



WLAN-suunnittelu

Niko Vormisto

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Tieto- ja viestintäteknikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintätekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

VORMISTO, NIKO:
WLAN-suunnittelu

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2019

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa langaton verkko pk-yrityksen toimistotiloihin. Yritys uudisti koko toimistoverkkonsa ja samalla suunniteltiin myös uusi langaton verkko. Verkon vaatimuksena oli, että se on hyvin toimiva ja vikasietoinen.

Suunnittelussa päätettiin tukiasemien lukumäärät, sijainnit sekä käytettävät kanavat. Suunnittelussa käytettiin Ekahau Site Survey -ohjelmaa. Ohjelman avulla voitiin mallintaa suunniteltua verkkoa ennen sen asentamista. Mallinnuksessa otettiin huomioon ympäristön vaikutukset.

Langattomalle verkolle suoritettiin tarvittavat mittaukset käyttöönoton jälkeen. Mittauksessa käytettiin Ekahau Site Survey -ohjelmaa. Mittaustuloksia analysoimalla varmistettiin, että verkko täytti sille asetetut vaatimukset. Mittaustuloksia vertailtiin myös suunnitelmaan. Työn lopputuloksena saatiin hyvin toimiva ja vikasietoinen langaton verkko.

Asiasanat: wlan, suunnittelu, fortinet, ekahau

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT Engineering
Telecommunications and Networks

VORMISTO NIKO:
WLAN design

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 1 page
May 2019

The purpose of this thesis was to design and deploy a wireless local area network for a small business. The company reimplemented its entire office network and at the same time the wireless network had to be redesigned. The new wireless network has to be well-functioning and fault-tolerant.

Ekahau Site Survey program was used to design the new wireless network. The number of access points, their locations and channels were determined by the design. Ekahau was used to model a designed network before installation. The modelling took into account the effects of the environment.

Ekahau Site Survey program was used to measure the wireless network after installation. The network met the requirements set for the project.

Key words: wlan, design, fortinet, ekahau

SISÄLLYS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | LANGATON LÄHIVERKKO | 7 |
| | 2.1 Signaalin eteneminen | 7 |
| | 2.1.1 Heijastuminen | 7 |
| | 2.1.2 Hajonta | 7 |
| | 2.1.3 Diffraktio | 7 |
| | 2.1.4 Vaimentuminen | 8 |
| | 2.1.5 Vapaan tilan vaimennus | 8 |
| | 2.1.6 Monitie-eteneminen | 9 |
| | 2.2 IEEE 802.11 | 9 |
| | 2.3 Antennit | 10 |
| | 2.3.1 Säteilukuviot | 11 |
| | 2.3.2 Antennityypit | 12 |
| | 2.3.3 MIMO | 13 |
| | 2.4 CSMA/CA | 14 |
| 3 | WLAN-SUUNNITTELU | 16 |
| | 3.1 Kuuluvuus | 16 |
| | 3.2 Roaming | 18 |
| | 3.3 Kanavasuunnittelu | 19 |
| | 3.3.1 2,4 GHz | 20 |
| | 3.3.2 5 GHz | 20 |
| | 3.3.3 Kontrolleri | 21 |
| | 3.4 Kuormitus | 22 |
| | 3.5 Mittaus | 23 |
| 4 | ASIAKASTYÖ | 25 |
| | 4.1 Nykyinen verkko | 25 |
| | 4.2 Suunnittelu | 26 |
| | 4.3 Asennus | 31 |
| | 4.4 Mittaus | 32 |
| 5 | YHTEENVETO | 36 |
| | LÄHTEET | 37 |
| | LIITTEET | 38 |
| | Liite 1. FortiAP 221E tekniset tiedot | 38 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|---------|---|
| AP | Access point Tukiasema |
| CAD | Computer-aided design Tietokoneavusteinen suunnittelu |
| CSMA/CA | Carrier sense multiple access with collision avoidance Siirtotien varausmenetelmä |
| DRS | Dynamic rate switching Siirtonopeuden dynaaminen vaihtaminen |
| DSSS | Direct-sequence spread spectrum Hajaspektritekniikka |
| FHSS | Frequency-hopping spread spectrum Hajaspektritekniikka |
| IEEE | Institute of electrical and electronics engineers Kansainvälinen tekniikan alan järjestö |
| IoT | Internet of things Esineiden/asioiden internet |
| MIMO | Multiple-input multiple-output Useiden antennien käyttö tiedonsiirrossa |
| OFDM | Orthogonal frequency division multiplexing Siirtotekniikka |
| PoE | Power over ethernet Virransyöttäminen ethernet-verkon kautta |
| SNR | Signal-to-noise ratio Signaali-kohinasuhde |
| UNII | Unlicensed national information infrastructure 5 GHz taajuudella oleva taajuusalue |
| VoIP | Voice over IP Puheen siirtäminen IP-verkon kautta |
| VoWiFi | Voice over Wi-Fi Puheen siirtäminen Wi-Fi-verkon kautta |
| WLAN | Wireless local area network Langaton lähiverkko |

1 JOHDANTO

Langattomat verkot ovat yleistyneet viime vuosien aikana. Nykyään langattoman verkon toimintaa pidetäänkin itsestäänselvytenä. Monet uudet laitteet eivät enää edes tue langallista verkkoa. Laitteiden lisääntyessä langattoman verkon suunnittelun merkitys on kasvanut.

Tämä opinnäytetyö on tuotettu tamperelaisen pk-yrityksen toimeksiantona. Tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa langaton lähiverkko pk-yrityksen toimistotiloihin. Toimistotilat sijaitsevat kahdessa kerroksessa. Langattoman verkon on toimittava hyvin molemmissa kerroksissa.

Tässä opinnäytetyössä käydään ensin läpi langattomien verkkojen teoriaa ja suunnittelussa huomioitavia asioita. Työn lopussa käydään läpi pk-yrityksen langattoman verkon suunnittelu ja toteutus.

2 LANGATON LÄHIVERKKO

WLAN:in eli langattoman lähiverkon avulla voidaan siirtää tietoa mikroaaltojen avulla. Langattomat verkot saavat lähettää 2,4-2,4835 GHz ja 5,15-5,35 GHz taajuuksilla. (Säteilyturvakeskus 2015.)

2.1 Signaalin eteneminen

Signaalin etenemiseen vaikuttaa heijastuminen, hajonta, diffraktio, vaimentuminen, vapaan tilan eteneminen ja monitie-eteneminen.

2.1.1 Heijastuminen

Kun signaali osuu sileään esteeseen, joka on signaalia suurempi, syntyy heijastuminen. Signaali heijastuu näin esteestä poispäin. Heijastumista saattaa tapahtua ovista, seinistä ja erityisesti metallista. (Coleman & Westcott 2014, 45-46.)

2.1.2 Hajonta

Hajonnassa signaali heijastuu useaan eri suuntaan. Hajontaa tapahtuu, kun signaali osuu esteeseen, joka on pienempi kuin signaalin aallonpituus. Hajontaa voi tapahtua esimerkiksi metalliverkosta. Signaalin heijastuessa useaan suuntaan, jokaisen heijastuneen signaalin teho on vain murto-osa alkuperäisestä tehosta. (Coleman & Westcott 2014, 46.)

2.1.3 Diffraktio

Diffraktiossa signaali taipuu esteen ympäri. Taipuessaan esteestä, signaali kulkee pidemmän matkan kuin ilman estettä. Riippuen signaalin taipumisesta, signaali ei välttämättä kulkeudu esteen taakse. Tällöin saattaa syntyä alueita, joihin signaali ei kuulu lainkaan. (Coleman & Westcott 2014, 48-49.)

2.1.4 Vaimentuminen

Vaimentumisella tarkoitetaan signaalin amplitudin pienenemistä. Vaimentumista tapahtuu matkan ja mahdollisesti monitie-etenemisen vuoksi. Suurin vaimennus tapahtuu kuitenkin esteistä. Eri materiaalit vaimentavat signaalia enemmän kuin toiset. Taulukossa 1 nähdään muutamien materiaalien vaimennukset desibeleinä 2,4 GHz taajuudella. (Coleman & Westcott 2014, 49-50.)

