestelmä pystyy lähettämään ja vastaanottamaan. Useimmat WLAN-valmistajat ilmoittavat MIMO-järjestelmän kolminumeroisella syntaksilla, esimerkiksi 3x3:2. Ensimmäinen numero kuvaa lähettimien määrän, toinen vastaanottimien määrän ja kolmas datavirtojen määrän. Lähettävällä ja vastaanottavalla laitteella tulee olla samanlainen MIMO-konfiguraatio, jotta kaikkia datavirtoja pystytään hyödyntämään. Esimerkiksi 3x3:3 MIMO-tukiasema ei pysty kommunikoida 2x2:2 päätelaitteen kanssa hyödyntämällä kaikkia kolmea datavirtaansa, vaan kommunikointi tapahtuu 2x2:2-MIMO-konfiguraatiolla. [12, kpl 10.]

Osa 802.11ac tukiasemista pystyy hyödyntämään Multi-User MIMO (MU-MIMO) -tekniikkaa. 802.11ac tukiasema voi kommunikoida samanaikaisesti neljän eri päätelaitteen kanssa. MU-MIMO- tai MIMO-tekniikka yleensä nostaa päätelaitteen hintaa ja lisää virrankulutusta, joten yleisimmät päätelaitteet, esimerkiksi älypuhelimet, tukevat vain yhtä datavirtaa. MU-MIMO-tekniikan tarkoituksena on hyödyntää kaikki datavirrat, mitä tukiasemassa on saatavilla. Datavirtojen käyttö voi kohdistua yhteen päätelaitteeseen tai useampaan. Kuvassa 10 on tukiasema, jonka MIMO-konfiguraatio pystyy hyödyntämään neljää datavirtaa. Tukiasema lähettää kahdella datavirralla kannettavaan, kolmannella tablettiin ja neljännellä älypuhelimeen. [12, kpl 10.] Kuvassa 10 havainnollistetaan MU-MIMO-tukiaseman toimintaa.



Kuva 10. Havainnekuva MU-MIMO 802.11ac tukiasemasta ja datavirtojen hyödyntämisestä päätelaitteiden välillä, mukailtu [12, kpl 10].

MU-MIMO-tekniikkaa hyödyntäessä on tärkeää huomioida, että 802.11ac tukee MU-MIMO-tekniikkaa vain lataussuuntaan eli tukiasemalta päätelaitteille [12, kpl 10].

5 WLAN-suunnittelu

WLAN-suunnittelu mahdollistaa sujuvamman, turvallisemman ja tehokkaamman verkon käytön. Toteutustapoja on monenlaisia. Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon kuuluvuus, kapasiteetti, WLAN-verkon käyttötarkoitus, roaming ja kanvasuunnittelu.

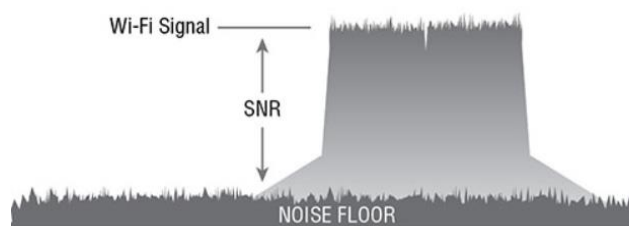
5.1 Kuuluvuus

Suunnitellessa WLAN-verkkoa ensimmäinen asia, jota mietitään, on yleensä kuuluvuus eli alue, minkä langattoman verkon halutaan kattavan. WLAN-verkoilla on tärkeää toteuttaa asiakkaille tai käyttäjille hyvät siirtonopeudet ja päätelaitteiden saumaton siirtyminen (roaming) tukiasemien välillä. [12, kpl 13.] Suositeltu signaalin voimakkuus on vähintään -67 dBm äänen ja videon siirtoa varten. Kuuluvuuteen vaikuttaa signaalin voimakkuuden lisäksi päätelaitte, WLAN-ympäristö ja tukiasemien lähetysteho. Taulukossa 3 kuvataan signaalin voimakkuuden arvoja.

Taulukko 3. Signaalin voimakkuuden arvoja.

Signaalin laatu	Signaalin voimakkuus (dBm)
Täydellinen	-30
Erinomainen	-40
Erinomainen/Hyvä	-50
Hyvä	-60
Kohtalainen	-70
Heikko	-80
Erittäin heikko	-90
Taustakohina (noise floor)	-95

Taustakohinan voimakkuus on yleensä -95 dBm:n ja -105 dBm:n välillä riippuen tarkastellaanko 2.4 vai 5 GHz:n taajuusalueita. Tästä syystä on hyvä tähdätä vähintään -67 dBm kuuluvuuteen koko alueella, jonka WLAN-verkon halutaan peittävän. Signaali-kohinasuhteella (SNR) kuvataan hyöty- ja kohinasignaalin tehojen suhdetta. Jos hyöty- ja kohinasignaalin amplitudit ovat liian lähellä toisiaan hyötysignaalin erottaminen on käytännössä mahdotonta. Dataa ei pystytä erottamaan kohinasta, vaan paketteja joudutaan lähettämään uusiksi. Tämä näkyy käyttäjille verkon toimimattomuutena ja huonona käyttökokemuksena. Yritysmailmassa olisi hyvä tähdätä 25 dB:n signaali-kohinasuhteeseen, jolloin pystytään hyödyntämään tehokkaampia modulaatiotekniikoita, varmistetaan datan eheys ja varmistetaan, että käyttäjien laitteet pystyvät käyttämään mahdollisimman hyviä siirtonopeuksia. Kuvassa 11 havainnollistetaan hyötysignaalin ja kohinasignaalin tehojen suhdetta, joiden erotuslaskulla saadaan SNR:n arvo. [12, kpl 13.]



Kuva 11. Havainnekuva signaali-kohinasuhteesta [12, kpl 13].

Voice over WiFi (VoWiFi) ovat herkempiä OSI-mallin tason kaksi uudelleenlähetyksille kuin toisenlaisen WLAN-liikenne. Signaalin voimakkuutta käsitellessä on hyvä muistaa, että 3 dB:n häviö puolittaa signaalin voimakkuuden. Esimerkiksi -70 dBm:n signaali on puolet -67 dBm:n signaalin tehosta. [12, kpl 13.]

Päätelaitteet pystyvät kommunikoimaan huomattavasti heikommalla signaalilla kuin -67 dBm. Signaalin laatu suhteessa on suorassa suhteessa etäisyyteen tukiasemasta. Päätelaitteen siirtyessä kauemmas tukiasemasta sekä tukiasema että päälaite siirtyvät käyttämään hitaampia siirtonopeuksia ja yksinkertaisempia modulaatiotekniikoita. Tätä prosessia kutsutaan dynamic rate switchingiksi (DRS). Siirtonopeudet nopeutuvat ja hidastuvat riippuen päätelaitteen ja tukiaseman etäisyydestä. DRS-tekniikan toteuttamiseen ei ole mitään yleistä standardia, vaan laitevalmistajat käyttävät omia raja-arvojaan DRS-tekniikan implementoinnissa. Jos DRS-tekniikkaa on tarkoitus käyttää, täytyy huomioida, että ominaisuus on käytössä vain, jos tukiasemilla on sallittu hitaammat siirtonopeudet. Matalat siirtonopeudet eivät ole yleensä moderneissa WLAN-verkoissa haluttuja, koska näkyvät käyttäjille yhteyksien hitautena ja laskevat tukiaseman suorituskykyä esimerkiksi lähetyksien pituuden kasvun takia. [12, kpl 13.] Monissa WLAN-verkoissa onkin asetettu vähimmäissiirtonopeus, jonka päätelaitteiden täytyy saavuttaa, pystyäkseen liikennöidä verkossa. Hitaiden yhteyksien estämisellä päälaite pakotetaan päätelaitteen siirtyminen huonon kuuluvuuden alueelta uudelle tukiasemalle.