TAULUKKO 1 Materiaalien vaimennukset 2,4 GHz taajuudella

| Materiaali | Vaimennus (dB) |
|----------------|----------------|
| Hissikuilu | 30 |
| Betoniseinä | 12 |
| Puuovi | 3 |
| Ikkuna | 3 |
| Kipsilevyseinä | 3 |

2.1.5 Vapaan tilan vaimennus

Signaali vaimenee edetessään myös ilman esteitä. Tällaista vaimenemista kutsutaan vapaan tilan vaimennukseksi. Vapaan tilan vaimennus voidaan laskea kaavalla

$$32,44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(D) \quad (1)$$

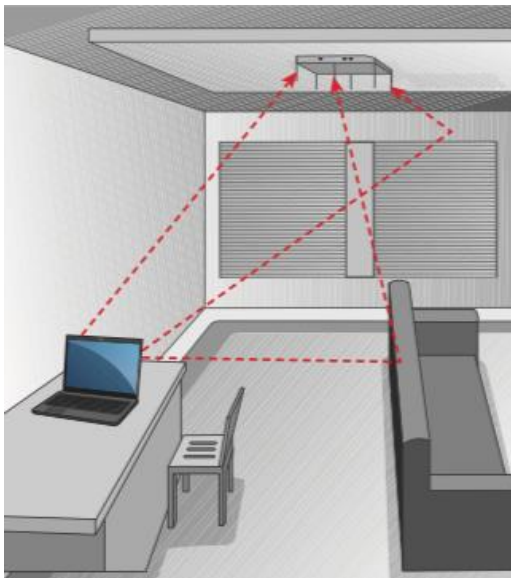
jossa f on taajuus megahertseinä ja D on etäisyys kilometreinä. Vapaan tilan vaimennuksen yksikkönä on desibeli. Taulukossa 2 nähdään vapaan tilan vaimennukset eri etäisyyksillä 2,4 GHz ja 5 GHz taajuuksilla. (Coleman & Westcott 2014, 51-53.)

TAULUKKO 2 Vapaan tilan vaimennukset 2,4 GHz ja 5 GHz taajuuksilla

| Etäisyys (m) | Vaimennus (dB) | |
|--------------|----------------|-------|
| | 2,4 GHz | 5 GHz |
| 1 | 40 | 46,4 |
| 10 | 60 | 66,4 |
| 100 | 80 | 86,4 |
| 1000 | 100 | 106,4 |

2.1.6 Monitie-eteneminen

Monitie-etenemisessä sama signaali saapuu vastaanottimeen eri reittejä pitkin. Heijastunut signaali kulkee pidemmän matkan, joten se saapuu vastaanottimeen viiveellä. Eri vaiheissa vastaanotetut signaalit summautuvat yhteen ja saattavat aiheuttaa vahvistusta, vaimennusta tai tiedon korruptoitumista. Monitie-etenemistä syntyy heijastuksista, hajonnasta ja diffraktiosta. Kuvassa 1 nähdään esimerkki monitie-etenemistä. Kuvassa signaali etenee vastaanottimelle useita eri reittejä pitkin. (Coleman & Westcott 2014, 53-54.)



KUVA 1 Monitie-eteneminen (Coleman & Westcott 2014, 54)

2.2 IEEE 802.11

IEEE 802.11 on IEEE:n eli Institute of Electrical and Electronics Engineers kehittämä standardi langattomalle lähiverkolle. Standardiin on tehty

laajennusosia vuosien aikana. Laajennusosiin viitataan lisäämällä kirjain 802.11 jälkeen, esimerkiksi 802.11n ja 802.11ac. Taulukossa 3 nähdään käytetyimpien laajennuksien erot. (Coleman & Westcott 2014, 163-164.)

TAULUKKO 3 802.11 laajennukset

| Laajennus | Taajuus (GHz) | Kaistanleveys (MHz) | Modulaatio | Siirtonopeus | Julkaistu |
|-----------|---------------|---------------------|------------|--------------|-----------|
| 802.11 | 2,4 | 22 | DSSS, FHSS | 2 Mbps | 1997 |
| 802.11b | 2,4 | 22 | DSSS | 11 Mbps | 1999 |
| 802.11a | 5 | 20 | OFDM | 54 Mbps | 1999 |
| 802.11g | 2,4 | 20 | OFDM | 54 Mbps | 2003 |
| 802.11n | 2,4 & 5 | 20, 40 | OFDM | 600 Mbps | 2009 |
| 802.11ac | 5 | 20, 40, 80, 160 | OFDM | 6,93 Gbps | 2013 |

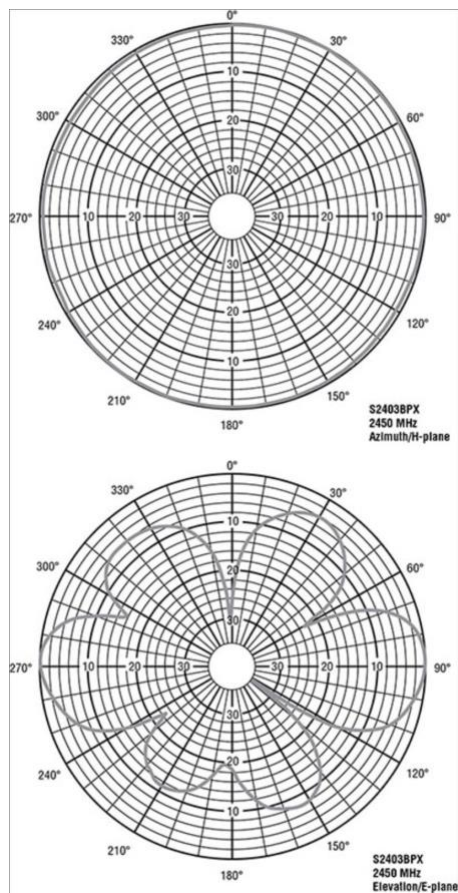
DSSS eli Direct-Sequence Spread Spectrum on siirtotekniikka, jossa signaali levitetään kertomalla signaali hajautusavaimen kanssa (Rantala 2018). DSSS vaatii toimiakseen 22 MHz kaistanleveyden. Nykyisin käytetään paljon OFDM eli Orthogonal Frequency Division Multiplexing, joka on myös siirtotekniikka. Tekniikasta käytetään myös nimitystä alikantoaaltotekniikka. Tässä tekniikassa signaali lähetetään käyttäen 52 alikanavaa. Kaikki alikanavat ovat 312,5 kHz levyisiä. Alikanavista 48 käytetään datan lähettämiseen ja 4 kanavaa virheenkorjaukseen. OFDM tarvitsee toimiakseen 20 MHz kaistanleveyden. (Coleman & Westcott 2014, 218.) Tarvittava kaistanleveys on huomioitava kanavasunnittelua tehdessä.

2.3 Antennit

Antennilla on kaksi tehtävää tiedonsiirrossa. Vastaanottimeen yhdistettynä antennin tehtävänä on syöttää vastaanotettu signaali vastaanottimeen. Lähettimeen yhdistettynä antennin tehtävänä on säteillä lähettimen syöttämää signaalia. (Coleman & Westcott 2014, 67.)

2.3.1 Säteilukuviot

Valmistajat julkaisevat antenneistaan säteilukuviot. Säteilukuviosta nähdään, miten antenni säteilee vaaka- ja pystysuunnassa. Säteilukuviot piirretään mittaamalla säteilyä eri etäisyyksiltä ja eri kulmista. Mittaukset tehdään aina eristetyssä tilassa, jotta ulkopuoliset häiriöt eivät vaikuta mittaustuloksiin. Näiden kuvioiden avulla voidaan helposti vertailla eri antenneja. Kuvassa 2 nähdään esimerkki antennin säteilukuviosta. (Coleman & Westcott 2014, 110.)



KUVA 2 Antennin säteilukuviot (Coleman & Westcott 2014, 111)

Kuvan yläosassa nähdään antennin säteily ylhäältä kuvattuna ja alemmassa osassa sivusta kuvattuna. Kuvissa antenni on sijoitettu origoon. Lähetystehoa kuvataan logaritmisin asteikon avulla. (Coleman & Westcott 2014, 110.)

2.3.2 Antennityypit

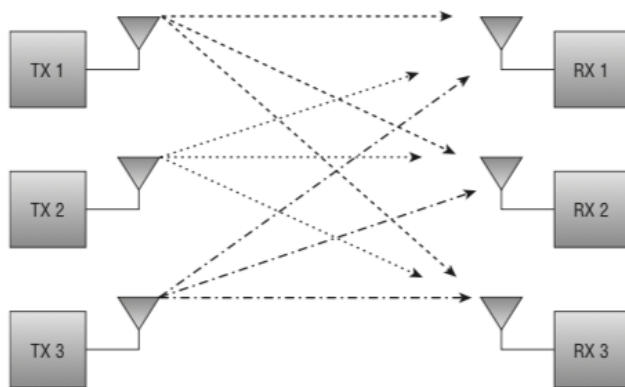
Antenneja on olemassa montaa eri mallia. Käytetyin antenni langattomissa lähiverkoissa on kuitenkin ympärisäteilevä antenni. Nimensä mukaisesti ympärisäteilevä antenni säteilee joka suuntaan. Kuvassa 2 on erään ympärisäteilevän antennin säteilykuvio. Säteilykuvioista huomataan, että antenni säteilee vaakatasossa joka suuntaan, mutta ei pystytasossa. Pystytason säteilyä voidaan säädellä muuttamalla antennia. Mitä suurempi on antennin dBi eli vahvistus isotrooppiseen antenniin nähden, sitä paremmin se suuntaa lähetyksen. Isotrooppinen antenni on ideaalinen antenni, joka säteilee siihen syötettävän tehon joka suuntaan samalla teholla. (Coleman & Westcott 2014, 117-119.)

Ympärisäteilevien antennien lisäksi on olemassa myös suunnattavia antenneja. Suunnattavia antenneja voidaan käyttää pitkien matkojen yhteyksissä, joissa halutaan yhteys kahden pisteen välille. Esimerkiksi kahden vierekkäisen rakennuksen välillä voitaisiin käyttää suuntaavia antenneja, jolloin saataisiin luotua langaton lähiverkko rakennusten välille. Mitä suuntaavampi antenni on, sitä paremman vahvistuksen sillä saa. Suuntaavuus kuitenkin rajoittaa säteilyn hyvin pienelle alueelle, joten antennien on oltava oikeassa kulmassa toisiinsa nähden. (Coleman & Westcott 2014, 121-125.)

Suuntaavia antenneja käytetään usein ulkona, mutta niitä voidaan käyttää myös sisätiloissa. Esimerkiksi varastoissa voidaan käyttää suuntaavia antenneja. Varastojen katot ovat usein hyvin korkealla, joten ympärisäteilevän antennin lähetyks ei välttämättä kuulu tarpeeksi hyvin katosta. Lisäksi varastoissa käytetään usein metallisia hyllyjä, jotka voivat häiritä langatonta verkkoa. Suuntaava antenni voitaisiinkin asettaa osoittamaan hyllyjen väleihin. Nykyään suuntaavia antenneja käytetään usein paikoissa, joissa on korkea käyttäjätiheys. Antenneilla voidaan luoda tarkat sektorit. Sektorien avulla voidaan rajata kuuluvuusalueita ja näin vähentää ylikuulumista. (Coleman & Westcott 2014, 121- 126.)

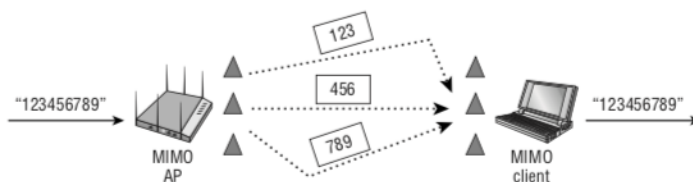
2.3.3 MIMO

MIMO eli multiple-input, multiple-output tarkoittaa, että laite voi samanaikaisesti lähettää tai vastaanottaa käyttäen useaa antennia. Lähetetyt signaalit kulkevat useaa eri reittiä pitkin vastaanottajalle. MIMO-vastaanotin erittelee vastaanotetut signaalit käyttäen digitaalista signaalinkäsittelyä. Monitie-eteneminen auttaa eri datavirtojen luokittelussa. Kuvassa 3 nähdään tiedonsiirto kahden MIMO laitteen välillä. Antennit ovat laitteissa hieman toisistaan erillään, jotta signaalit eivät saapuisi samanaikaisesti eri antennille. (Coleman & Westcott 2014, 626.)



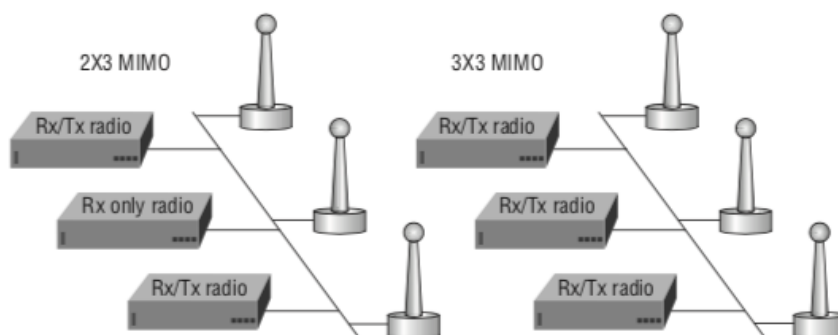
KUVA 3 MIMO ja monitie-eteneminen (Coleman & Westcott 2014, 627)

Usean uniikin datavirran samanaikaista lähetystä kutsutaan nimellä Spatial Multiplexing tai lyhennettynä SM. SM:n käyttö parantaa nopeutta sekä hyödyntää monitie-etenemistä. Siirtonopeus voidaan tuplata lähettämällä kahta datavirtaa samanaikaisesti ja kolminkertaistettua kun lähetetään kolmea datavirtaa. MIMO voi parantaa myös lähetyksen kantamaa ja luotettavuutta lähettämällä ja vastaanottamalla saman signaalin usean antennin kautta. Kuvassa 4 nähdään esimerkki, jossa tukiasema lähettää dataa päätelaitteelle käyttäen kolmea eri datavirtaa. (Coleman & Westcott 2014, 627-628.)



KUVA 4 Spatial multiplexing (Coleman & Westcott 2014, 629)

MIMO-järjestelmät koostuvat useista radioketjuista ja radioketjujen omista antenneista. Järjestelmiä kuvataan radioketjujen käyttämien vastaanottimien ja lähettimien lukumäärillä. Esimerkiksi 3x3:2 MIMO-järjestelmä koostuu kolmesta radioketjusta, jossa on kolme lähetintä ja kolme vastaanotinta sekä mahdollistaa kahden samanaikaisen datavirran lähettämisen tai vastaanottamisen. Ensimmäinen luku viittaa lähettimien lukumäärään, toinen luku vastaanottimien lukumäärään ja kolmas luku datavirtojen lukumäärään. Kuvassa 5 nähdään 2x3 ja 3x3 MIMO-järjestelmät. (Coleman & Westcott 2014, 627-629.)



KUVA 5 2x3 ja 3x3 MIMO-järjestelmät (Coleman & Westcott 2014, 628)

MIMO on käytössä 802.11n ja 802.11ac laajennuksissa. Näitä laajennuksia käytettäessä monitie-etenemistä voidaan käyttää hyväksi. MIMO toimii kuitenkin vain silloin kun molemmat lähettäjä ja vastaanottaja tukevat MIMO:a. Vanhemmat 802.11a/b/g laajennukset eivät tue MIMO:a. Näitä laajennuksia käytettäessä monitie-etenemisestä on edelleen haittaa. (Coleman & Westcott 2014, 212.)