5.2 Lähetysteho

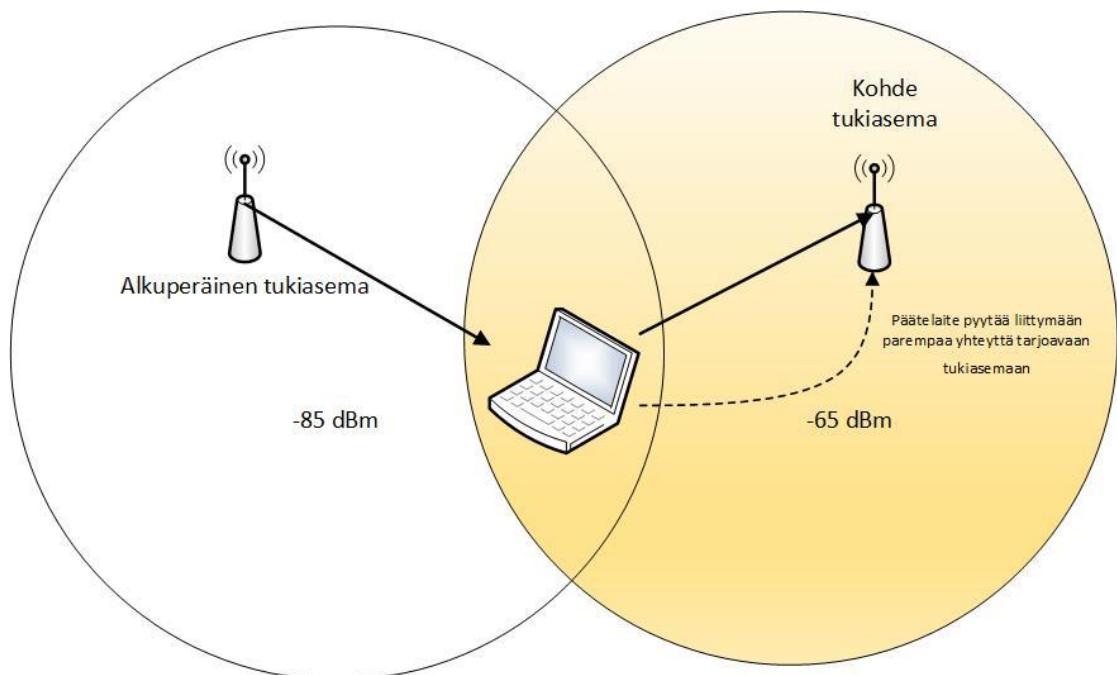
Tukiasemien lähetystehon säätämisellä on suuri vaikutus WLAN-verkon kuuluvuuteen ja roamingin toimintaan. Monet sisätiloihin suunnitellut tukiasemat pystyvät jopa 100 mW:n lähetystehtoon, mutta täyden lähetystehon käyttäminen on erittäin harvoin suositeltavaa. Suuri lähetysteho kasvattaa luonnollisesti, kuinka pitkälle päätelaitteet kuulevat tukiaseman, mutta tämä ei ole nykyaikainen tapa toteuttaa WLAN-verkkoja. Tukiasemat, joiden lähetysteho on täydellä teholla, saattavat lisätä viereisten kanavien häiriötä (co-channel interference) ja heikentää roamingin toimimista. Käyttäjän päätelaite kuulee tukiaseman pitkään etäisyyden päästä ja syntyy niin sanottu ”sticky client” -ongelma eli käyttäjän päätelaite ei vaihda tukiasemaa, kuten olisi toivottua. Sisätiloissa tukiasemien lähetysteho säädetään yleensä yhteen neljäsosaan tai yhteen kolmasosaan täydestä lähetystehosta. [12, kpl 13.]

Lähetystehojen säätämisessä on hyvä ottaa huomioon myös käyttäjien päätelaitteet. Ideaalitulanteessa tukiaseman ja päätelaitteen lähetystehot ovat samat. Usein kuitenkin käyttäjien laitteet lähettävät suuremmalla teholla kuin tukiasemat. Suuremmalla teholla

lähettäminen ja käyttäjien liikkuvuus WLAN-verkon alueella aiheuttaa viereisten kanalien häiriöitä. Tähän ongelmaan on kehitetty transmit power control (TPC) -tekniikka. Tukiasema ilmoittaa päätelaitteelle, millä teholla se lähettää ja päätelaite säätää oman lähetystehonsa vastaamaan tukiaseman lähetystehoa. WLAN-verkon suunnittelussa on hyvä aloittaa matalasta lähetystehosta ja säätää tarpeen mukaan suuremmaksi. [12, kpl 13; 13.]

5.3 Roaming

Roaming eli laitteiden siirtyminen tukiasemalta toiselle on elintärkeää WLAN-verkon käyttökokemuksen takia. Hyvin suunnitellussa WLAN-verkossa käyttäjät voivat liikkua vapaasti huomaamatta yhteyden katkeilua tai muita ongelmia. Päätelaitteet tekevät aloituksen tukiaseman vaihdosta. Roamingissa on laitevalmistajakohtaisia eroja. Tukiasemaa vaihdetaan yleensä signaalin voimakkuuden, häiriöiden tai lähetysvirheiden takia. [14.] Kuvassa 12 on havainnollistettu roaming-prosessi päätelaitteen kannalta.

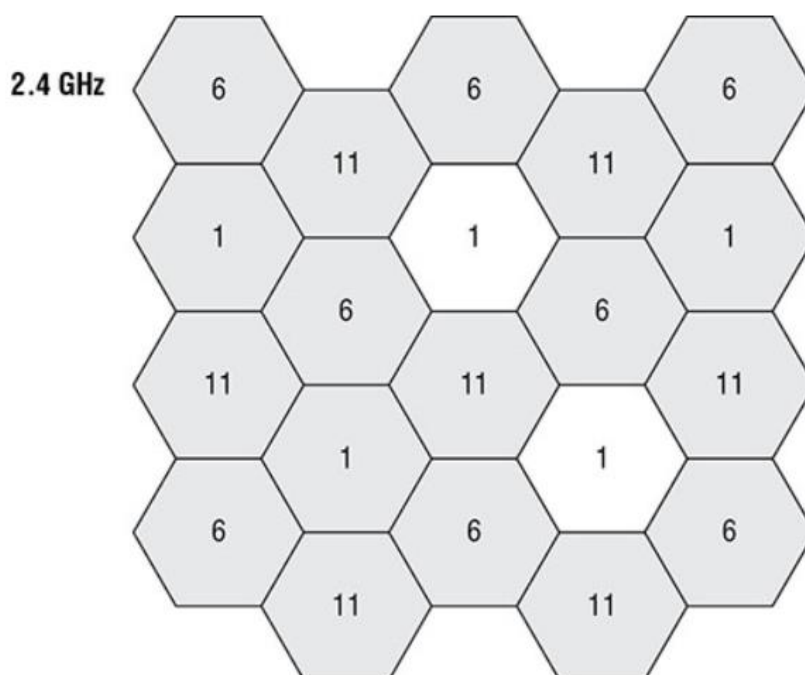


Kuva 12. Havainnekuva käyttäjän päätelaitteen siirtymisestä tukiasemalta toiselle, mukailtu [12, kpl 13].

WLAN-verkko on tärkeää suunnitella roamingin parhaan toimivuuden kannalta siten, että tukiasemien -70 dBm solut ovat 15-30 prosenttia päällekkäin. Roaming ei välttämättä toimi halutusti, jos päällekkäisyyttä ei ole. Huomioitavaa on myös, että suuri solujen päällekkäisyys tuottaa myös ongelmia. [12, kpl 13; 14.] Päällekkäisyyden suunnittelu voi olla hankalaa, koska solut eivät ole oikeassa ympäristössä kuvan 12. mallisia pyöreitä alueita, vaan alueet muotoutuvat ympäristön mukaan. [12, kpl 13.]

5.4 Kanvasuunnittelu

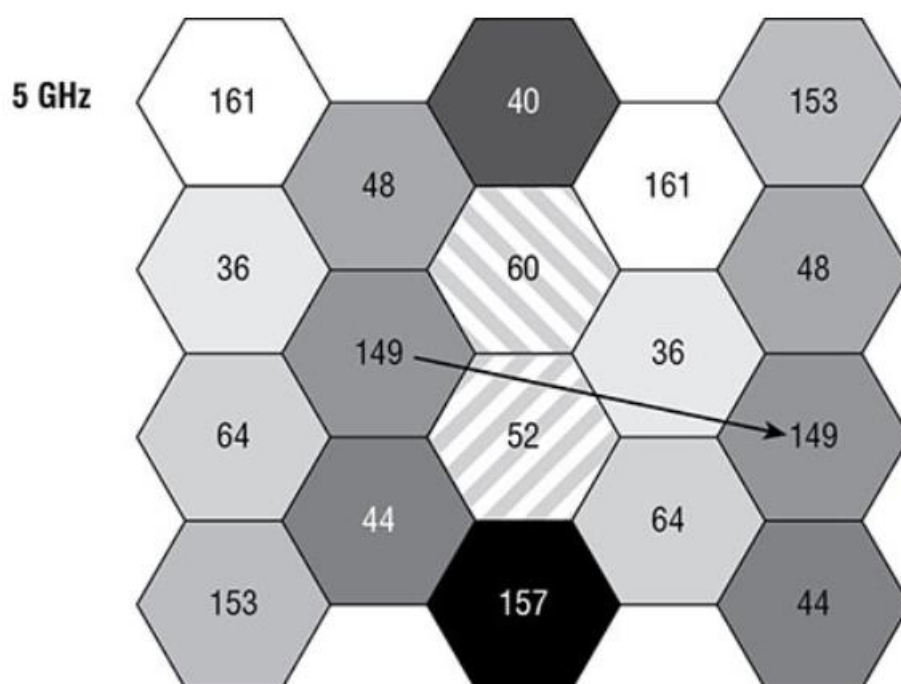
Viereisten kanavien häiriöitä välttääkseen kanvasuunnittelu on tärkeää. Tukiasemasolujen päällekkäisyyttä tarvitaan roamingin takia, mutta samojen taajuuksien käyttöä vierekkäisillä tukiasemilla tulisi välttää. [12, kpl 13.] Kuvassa 13. on esimerkki 2,4 GHz:n taajuuden kanvasuunnitelmasta.



Kuva 13. 2,4 GHz:n kanavien kanvasuunnitelma [12, kpl 13].

Yhdessä kerroksessa olevien tukiasemien kanvasuunnittelu on 2,4 GHz:n taajuusalueella melko suoraviivaista. Useassa kerroksessa täytyy ottaa huomioon, että tukiasema kerrosta ylempänä samassa kohtaa ei ole samalla kanavalla. [12, kpl 13.]

5 GHz:n taajuusalueella kanavasunnittelu on samankaltaista kuin 2 GHz:n taajuusalueella, mutta käytettävissä olevia kanavia on merkittävästi enemmän. Riippuen manteereista ja kanavien lisensoinnista, esimerkiksi 8, 12, 17, 22 kanavasunnitelmat ovat mahdollisia. Mahdollisuuksien mukaan on syytä käyttää, niin montaa kanavaa kuin mahdollista vähentääkseen CCI:stä aiheutuvia ongelmia. DFS-kanavien käyttö on myös yleensä suositeltavaa, jos tutkapyyhkäisyjä havaitaan, niin ongelmalliset kanavat voidaan WLAN-kontrollerilla poistaa käytöstä. [12, kpl 13.] Kuvassa 14 havainnollistetaan, miten 5 GHz:n kanavia voitaisiin mahdollisesti käyttää.



Kuva 14. 5 GHz:n taajuusalueen kanavasunnitelma. Samaa kanavaa käyttävien solujen välissä tulisi olla kaksi muuta eri kanavalla olevaa solua. [12, kpl 13.]

5.5 Kapasiteetti

WLAN-suunnittelu, myös kapasiteetin suhteen, on muuttunut merkittävästi alkuajoista. Nykypäivänä WLAN-verkkoja ei enää suunnitella pelkästään kantaman ja kuuluvuuden perusteella. Useimmat WLAN-verkot suunnitellaan käyttäjien kapasiteetin mukaan. Kuuluvuuttakaan ei voi täysin unohtaa. On hyvä tähdätä yritysmaailmassa -67-70 dBm kuuluvuuteen. Lähetystehojen hiominen ympäristölle sopivaksi on tärkeää WLAN-solukokojen pienentämiseksi. Nyrkkisääntönä voidaan pitää seuraavaa: suuri solukoko tarkoittaa

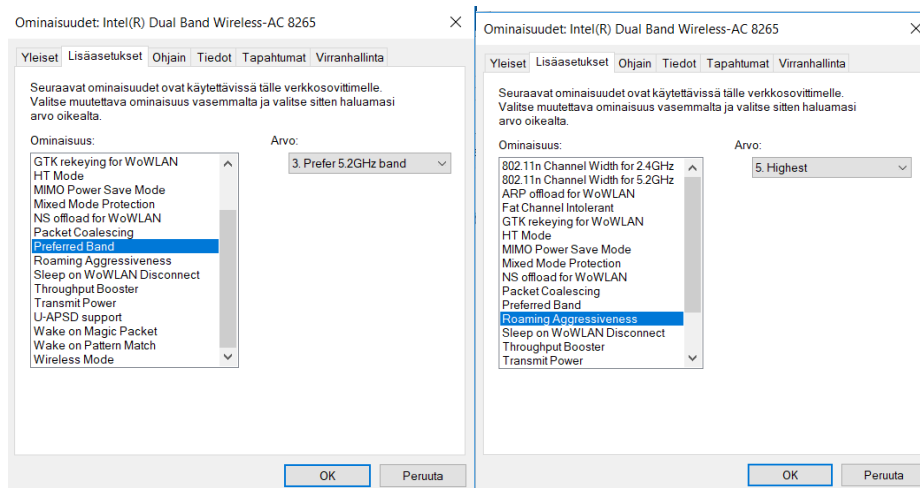
laajaa palvelualueita, mutta hitaampia siirtonopeuksia. Pieni solukoko tarkoittaa pientä palvelualueita, mutta nopeampia siirtonopeuksia. [12, kpl 13.]