2.4 CSMA/CA

CSMA/CA eli Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance on tekniikka, jonka avulla pyritään estämään verkossa tapahtuvat törmäykset. CSMA/CA odottaa, että taajuudella ei ole muuta liikennettä. Kun on todettu, että muuta liikennettä ei ole, valitaan satunnainen aikaviive. Viive kerrotaan lähetyksen aikavälillä, joka riippuu käytetystä siirtotekniikasta esimerkiksi DSSS tai OFDM. Viiveen aikana tarkkaillaan, onko taajuudella liikennettä. Mikäli muuta liikennettä ei huomata aikavälin aikana, viiveestä vähennetään yksi aikaväli. Mikäli muuta liikennettä kuitenkin huomataan, viiveestä ei vähennetä mitään

vaan odotetaan, että radiotie on taas vapaa. Lähetys suoritetaan, kun aikaviiveen arvo on 0. Epäonnistuneet lähetykset kasvattavat aikaviivettä eksponentiaalisesti. Koska 802.11 radiot eivät pysty lähettämään ja vastaanottamaan samanaikaisesti, on tärkeää varmistua, että taajuudella lähettää vain yksi laite samanaikaisesti. (Coleman & Westcott 2014, 264-271.)

Törmäyksiä tapahtuu kuitenkin CSMA/CA käytöstä huolimatta. 802.11 radiot eivät pysty lähettämään ja vastaanottamaan samanaikaisesti, joten törmäyksiä ei huomata. Suurin osa unicast liikenteestä on kuitenkin kuitattava. Törmäyksen tapahtuessa lähetys korruptoituu ja vastaanottajan suorittama virheentarkastus epäonnistuu. Virheentarkastuksen epäonnistuessa kiittausta vastaanotetusta lähetyksestä ei lähetetä. Lähetys lähetetään uudelleen, mikäli lähettäjä ei saa kiittausta. Broadcast ja multicast -lähetykset eivät vaadi kiittausta, joten niiden vastaanottamisessa tapahtuvia virheitä ei huomata. (Coleman & Westcott 2014, 265-266.)

3 WLAN-SUUNNITTELU

WLAN-suunnittelun avulla määritetään tukiasemien lukumäärät, sijainnit sekä käytetyt kanavat. Suunnittelun tavoitteena on luoda optimaalisesti toimiva langaton verkko. Suunnittelussa huomioidaan kuuluvuus, roaming, kanavasuunnittelu ja kuormitus. (Triuvare 2019.)

3.1 Kuuluvuus

Vastaanotetun signaalin voimakkuus on päätelaitteen vastaanottama teho, johon vaikuttaa lähetysteho, taajuus, matka, esteet ja päätelaite. Suositeltava signaalin voimakkuus on vähintään -70 dBm ja vähintään -67 dBm VoWiFi käytössä. (Coleman & Westcott 2014, 569; Metageek 2019.) SNR eli signal-to-noise ratio kuvaa desibeleinä kuinka paljon signaalintaso on häiriötaso suurempi. Hyvän signaalin SNR on 25 dB. (Coleman & Westcott 2014, 89.) Häiriötaso on usein 2,4 GHz taajuudella -105 dBm ja 5 GHz taajuudella -95 dBm. Häiriötason ollessa -95 dBm ja vastaanotetun signaalin voimakkuus -70 dBm, saadaan SNR 25 dB. Suunnitteluvaiheessa on syytä selvittää asennuspaikan häiriötaso. (Crane, J 2017.)

Vastaanotetun signaalin voimakkuuteen voidaan vaikuttaa säätämällä tukiaseman lähetystehoa. Usein tukiasemat lähettävät oletusarvoisesti suurimmalla sallitulla lähetysteholla. Suuren lähetystehon käyttäminen ei ole kuitenkaan suositeltavaa. Tukiasemat voivat lähettää maksimissaan 100 mW teholla 2,4 GHz taajuudella, mutta päätelaitteet saattavat lähettää vain 15 mW. Päätelaite saattaa siis kuulla tukiaseman lähetykset tarpeeksi hyvin, mutta tukiasema ei saa välttämättä päätelaitteen lähetyksistä selvää. (Riihikallio 2017.) Tällöin syntyy siirtosuuntien välinen epäbalanssi. Usein suositellaan, että tukiasemien lähetystehoksi asetetaan aluksi 25 mW ja myöhemmin tarpeen tullen sitä nostetaan, mikäli kuuluvuus ei ole riittävä. (Coleman & Westcott 2014, 569.)

Ympäristö vaikuttaa vastaanotetun signaalin voimakkuuteen. Tiedetyt rakenteet vaimentavat tai muuten vaikuttavat signaalin etenemiseen. Suunnitteluvaiheessa

on hyvä käydä asennuspaikalla tarkistamassa seinien, ovien ja muiden esteiden materiaalit. Taulukon 1 avulla voidaan arvioida eri materiaalien vaimennukset. Vaimennukset voidaan myös mitata asentamalla tukiasema väliaikaisesti esteen toiselle puolen. Toiselta puolen voidaan mitata kuinka paljon este vaimentaa signaalia.

Kuuluvuutta voidaan mallintaa erilaisilla ohjelmilla. Tässä työssä käytettiin Ekahaun Site Survey -ohjelmaa. Ohjelmaan voidaan syöttää pohjapiirustus ja merkitä esteet kuten ikkunat, ovet ja seinät. Esteille voidaan määrittää vaimennukset. Pohjapiirroksen voidaan asettaa tukiasemat halutuille paikoille ja mallintaa verkon kuuluvuutta. Ekahaussa on valittavissa useiden eri valmistajien tukiasemia. Kaikilla tukiasemilla on omat säteilykuvionsa, joten eri tukiasemia pystyy myös vertailemaan.

Vastaanotetun signaalin laadun heikentyessä laitteet siirtyvät käyttämään hitaampaa siirtonopeutta. Suuremmilla siirtonopeuksilla signaalin laadun vaatimukset ovat korkeammat kuin matalilla siirtonopeuksilla, joten parhaan suorituskyvyn takaamiseksi on järkevää laskea siirtonopeutta. Tämä ominaisuus on DRS eli Dynamic Rate Switching. DRS toimii kuitenkin vain silloin kun tukiasema tukee useita eri siirtonopeuksia. Tukiasema voi esimerkiksi tukea vanhoja 802.11a/b/g laajennuksia, mikäli verkossa on käytössä vanhoja laitteita. (Coleman & Westcott 2014, 419-420.)

DRS toteuttamiseen ei ole tarkkaa standardia vaan laitevalmistajat ovat toteuttaneet sen parhaaksi näkemällään tavalla. Yleensä DRS on toteutettu vastaanotetun signaalin voimakkuuden, lähetysvirheiden ja uudelleenlähetysten mukaan. Laitevalmistajien määrittämät raja-arvot saattavat erota toisistaan merkittävästi. (Coleman & Westcott 2014, 420.)

Suurella siirtonopeudella sama tieto saadaan siirrettyä perille nopeammin kuin hitaalla siirtonopeudella. CSMA/CA määrittää kaikille käyttäjille oman vuoron. Tukiaseman suorituskyky saattaa laskea merkittävästi, mikäli jokin laite käyttää matalaa siirtonopeutta. Hidasta siirtonopeutta käyttävän käyttäjän lähetysvuoro saattaa olla moninkertaisesti pidempi kuin nopeaa siirtonopeutta käyttävän. Verkkoa suunniteltaessa on syytä miettiä mikä on matalin tuettava siirtonopeus.

Matalat siirtonopeudet on syytä poistaa käytöstä, mikäli niitä ei tarvita. Useat laitevalmistajat ovat toteuttaneet airtime fairness -ominaisuuden. Tämä ominaisuus priorisoi nopeat käyttäjät, sillä kaikki pääsevät lähettämään yhtä kauan. Näin nopeat pääsevät lähettämään useammin ja verkon suorituskyky paranee huomattavasti. (Coleman & Westcott 2014, 276-277; Riihikallio 2017.)