Kapasiteetin suunnittelussa esiintyy usein termit high density (HD) ja very high density (VHD). Lähes kaikki WLAN-verkot ovat nykypäivänä HD-ympäristöjä. Käyttäjät liittyvät verkkoon yleensä 1-4 eri laitteella. HD-ympäristöissä on tärkeää, että roaming toimii saumattomasti. Tukiasemat ovat yleensä asennettu useaan eri huoneeseen, joiden seinät vaimentavat signaalin voimakkuutta ja WLAN-solukoko pysyy pienenä. VHD-ympäristöt ovat yleensä auditorioita, kahviloita tai muita suurempia avoimia tiloja, joiden suunnittelu on erilaista kuin esimerkiksi toimiston WLAN-verkon. VHD-tiloissa tukiasemat ovat yleensä näköyhteydessä toisiinsa, joten kanavas suunnittelun ja lähetystehojen optimoinnin tärkeys korostuu. Lisäksi on vielä ultra high density (UHD) -ympäristöjä, jossa tukiasemaan voi yhdistyä satoja päätelaitteita. Tällaisia ympäristöjä ovat esimerkiksi stadionit. [12, kpl 13.]

Käyttäjäprofiiliin lisäksi on huomioitava, minkälainen liikenneprofiili WLAN-verkossa on. Laittevalmistajat saattavat ilmoittaa, että tukiasema voi palvella sataa käyttäjää. Jos käyttäjät selaavat kevyesti internetiä ja käyttävät sähköpostia, vähemmällä määrällä tukiasemia saattaa hyvinkin pärjätä. Kuitenkin monesti käyttäjien tarvitsee katsoa esimerkiksi HD-laatuista videoita tai käyttää muita enemmän siirtonopeutta vaativia sovelluksia. Silloin on tärkeää sijoittaa enemmän tukiasemia, jotta käyttäjät jakautuvat paremmin tukiasemien kesken ja yksittäisen tukiaseman kapasiteetti ei ylitä niin todennäköisesti. Käyttäjien määrän kasvu on myös hyvä ottaa huomioon verkkoa suunnitellessa. Lähiverkoissa tulisi aina olla kasvuvaraa tulevaisuutta varten. [12, kpl 13.]

Käyttäjiä voidaan jakaa 2,4 ja 5 GHz:n taajuusalueille. Yleisesti 2,4 GHz:n taajuusalue on erittäin ruuhkainen ja sen käyttäminen tulisi välttää varsinkin yritysverkoissa. Monet päätelaitteet yhdistävät 2,4 GHz:n taajuudella mainostettavaan verkkoon, varsinkin jos verkkojen SSID on sama. Päätelaite laite valitsee verkon signaalin voimakkuuden perusteella ja 2,4 GHz:n taajuusalueella se on yleensä suurempi. Laittevalmistajat ovat kehittäneet tämän ongelman ratkaisemiseksi band steering -tekniikan eli käyttäjä ohjataan 5 GHz:n taajuusalueelle 2,4 GHz:n sijaan. Band steering -tekniikka ei ole IEEE 802.11 -standardi. Kaikki band steering -tekniikat ovat tällä hetkellä laitevalmistajakohtaisia. Laite lähettää liittymispyynnön tukiasemalle, ja tukiasema ohjaa laitteen 5 GHz:n radiolle. Yrityksen

työasemien ylläpitäjien on suositeltavaa asettaa päätelaitteiden roaming-asetus korkealle ja päätelaitteiden olisi syytä suosia 5 GHz:n taajuusalueetta. [12, kpl 13.] Kuvassa 15 esitetään, miten Windows-päätelaitteen WLAN-verkkokortin asetuksilla voidaan vaikuttaa taajuusalueeseen sekä roamingiin.



Kuva 15. Esimerkki Windows-päätelaitteen WLAN-asetuksista.

Harkitessa band steeringin -tekniikan käyttöä omassa ympäristössä on syytä ensiksi tarkkailla kontrollerilta, mihin taajuusalueeseen käyttäjien laitteet yleensä liittyvät. Eräs toinen tapa on erotella käytettävissä olevat SSID:t toisistaan. Tuotannolle tärkeät SSID:t voidaan toteuttaa tukemaan vain 5 GHz:n taajuusalueetta ja muita laitteita, esimerkiksi IoT tai 802.11g/n, voidaan ohjata toiselle SSID:lle, joka on 2,4 GHz:n taajuusalueella. [12, kpl 13.]

5.6 Kartoitus

Kartoitus on tärkeä osa WLAN-verkkojen suunnittelua. Sillä saadaan selville, vastaako suunniteltu verkko asiakkaan tarpeita kuuluvuuden, siirtonopeuksien, palvelun laadun ja roamingin suhteen. Kartoitus sisältää yleensä käynnin asiakkaan tiloissa, jossa selvitetään mahdolliset häiriölähteet ja tukiasemien asennuspaikat. Asiakkaan on toimitettava kartoittavalle osapuolelle kiinteistön sähkökuvat. Tukiasemien sijoittelua saattaa hankaloittaa kiinteistön sisäkaapelointi ja ristikytkentäkaappien sijainti. Ristikytkentäkaappien täytyy olla alle 100 metrin päässä tukiasemasta. [12, kpl 14.]

Kuuluvuuskartoitukset tehdään yleensä jonkin sovelluksen avulla, esimerkiksi Ekahau Pro tai AirMagnet. Ohjelmaan lisätään kiinteistön pohjakuvat, ja mittaja kävelee kerrokset läpi. Mittauspisteet klikataan joko manuaalisesti tai GPS-paikannuksen avulla. Lopputuloksella saadaan kuva siitä, vastaako toteutus odotuksia ja puutteita voidaan tarvittaessa korjata. Mittaus voidaan tehdä passiivisella tai aktiivisella tavalla. Passiivisella mittauksella saadaan selville kuuluvuus, signaali-kohinasuhde, tukiasemien sijainnit, kanavat ja häiriölähteet. Aktiivisella mittauksella voidaan testata esimerkiksi verkon läpäisykykyä. [12, kpl 14.]

6 Virastotalon WLAN-verkon korjausprojekti

Asiakkaan kiinteistö oli todettu ongelmalliseksi WLAN-verkon kuuluvuuden osalta. Kiinteistöstä oli tullut useita palvelupyynnöitä toiminnanohjausjärjestelmään, joissa ilmoitettiin katvealueista ja WLAN-verkon hitaudesta. Nykyinen langaton verkko oli toteutettu kiinteistöön muutama vuosi sitten ja myös vanhat WLAN-verkot oli jätetty uuden rinnalle, koska lupaa niiden purkamiselle ei ollut aikaisemmin myönnetty. Vanhat tukiasemat liikennöivät lisäksi samoilla kanavilla kuin Valtorin asentamat tukiasemat. Kiinteistössä oli Aruban AP205-mallisia tukiasemia. Aruba AP205 -tukiasemat ovat IEEE 802.11ac -standardin mukaisia. Niissä on 2x2:2 MIMO-konfiguraatio ja pystyvät 867 Mb/s:n siirtonopeuteen. Aruba AP205 -tukiasemat ovat kontrolleripohjaisia. Tukiasemien lähetystehot on säädetty WLAN-kontrollerilla, ja kanavien valinta tapahtuu automaattisesti. [15.]

Kiinteistössä on erittäin paljon toimintaa, joten varsinkin 2,4 GHz:n taajuusalueen käyttäminen on todettu ongelmalliseksi. Alkutilanteen analysointi aloitettiin kuuluvuuskartoituksella kaikkiin seitsemään kerrokseen. Mittaus tehtiin Ekahau Pro -sovelluksella. Ohjelmaan lisättiin sähkökuvat kaikista kerroksista. Kiinteistön sähkökuville täytyy lisätä Ekahau Pro -sovelluksessa mittakaava. Sovelluksessa on scale-työkalu, jolla mittakaava asetetaan. Mittakaavan asettamisen jälkeen voidaan aloittaa varsinainen kuuluvuuskartoitus. Kuuluvuuskartoituksessa käytettiin sovelluksesta valmiiksi löytyvää Voice + data -kuuluvuusvaatimusta eli signaalin voimakkuuden raja-arvona oli -67 dBm. Mittauksessa käytettiin Lenovon tablettitietokonetta ja Ekahau Sidekick -mittauslaitetta.

Mittautulosten perusteella tehtiin suunnitelma uusien tukiasemien sijainneista. Vanhojen tukiasemien sijainnit saatiin myös kartoitettua mittauksen aikana ja sovittiin niiden

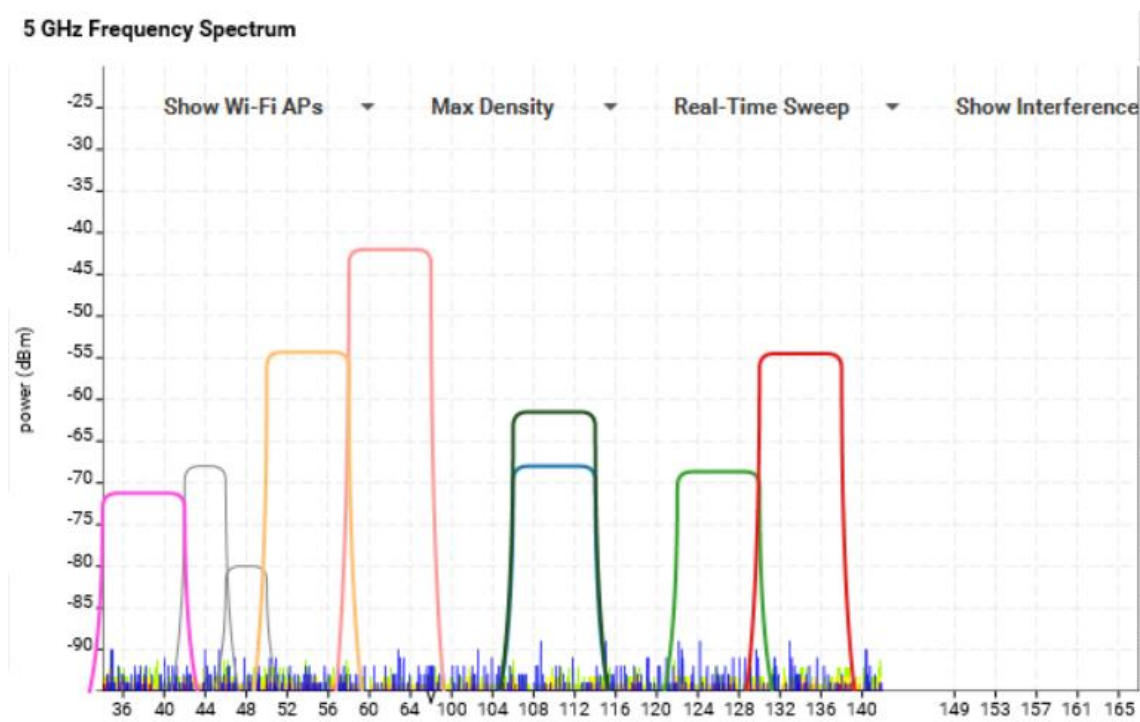
purkamisesta asiakkaiden edustajien kanssa. Tukiasemat saivat virtansa kytkimiltä Power over Ethernet (PoE) -tekniikan avulla. Kytkinportin konfiguraation täytyy olla oikein, jotta tukiasemat pääsevät WLAN-kontrollerille provisioitavaksi. Tukiasemien asentamista hankaloitti vaikeasti asennetut kattopaneelit sekä hieman virheelliset sähkökuvat.

Ensimmäiseen kerrokseen lisättiin kahdeksan tukiasemaa ja purettiin vanhat WLAN-verkot. Kuvassa 16 havainnollistetaan yhdestä mittauspisteestä otettujen tukiasemien ylikuulumista.



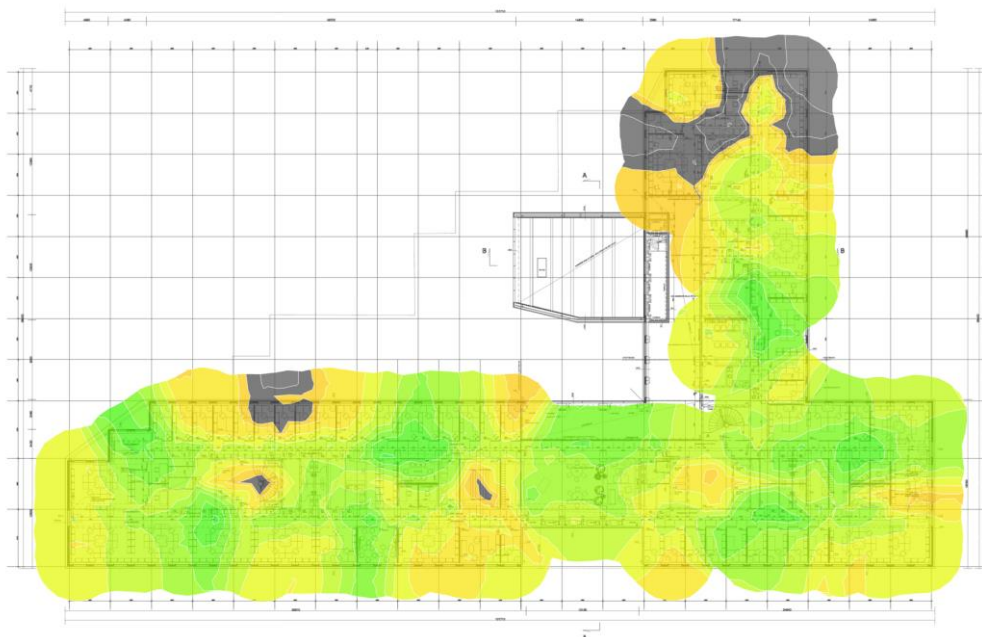
Kuva 16. 2,4 GHz:n taajuusalueen ylikuuluminen.

Kuvasta 16 huomataan että ylikuulumista on kanavilla 1, 5, 6 ja 11. Ylikuulumista saadaan vähennettyä purkamalla vanhat tukiasemat, mutta käyttäjien omiin WLAN-alueisiin ei voida vaikuttaa. 5 GHz:n taajuusalueessa ylikuulumista ei ollut kuin yhdellä kanavalla. Kuvassa 17 havainnollistetaan ylikuulumista yhdestä mittauspisteestä 5 GHz:n taajuusalueella.



Kuva 17. 5 GHz:n taajuusalueen ylikuuluminen.