3.2 Roaming

Roamingilla tarkoitetaan päätelaitteen siirtymistä tukiasemalta toiselle. Hyvin toimivassa verkossa käyttäjä voi liikkua vapaasti laajalla alueella yhteyden katkeamatta. Huonosti toimivassa verkossa päätelaitteet saattavat jäädä jumiin ensimmäiseksi yhdistettyyn tukiasemaan tai hyppivät jatkuvasti tukiasemalta toiselle. Käyttäjät saattavat huomata tämän yhteyden pätkimisenä ja hitautena. (Riihikallio 2018.)

Päätelaitteet ovat vastuussa tukiaseman vaihdoksesta. Eri valmistajat ovat toteuttaneet roamingin hieman eri tavalla. Yleensä tukiasemaa vaihdetaan vastaanotetun signaalin voimakkuuden, häiriötason ja lähetysvirheiden mukaan (Coleman & Westcott 2014, 301). Applen iOS laitteet vaihtavat tukiasemaa signaalin voimakkuuden pudottua alle -70 dBm ja macOS laitteet signaalin pudottua alle -75 dBm. Uudelta tukiasemalta Applen iOS laitteet vaativat vähintään 8 dB vahvempaa vastaanotetun signaalin voimakkuutta, mikäli laite on lähettämässä tai vastaanottamassa ja 12 dB eroa, mikäli laite ei ole lähettämässä tai vastaanottamassa. Applen macOS laitteet vaativat puolestaan aina 12 dB eron. (Apple 2017; Apple 2018.)

Verkkoa suunniteltaessa on varmistettava, että eri tukiasemien kuuluvuusalueet ovat osittain päällekkäin. Useat valmistajat suosittelevat 15 – 30 prosentin päällekkäisyyttä. Yhteys saattaa katketa, mikäli tukiasemien kuuluvuudet eivät ole päällekkäin. Toisaalta myös liian suuri päällekkäisyys tuo ongelmia. Tietyt päätelaitteet saattavat hyppiä tukiasemalta toiselle, mikäli alueella kuuluu monta -70 dBm signaalitasolla olevaa tukiasemaa. Päätelaitteet saattavat jäädä myös kiinni tiettyyn tukiasemaan, mikäli alueella kuuluu monta tukiasemaa vahvoilla signaaleilla. Esimerkiksi toimistolle tullessa laitteet saattavat yhdistää etuovella olevaan tukiasemaan ja pysyä yhdistyneinä siihen, mikäli signaalin voimakkuus

ei laske tarpeeksi. Tästä saattaa syntyä suuri kuormitus yhdelle tukiasemalle. (Coleman & Westcott 2014, 424-425.)

Kuuluvuusalueiden päällekkäisyyden suunnittelu tuo haasteita. Tukiasemien kuuluvuusalueet eivät ole teoreettisen mallin kaltaisia pyöreitä alueita, vaan riippuvat ympäristöstä (Coleman & Westcott 2014, 424). On olemassa erilaisia ohjelmia, joilla kuuluvuusalueita voidaan mallintaa. Esimerkiksi Ekahau Site Survey -ohjelman avulla voidaan mallintaa tukiasemien kuuluvuutta. Verkon asennuksen jälkeen on mitattava verkko ja tarkistettava miten roaming toimii. Tukiasemien lähetystehoä säätämällä voidaan vaikuttaa kuuluvuusalueisiin.

Päätelaitteen on suoritettava uudelleenautentikointi kun siirrytään tukiasemalta toiselle. Yritysverkoissa langattoman verkon autentikoinnissa käytetään usein 802.1X/EAP menetelmää. Tämä menetelmä on kuitenkin melko hidas, sillä siinä kestää usein yli 700 ms. VoWiFi käytettäessä viive saa olla kuitenkin maksimissaan 150 ms. IEEE 802.11r laajenuksessa julkaistiin fast secure roaming, joka nopeuttaa uudelleenautentikointia. Kaikki laitteet eivät välttämättä kuitenkaan tue sitä. Uudelleenautentikoinnista syntyvä viive on huomioitava suunnittelussa, mikäli verkossa käytetään VoWiFi laitteita. (Coleman & Westcott 2014, 425.)

3.3 Kanvasuunnittelu

Samalla taajuudella voi lähettää vain yksi laite kerrallaan. Verkon suorituskyky laskee, mikäli tukiasemat ovat samalla kuuluvuusalueella samalla taajuudella. Tällöin kaikki samalla taajuudella toimivat laitteet joutuvat odottamaan, kun yksi laite lähettää. Tämä saattaa aiheuttaa suuret viiveet. Ylikuulumisesta päästään eroon, kun kaikki tukiasemat toimivat omalla taajuudellaan. (Coleman & Westcott 2014, 428.)

2,4 ja 5 GHz taajuusalueet on jaettu kanaviin. Kaikki kanavat ovat eri taajuuksilla, mutta kaikkia kanavia ei voida käyttää samanaikaisesti. Lähetykset saattavat tapahtua osittain päällekkäisillä taajuuksilla, vaikka käytettäisiinkin eri kanavia. Osittain päällekkäisillä taajuuksilla lähettäminen saattaa johtaa lähetysten

korruptoitumiseen ja näin uudelleenlähetysiin. (Coleman & Westcott 2014, 408-409.)

3.3.1 2,4 GHz

2,4 GHz taajuusalueella on Euroopassa käytössä 13 kanavaa ja kanavat ovat 5 MHz levyisiä. 13 käytettävästä kanavasta voidaan siis käyttää vain 3 samanaikaisesti. Yleensä käytetään kanavia 1, 6 ja 11. Euroopassa voitaisiin käyttää myös kanavia 1, 5, 9 ja 13. Näiden kanavien välillä on hyvin vähän ylikuulumista, joten suorituskyky saattaisi olla parempi kuin kolmella kanavalla. Kanavien valinnassa on huomioitava naapureiden käyttämät kanavat. Neljän kanavan käyttö ei ole kannattavaa, mikäli naapurissa käytetään kanavia 1, 6 ja 11. Tällöin kanavat olisivat osittain päällekkäisillä taajuuksilla. Lisäksi kaikki laitteet eivät tue kanavaa 13. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa myydyt laitteet on rajattu ohjelmistolla siten, että 13 kanavalla ei voi lähettää. Neljän kanavan käytöstä saattaa siis syntyä ongelmia, mikäli verkossa käytetään laitteita, jotka on ostettu ulkomailta. (Coleman & Westcott 2014, 430-431.)

Kaikki laitteet tukevat 2,4 GHz verkkoa, mutta käytettäviä kanavia on vain muutama. Tukiasemat lähettävät yleensä oletusarvoisesti täydellä teholla, joten ylikuulumista on paljon varsinkin tiheään asutuilla alueilla. Taajuusalueella toimii langattoman lähiverkon lisäksi myös monia muita laitteita esimerkiksi bluetooth, murtohälyttimet, valvontakamerat ja liiketunnistimet. Häiriöitä voi aiheutua myös esimerkiksi sähkömoottoreista ja mikroaaltouuneista. Nykyään useimmat laitteet tukevat kuitenkin myös 5 GHz taajuutta, jolla on enemmän käytettävää kaistaa. Osa 2,4 GHz radioista on usein kannattavaa sulkea, mikäli samassa verkossa käytetään myös 5 GHz, sillä 2,4 GHz kantama on pidempi kuin 5 GHz. (Riihikallio 2018.)