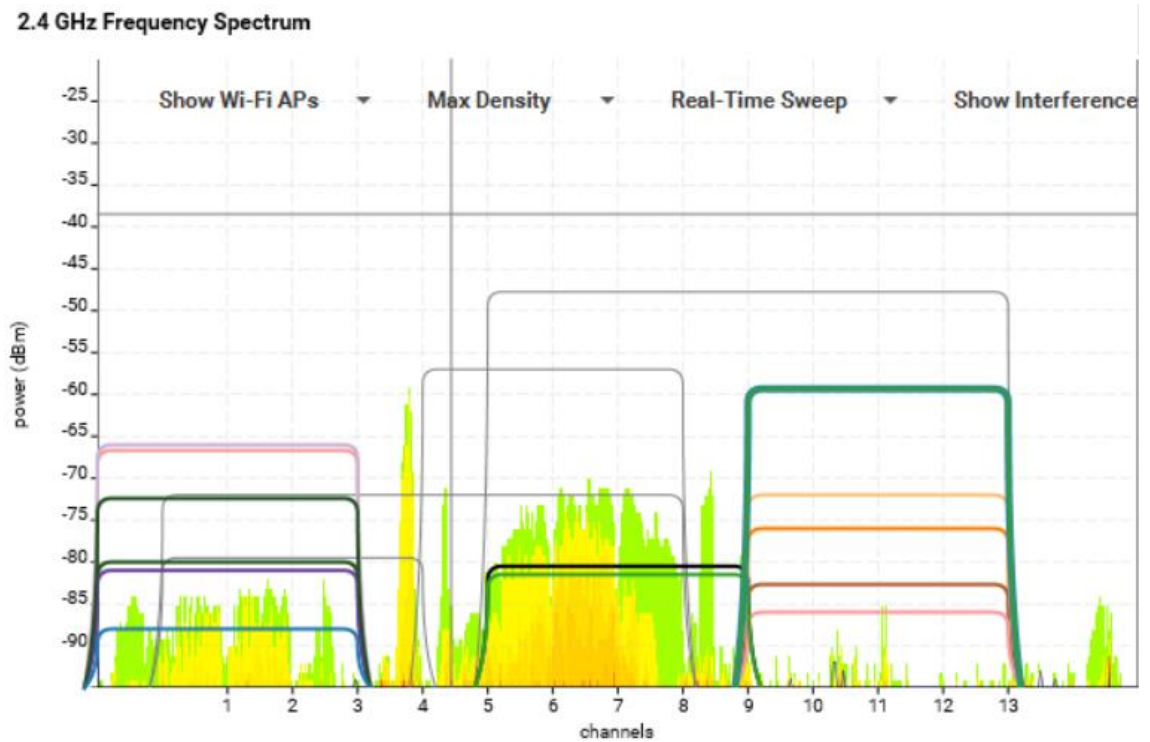
Asiakkaiden työasemat konfiguroitiin suosimaan 5 GHz:n taajuusaluetta, ja roaming aggressiveness asetettiin korkeimpaan arvoon. Toisessa kerroksessa havaittiin puutteita kuuluvuudessa pohjoissiivessä. Kuvassa 18 esitellään toisen kerroksen kuuluvuuskartta 5 GHz:n taajuusalueella.



Kuva 18. Toisen kerroksen kuuluvuuskartta 5 GHz:n taajuusalueella.

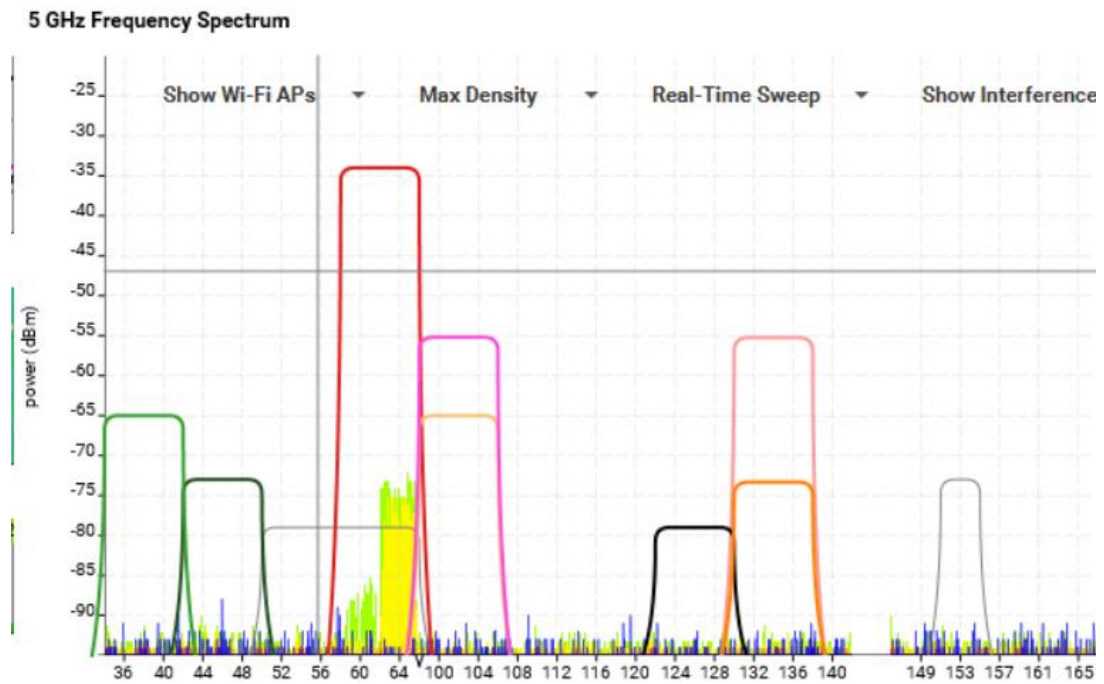
Kuvasta 18 havaitaan, että varsinkin pohjois- ja länsisiivessä on katvealueita WLAN:n kuuluvuudessa. Toiseen kerrokseen asennettiin kaksi tukiasemaa lisää korjaamaan puutteita kuuluvuudessa. Kolmannessa kerroksessa oli puutteita kuuluvuudessa ja sinne asennettiin viisi uutta tukiasemaa. Neljänteen kerrokseen asennettiin neljä uutta tukiasemaa korjaamaan katvealueita. Viidennen kerroksen kuuluvuus oli melko hyvä valmiiksi. Ainoa tila missä signaalin voimakkuus ei ollut vaatimuksen mukainen oli hissiaula. Hissiaulassa ei kuitenkaan ole käyttäjiä, joten tämä ei haitannut. Kuudenteen kerrokseen lisättiin kolme tukiasemaa. Seitsemänteen kerrokseen asennettiin kaksi tukiasemaa.

Ylikuuluvuutta saatiin korjattua hieman poistamalla vanhat WLAN-verkot. Vanhoja tukiasemia oli yhteensä kiinteistössä noin 10-20 kappaletta. 2,4 GHz:n taajuusalueella yli-kuuluvuutta oli silti korjauksien jälkeenkin erittäin paljon. Kuvassa 19. esitetään yhden mittauspisteen tukiasemien yli-kuuluvuutta 2,4 GHz:n taajuusalueella samassa kerroksessa, kuin kuvassa 16.