3.3.2 5 GHz

5 GHz verkossa kanavat ovat myös 5 MHz välein, mutta käytössä on vain joka neljäs kanava. Vaadittava kanavanleveys on 20 MHz, joten kanavien välistä ylikuulumista ei pääse tapahtumaan, mikäli käytetään 20 MHz kaistanleveyttä. Todellisuudessa kaistanleveys on hieman suurempi kuin 20 MHz, joten pientä

ylikuulumista saattaa tapahtua viereisillä kanavilla. Kaistanleveys voi olla myös 40, 80 tai 160 MHz. Yleensä pystytään kuitenkin käyttämään vain 20 tai 40 MHz kanavia. Käytettävien kanavien lukumäärä laskee kaistanleveyden kasvaessa. Kuvassa 6 nähdään käytettävät kanavat eri kaistanleveyksillä. (Riihikallio 2018.)

| US Band | UNII-I | | | | UNII-II | | | | UNII-II Extended | | | | | | | UNII-III | | | | | ISM | | | |
|---------|---------------|----|----|----|---------|----|----|----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 20 MHz | 36 | 40 | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 | 64 | 100 | 104 | 108 | 112 | 116 | 120 | 124 | 128 | 132 | 136 | 140 | 149 | 153 | 157 | 161 | 165 |
| 40 MHz | 38 | | 46 | | 54 | | 62 | | 102 | | 110 | | 118 | | 126 | | 134 | | | 151 | | 159 | | |
| 80 MHz | 42 | | | | 58 | | | | 106 | | | | 122 | | | | 155 | | | | | | | |
| 160 MHz | 50 | | | | | | | | 114 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Power | 23dBm (200mW) | | | | | | | | 30dBm (1W) | | | | | | | 14dBm (25mW) | | | | | | | | |
| Notes | Indoors | | | | | | | | WeatherRdr | | | | | | | Dynamic Frequency Selection (DFS) | | | | | | | | |

KUVA 6 5 GHz käytettävät kanavat (Riihikallio 2018)

Eri kanavilla on omat rajoituksensa. Tietyillä kanavavilla voidaan lähettää suuremmalla lähetysteholla kuin toisilla. UNII-II ja UNII-II extended kanavat toimivat DFS-taajuudella. Näillä taajuuksilla toimii ilmaliikenne- ja säätutkia. Viranomaiset ovat määrittäneet, että tukiasemat eivät saa häiritä tutkia. Tukiaseman on vaihdettava kanavaa välittömästi havaittuaan tutkan. Tämä mekanismi tunnetaan nimellä DFS eli Dynamic Frequency Selection. Kanavas suunnittelussa on huomioitava kanavien ja käytettävien päälaitteiden rajoitukset. Kaikki laitteet eivät tue kaikkia kanavia. (Riihikallio 2017.)

3.3.3 Kontrolleri

Kanavas suunnittelu voidaan tehdä manuaalisesti määrittämällä kaikille tukiasemille staattinen kanava. Suurissa verkoissa staattisen kanavas suunnittelun tekeminen on kuitenkin haastavaa. Lisäksi naapurien käyttämät kanavat ja häiriöt saattavat muuttua, joten viime viikolla tehty kanavas suunnittelu ei välttämättä toimi tällä viikolla.

Tukiasemien asetukset, mukaan lukien kanavat ja lähetystehot, voidaan asettaa myös automaattisesti kontrollerin avulla. Kaikki tukiasemat ovat yhdistetty kontrolleriin, josta niitä hallitaan keskitetysti. Kontrollerille voidaan määrittää mitä kanavia verkossa voi käyttää ja kontrolleri pyrkii määrittämään kaikille tukiasemille parhaan mahdollisen kanavan. Kontrollerille voidaan määrittää myös kuinka usein kanavas suunnittelu suoritetaan. Kanavas suunnittelu voitaisiin

määrittää esimerkiksi kerran päivässä tai täysin dynaamisesti. Näin verkko mukautuu automaattisesti ympäristön mukaan. (Coleman & Westcott 2014, 344-348.)

3.4 Kuormitus

Ennen oli tapana asettaa kaikki tukiasemat täysille lähetystehoille, jotta saatiin tarvittava kuuluvuus mahdollisimman vähällä tukiasemilla. Tämä tapa oli perusteltua, sillä tukiasemat olivat kalliita ja päätelaitteita oli vähän. Nykyisin tukiasemat ovat kuitenkin varsin halpoja ja laitteiden määrä lisääntyy jatkuvasti. (Coleman & Westcott 2014, 440.)

Verkon suunnittelussa kuormitus ja kuuluvuus kilpailevat toistensa kanssa. Kuuluvuusalueiden suuruudet riippuvat alueella käytettävien laitteiden määrästä. Kuuluvuusalueet on syytä pitää pieninä, mikäli alueella on paljon laitteita. Näin yksittäisen tukiaseman kuormitusta saadaan vähennettyä. Kaikilla tukiasemilla on rajallinen suorituskyky, joten käyttäjät on syytä jakaa eri tukiasemille parhaan suorituskyvyn takaamiseksi. Tukiasemien paikkojen valinnalla ja lähetystehojen säädöllä voidaan rajoittaa yhdistyneiden laitteiden määriä. (Coleman & Westcott 2014, 440-441.)

Suunnittelussa on syytä määrittää, kuinka monta samanaikaista käyttäjää yhdelle tukiasemalle halutaan. Käyttäjien määrään vaikuttaa verkossa käytettävät sovellukset. Tietyt sovellukset saattavat vaatia paljon kaistaa ja toiset pientä viivettä. Esimerkiksi verkossa tapahtuva tiedostojen jakaminen vaatii paljon kaistaa ja VoIP pientä viivettä. Laitteet suorittavat taustasynkronointia myös silloin, kun niitä ei käytetä aktiivisesti. Verkkoihin yhdistetään usein tietokoneiden lisäksi puhelimet, tabletit ja IoT-laitteet. Nämä laitteet saattavat suorittaa taustasynkronointia suurimman osan ajasta. Kaikki laitteet kuitenkin kuormittavat verkkoa, vaikka niiden kaistan tarve olisikin pientä. (Coleman & Westcott 2014, 441.)

Kuormitusta voidaan vähentää käyttämällä molempia 2,4 ja 5 GHz verkkoja. 2,4 GHz verkko on usein hyvin ruuhkainen. Tämä verkko onkin usein syytä pitää vain niiden laitteiden käytössä, jotka eivät tue 5 GHz. Verkon valinnan päättää

kuitenkin päätelaite, mikäli molempia verkkoja lähetetään samalla nimellä. Usein laitteet yhdistävät verkkoon, jonka signaalin voimakkuus on vahvin. Vahvin verkko on usein 2,4 GHz, sillä se vaimenee hitaammin kuin 5 GHz. Ongelman ratkaisemiseksi useat laitevalmistajat ovat kehittäneet band steering ominaisuuden. Band steering on tukiasemissa oleva ominaisuus. Verkkoon liittyessään 2,4 ja 5 GHz tukeva laite lähettää liittymispyynnön molemmilla taajuuksilla. Tukiasema näkee nämä pyynöt ja tietää niiden perusteella, että laite tukee molempia taajuuksia. Tukiasema lähettää vastauksen vain 5 GHz taajuudella, mikäli band steering on asetettu päälle. Tietyissä tilanteissa 2,4 GHz liittyminen on kuitenkin kannattavaa. Tukiasema lähettää vastauksen myös 2,4 GHz taajuudella, mikäli päätelaite lähettää liittymispyynnön useaan kertaan. (Coleman & Westcott 2014, 442-443.)

3.5 Mittaus

Ennen asennusta on syytä selvittää mitkä mahdolliset häiriöt ja muut verkot ovat kuuluvissa asennuspaikalla. Häiriöt ja muut verkot vaikuttavat oleellisesti kanavasuunnitteluun. Häiriöitä voidaan mitata spektrianalysointorilla. Spektrianalysointorilla saadaan selville kaikki tietyllä taajuudella tapahtuva liikennöinti. Mittauksella saadaan hyvä käsitys asennuspaikan ympäristöstä ja voidaan välttää tiettyjen kanavien käyttöä. (Netscout 2018.)

Mahdollinen jo paikalla oleva verkko on myös syytä mitata. Olemassa olevan verkon mittauksella saadaan selville esteiden ja ympäristön vaikutus. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää uuden verkon mallintamisessa. Tuloksia analysoimalla voidaan myös selvittää verkossa esiintyviä ongelmia. (Netscout 2018.)

Ap-on-a-stick on suosittu tapa mitata suunniteltu verkko ennen asennusta. Mittauksessa tukiasema asennetaan väliaikaisesti suunnitelluille paikoille ja suoritetaan mittaus tukiaseman ympärillä. Usein tukiasema asennetaan kepin päähän ja tästä onkin yleistynyt nimitys ap-on-a-stick. Kun mittaukset on suoritettu kaikissa suunnitelluissa paikoissa, voidaan tulokset koota yhteen. Mittaustuloksia analysoimalla löydetään mahdolliset ongelmat ja tukiasemien paikkoja voidaan muuttaa helposti. Mittaustapa on hidas, mutta näin saadaan

selvitettyä suunnitelman paikkansapitävyys ja voidaan välttyä mahdollisilta virheiltä. (Netscout 2018.)

Asennuksen jälkeen on suoritettava loppumittaus. Loppumittauksella varmistetaan, että verkko toimii suunnitellulla tavalla ja täyttää verkolle annetut vaatimukset. Tuloksista analysoidaan verkon kuuluvuutta, signaalin laatua ja ylikuulumista. Myös verkon toimivuutta voidaan analysoida, mikäli passiivisen mittauksen lisäksi suoritettiin myös aktiivista mittausta. Aktiivisessa mittauksessa voidaan käyttää esimerkiksi pingiä tai iPerfiä. Pingillä voidaan mitata viivettä ja iPerfillä siirtonopeutta. Tuloksiin vaikuttaa kuitenkin myös muut verkon laitteet kuten kytkimet ja palomuurit. Ping ja iPerf -mittaukset kannattaa suorittaa sisäverkossa, jotta ulkoiset verkot eivät vaikuta tuloksiin. Aktiivisessa mittauksessa voidaan lisäksi mitata roamingin toimivuutta. (Netscout 2018.)

Verkon käyttöönoton jälkeen on syytä seurata verkon toimintaa. Kaikki päätelaitteet eivät ole yhdenvertaisia. Roaming saattaa toimia hyvin yhdellä laitteella, mutta huonosti toisella. Päätelaitteiden herkkyyksissä saattaa olla myös suuria eroja. Tietyt laitteet saattavat suosia 2,4 GHz verkkoa 5 GHz verkon sijaan. Nämä seikat on hyvä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, mutta aina ei välttämättä tiedetä, mitä laitteita verkossa tulee olemaan. Tukiasemien lähetystehoja säätämällä voidaan vaikuttaa roamingiin ja kuuluvuuteen. 5 GHz verkkoa voidaan lähettää suuremmalla teholla, mikäli päätelaitteet suosivat 2,4 GHz verkkoa tai voidaan ottaa käyttöön band steering.

4 ASIAKASTYÖ

Tamperelainen pk-yritys toteutti toimistoverkon uudistuksen. Uudistuksessa vaihdettiin kaikki verkon laitteet Fortinetin laitteisiin. Aikaisemmin verkossa toimi useiden eri valmistajien laitteita. Monen eri valmistajan käyttäminen tuo kuitenkin mukanaan ongelmia. Usein saman valmistajan laitteet ovat paremmin yhteensopivia ja integroituvat paremmin yhteen. Yrityksessä päädyttiin käyttämään Fortinetin laitteita. Fortinetin laitteet integroituvat hyvin yhteen, ovat keskitetysti hallittavia ja antavat hyvän näkymän verkossa tapahtuvaan liikennöintiin.

Uuden verkon on oltava hyvin toimiva, nopea ja vikasietoinen. Verkon on toimittava toimistotilojen molemmissa kerroksissa ja sen on tuettava 2,4 ja 5 GHz verkkoja. Tukiasemana käytetään FortiAP 221E. Tukiaseman tekniset tiedot on lueteltu liitteessä 1. Tukiasemien hallinta suoritetaan Fortinetin palomuurin kautta ja kanavat asetetaan manuaalisesti. Tukiasemia on vähän ja kuuluvuusalueella ei ole juurikaan muita verkkoja, joten manuaalisten kanavien käyttö on perusteltua.

4.1 Nykyinen verkko

Nykyinen langaton lähiverkko on toteutettu käyttäen Ruckuksen tukiasemia ja kontrolleria. Tukiasemia on 4 yläkerrassa ja 2 alakerrassa. Nykyiseen verkkoon tutustuminen aloitettiin mittauksella käyttäen Ekahaun Site Survey -ohjelmaa. Ohjelmaan syötettiin pohjakuvat molemmista kerroksista, asetettiin kerrokset kohdilleen ja syötettiin mittasuhteet. Toimistotilat käytiin läpi suorittamalla mittaukset useissa eri pisteissä. Mittaustulosten perusteella seinien vaimennukseksi saatiin 5 GHz taajuusalueella noin 4 dB ja kerrosten vaimennukseksi saatiin noin 20 dB. 2,4 GHz taajuudella seinien vaimennus oli noin 2 dB ja kerrosten välinen vaimennus noin 10 dB. Kerrosten välinen vaimennus laskettiin ylemmästä kerroksesta alempaan kerrokseen. Verkon kuuluvuus oli riittävä molemmilla taajuuksilla. Raja-arvona käytettiin -67 dBm.

Kaikkien tukiasemien 2,4 GHz radiot olivat käytössä. Käytössä olivat kanavat 1, 4, 7 ja 11. Kanavat kuuluvat osittain toistensa päällä. Tämä saattaa aiheuttaa lähetysten korruptoitumisen ja siten uudelleenlähetysten, jotka hidastavat verkon toimintaa. 5 GHz taajuudella käytettiin 80 MHz kaistanleveyttä. Näin suurella kaistanleveydellä on kuitenkin rajallinen määrä kanavia, joten tukiasemat olivat osittain samoilla kanavilla. Tämä saattaa aiheuttaa myös verkon hidastumista.

4.2 Suunnittelu

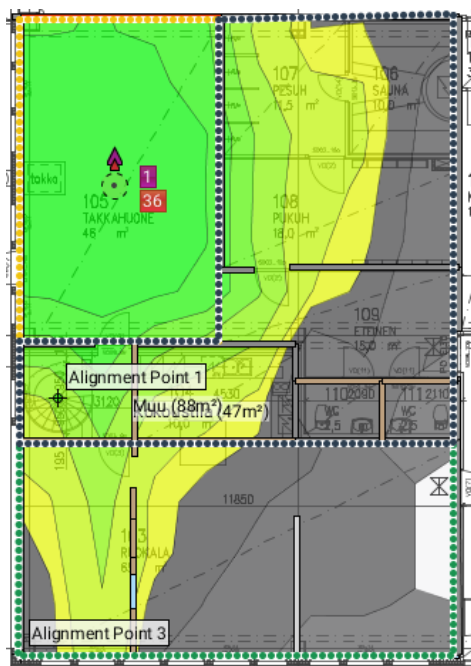
Uusien tukiasemien paikkojen suunnittelussa käytettiin Ekahaun Site Survey -ohjelmaa. Ohjelmaan syötettiin pohjapiirrokset molemmista kerroksista. Pohjapiirrokset olivat CAD-muodossa, joten seiniä ei tarvinnut piirtää manuaalisesti. Seinien vaimennukseksi asetettiin 4 dB. Kerrokset asetettiin kohdilleen ja niiden väliseksi vaimennukseksi asetettiin 20 dB. Suunnitelmaan piirrettiin lisäksi pohjapiirroksesta puuttuvat esteet kuten työpisteitä ympäröivät lasiseinät. Lasiseinien vaimennuksiksi asetettiin 1 dB.

Suunnitelma jaettiin alueisiin. Kullekin alueelle asetettiin omat vaatimuksensa. Vaatimukset koostuivat alueella olevien päätelaitteiden tyypistä, määrästä sekä tarvittavasta kaistasta. Alueilla käytettävien laitteiden määrät vaihtelevat päivän aikana. Vaatimusten arvioinnissa oletettiin, että kaikki työpisteet ovat käytössä. Lisäksi arvioitiin, että verkossa olisi yhtä monta kännykkää kuin tietokonetta. Oletettiin, että kännykät suorittavat vain taustasynkronointia eivätkä näin käytä juurikaan kaistaa.