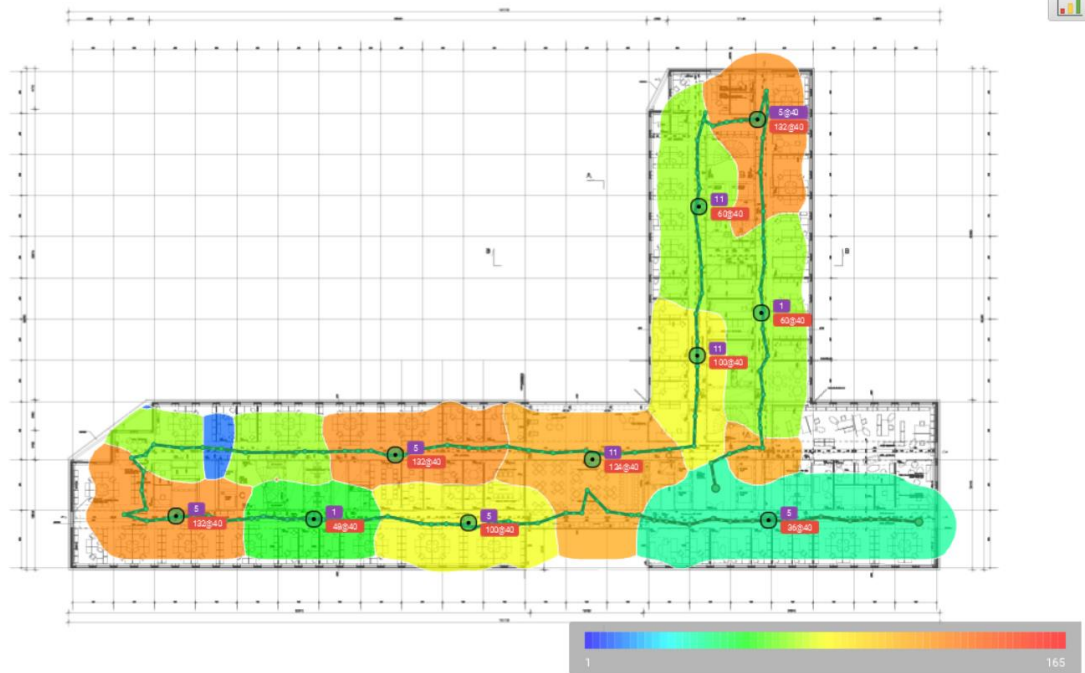
Kuva 19. 2.4 GHz:n taajuusalueen ylikuuluminen yhdestä mittauspisteestä korjaustöiden jälkeen.

2.4 GHz:n taajuusalueen ylikuulumista ei saatu juurikaan korjattua, koska taajuusalue on yleensäkin liian ruuhkainen, ettei sitä pitäisi käyttää tuotantoverkossa. 5 GHz:n taajuusalueella ylikuuluvuutta oli havaittavissa varsinkin ensimmäisessä kerroksessa. Kuvassa 20 esitetään yhden mittauspisteen tukiasemien ylikuuluvuutta 5 GHz:n taajuusalueella samassa kerroksessa kuin kuvassa 17.



Kuva 20. 2,4 GHz:n taajuusalueen ylikuuluminen yhdestä mittauspisteestä korjaustöiden jälkeen.

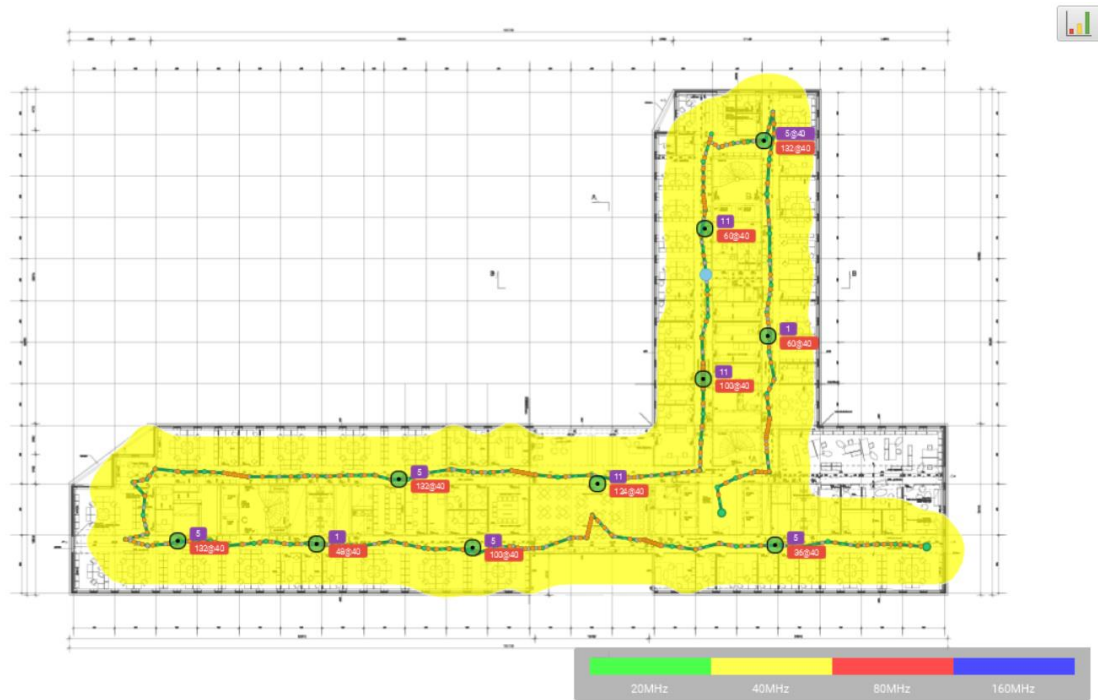
Kuuluvuus saatiin jokaisessa kerroksessa -67 dBm tavoitteeseen. WLAN-kontrolleri määrittää automaattisesti tukiasemien käyttämät kanavat. Kontrolleri tarkkailee tukiasemien ympäristön tilaa ja sen perusteella määrittelee käytetyt kanavat. Kuvassa 21 havainnollistetaan viidennen kerroksen tukiasemien käyttämiä kanavia 2.4- ja 5 GHz:n taajuusalueilla.



Kuva 21. Viidennen kerroksen tukiasemien käyttämät kanavat 2,4 ja 5 GHz:n taajuusalueella.

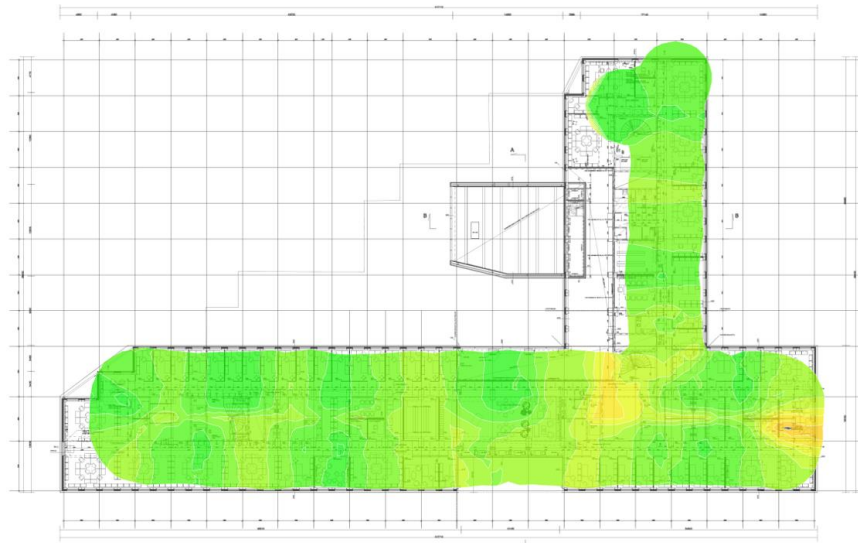
Tukiasemat käyttävät 2.4 GHz:n taajuusalueella kanavia 1, 5 ja 11. Yleensä on suositeltavaa käyttää 5 kanavan sijasta kanavaa 6, koska kanavat häiritsevät toisiaan. Tässä tapauksessa toisten toimijoiden tukiasemat poistettiin, joten 5-kanavan käyttämisestä ei aiheudu juurikaan ongelmia. 5 GHz:n taajuusalueella ylikuuluminen ei ole ongelma kiinteistössä.

Kaikki tukiasemat käyttävät kiinteistössä 40 MHz:n kaistanleveyttä 5 GHz:n taajuusalueella. Leveämpiä kanavia hyödyntämällä pystytään suurempiin siirtonopeuksiin. 802.11ac mahdollistaa myös 80 ja 160 MHz:n kaistanleveyksien käytön, mutta niitä käytäessä alkaa tulla ongelmia kanavien päällekkäisyyksien kanssa 5 GHz:n taajuusalueella. Lisäksi tukiasemat joutuvat odottamaan lähetysvuoroaan pidempään käytettäessä leveitä kanavia. [16.] Kuvassa 22 esitellään viidennen kerroksen tukiasemien käyttämät kaistanleydet.



Kuva 22. Viidennen kerroksen tukiasemien käyttämät kaistanleveydet.

Tukiasemien kaistanleveyksiä suunnitellessa on tärkeää ottaa huomioon, etteivät lähekkäiset tukiasemat ole samoilla taajuuksilla. 40 MHz:iä suurempia kaistanleveyksiä on syytä käyttää varauksella, koska kaikki päätelaitteet eivät välttämättä tue niitä. Kuvassa 23 esitellään kuuluvuuskartta 5 GHz:n taajuusalueella korjaustöiden jälkeen.



Kuva 23. Toisen kerroksen kuuluvuuskartta 5 GHz:n taajuusalueella korjaustöiden jälkeen.

Kuvassa 23 näkyy itäsiivessä oranssi alue, jonka läheisyyteen oli tarkoitus asentaa uusi tukiasema, mutta verkkorasia puuttui. Toinen oranssi alue on hissiaula, jossa ei ole käyttäjiä. Sisäkaapeloinnin haasteiden takia jouduttiin tilaamaan sähköasentaja korjaamaan puutteita. Yhteensä tukiasemia päädyttiin asentamaan 28 lisää katvealueiden korjaamiseksi. Kuuluvuus todettiin hyväksi asiakkaan kanssa eikä myöhemmin ole tullut valituksia kiinteistön WLAN-verkosta.

7 Yhteenveto

WLAN-verkon korjaaminen virastotalossa oli erittäin tärkeää asiakastyytyväisyyden parantamiseksi. Alun perin WLAN-verkkoa ei ollut suunniteltu tarpeeksi hyvin eikä kuuluvuuskartoitusta ollut tehty. Kerroksissa oli havaittavissa selkeitä katvealueita WLAN-verkon kuuluvuudessa.

Alkumittauksen perusteella saatiin selkeä kuva, missä katvealueet sijaitsivat. Tämän jälkeen tehtiin tarkka suunnitelma uusien tukiasemien sijainneista. Samalla saatiin selville vanhojen tukiasemien sijainnit. Varsinkin neuvotteluhuoneisiin ja avokonttoritiloihin haluttiin parannusta kuuluvuuteen. Uusien tukiasemien asennusten jälkeen tehtiin vielä lopukartoitus. WLAN-verkon kuuluvuus todettiin hyväksi koko kiinteistössä.

Tulevaisuudessa tukiasemien päivittäminen, esimerkiksi 802.11.ax-standardin, on helppoa. Tukiasemien vaihdossa voidaan käyttää samoja asennuspaikkoja kuin tällä hetkellä. Vaihto ei ole kuitenkaan vielä ajankohtainen, koska 802.11ax-standardi on vielä harvinainen päätelaitteissa.

Lähteet

- 1 Wi-Fi: Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements. Verkkoaineisto. Primer. <https://public.cnrood.com/public/docs/WiFi_Physical_Layer_and_Transm_Meas.pdf>. Luettu 9.12.2019.
- 2 What is WiFi: IEEE 802.11. Verkkoaineisto. Electronics Notes. <<https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/what-is-wifi.php>>. Luettu 10.12.2019.
- 3 Näin Wi-Fi 6 toimii – Kaikki mitä sinun tarvitsee tietää 802.11ax:sta. 2019. Verkkoaineisto. Io-Tech. <<https://www.io-tech.fi/artikkelit/nain-wi-fi-6-toimii-kaikki-mita-sinun-tarvitsee-tietaa-802-11axsta/>>. Luettu 11.12.2019.
- 4 The Sixth Generation of Wi-Fi. 2018. Verkkoaineisto. Broadcom. <<https://docs.broadcom.com/docs/80211ax-WP>>. Luettu 11.12.2019.
- 5 Khorov, Evgeny; Kiryanov, Anton; Lyakhov, Andrey & Bianchi Giuseppe. 2018. A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs. Luettu 12.12.2019.
- 6 WiFi Networking: Radio Wave Basics. 2017. Verkkoaineisto. Cisco Press. <<https://www.networkcomputing.com/wireless-infrastructure/wifi-networking-radio-wave-basics>>. Luettu 13.12.2019.
- 7 Wireless LAN RF Principles. 2008. Verkkoaineisto. Cisco. <https://learningcontent.cisco.com/cln_storage/text/cln/marketing/Wireless-LAN-RF-Principles-GT.pdf>. Luettu 17.1.2020.
- 8 Understanding RF Signals. Verkkoaineisto. eTutorials.org. <<http://etutorials.org/Networking/wn/Chapter+3.+Radio+Frequency+and+Light+Signal+Fundamentals+The+Invisible+Medium/Understanding+RF+Signals/>>. Luettu 25.2.2020.
- 9 Multipath Propagation. Verkkoaineisto. Electornics Notes. <<https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/multipath-propagation.php>>. Luettu 17.3.2020.
- 10 Wireless LAN RF Principles. Verkkoaineisto. Cisco Systems Inc. <https://learningcontent.cisco.com/cln_storage/text/cln/marketing/Wireless-LAN-RF-Principles-GT.pdf>. Luettu 19.3.2020.
- 11 Why WiFi is Complicated: WiFi Signal Issues. 2016. Verkkoaineisto. Accolade. <<https://www.accoladewireless.com/wlan-wifi-signal-issues/>>. Luettu 19.3.2020.

- 12 Coleman, David D. & Wescott David A. CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide, 5th Edition. Verkkoaineisto. O'Reilly Media, Inc. <<https://learning.oreilly.com/library/view/cwna-certified-wireless/9781119425786/f01.xhtml>>. Luettu 20.3.2020.
- 13 Riihikallio, Petri. 8 reasons to turn down the transmit power of your Wi-Fi. 2017. Verkkoaineisto. <<https://metis.fi/en/2017/10/txpower/>>. Luettu 24.3.2020.
- 14 Riihikallio, Petri. Wi-Fi Roaming. 2018. Verkkoaineisto. <<https://metis.fi/en/2018/11/roaming/>>. Luettu 24.3.2020.
- 15 Aruba 200 Series Access Points. Verkkoaineisto. <https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP200Series.pdf>. Luettu 27.3.2020.
- 16 Riihikallio, Petri. WLAN 5GHz taajuusalue ja leveät kanavat. 2018. Verkkoaineisto. <<https://metis.fi/fi/2018/01/5ghz-kanavat/>>. Luettu 10.5.2020.