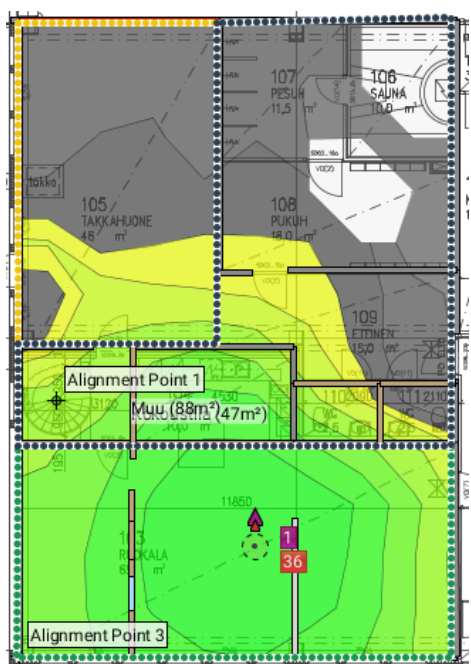
Vaatimusten asetuksen jälkeen käytettiin Ekahaun automaattista tukiasemien suunnittelua. Ekahau laskee asetettujen vaatimusten, ympäristön ja käytettävien tukiasemien mukaan tarvittavat määrät sekä paikat. Käytettäväksi tukiasemaksi asetettiin FortiAP 221E ja 2,4 GHz lähetystehoksi 12 dBm sekä 5 GHz lähetystehoksi 19 dBm. Ekahaun laskemien tukiasemien määriä ja paikkoja hyödynnettiin suunnittelussa. Kaikki automaattisesti asetetut paikat eivät kuitenkaan olleet asennuksen kannalta mahdollisia.

Tukiasemien paikkojen suunnittelussa pyrittiin hyödyntämään jo valmiina olevia kaapelointeja. Uudet kaapeloinnit asennettaisiin tarvittaessa. Suunnittelu

aloitettiin alakerrasta. Alakerrassa on kaksi aluetta, joissa verkon on toimittava: kokoustila ja työpiste. Nykyisen verkon mittauksessa huomattiin, että vaimennus näiden tilojen välillä on suuri. Päätettiin asentaa molempiin tiloihin oma tukiasema. Kuvassa 7 nähdään kokoustilassa ja kuvassa 8 työpisteellä olevien tukiasemien kuuluvuudet.

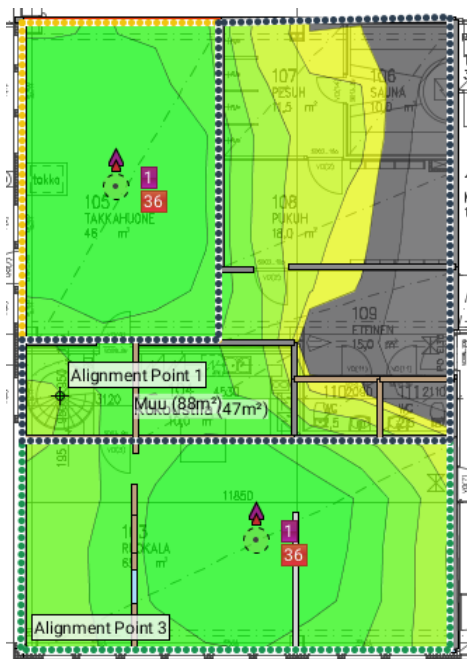


KUVA 7 Alakerran kokoustilan tukiaseman kuuluvuus



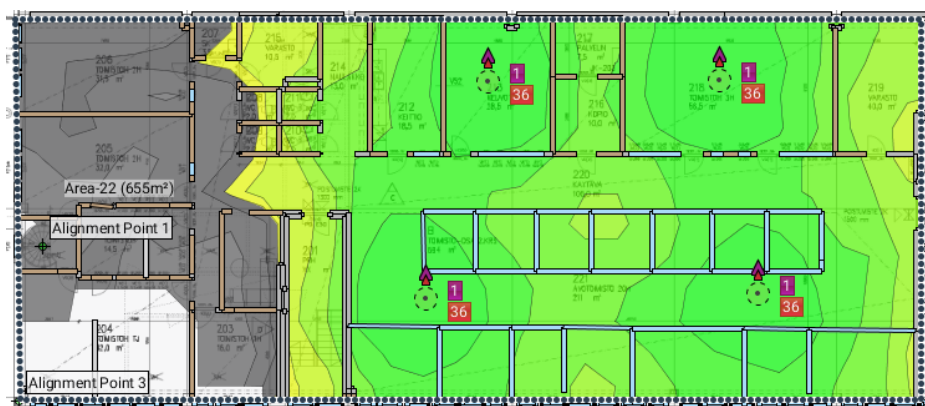
KUVA 8 Alakerran työpisteen tukiaseman kuuluvuus

Kuuluvuuden raja-arvona käytettiin -67 dBm. Alle -67 dBm kuuluvuus näkyy kuvissa harmaana. Kuuluvuusalueista huomataan, että ne ovat osittain päällekkäin. Kuuluvuusalueiden päällekkäisyyttä on oltava, jotta roaming toimii. Kuvassa 9 nähdään koko alakerran kuuluvuus.

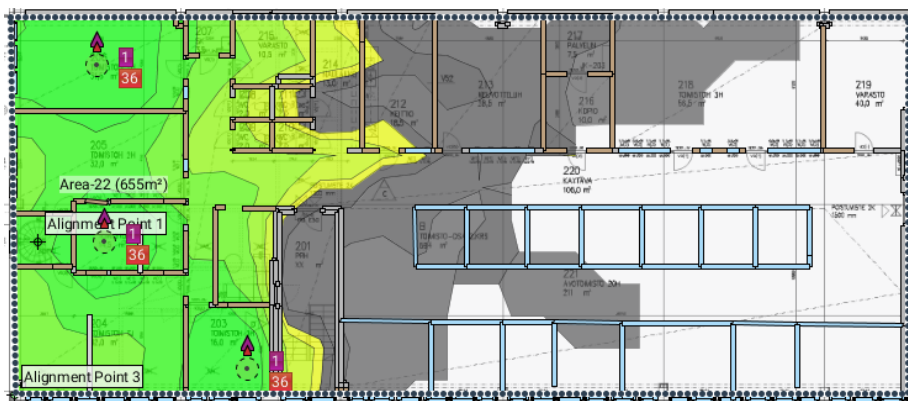


KUVA 9 Alakerran kuuluvuuskartta

Yläkerran suunnittelussa tila jaettiin kahteen osaan. Näiden kahden osan välillä on portaat. Nykyisen verkon mittauksessa huomattiin, että portaiden ympärillä olevan seinän vaimennus on huomattava. Portaat jakavat yläkerran hyvin kahteen osaan, joiden välinen kuuluvuus on heikko. Kuvissa 10 ja 11 näkyvät osiin sijoitetut tukiasemat.

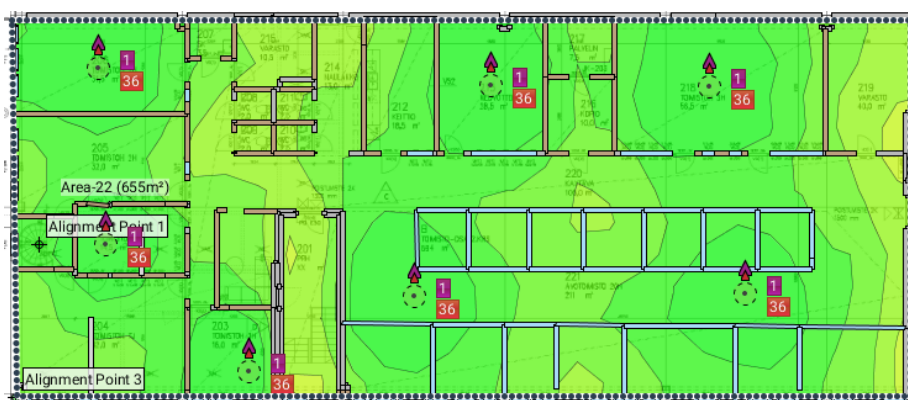


KUVA 10 Yläkerran oikean puolen kuuluvuus



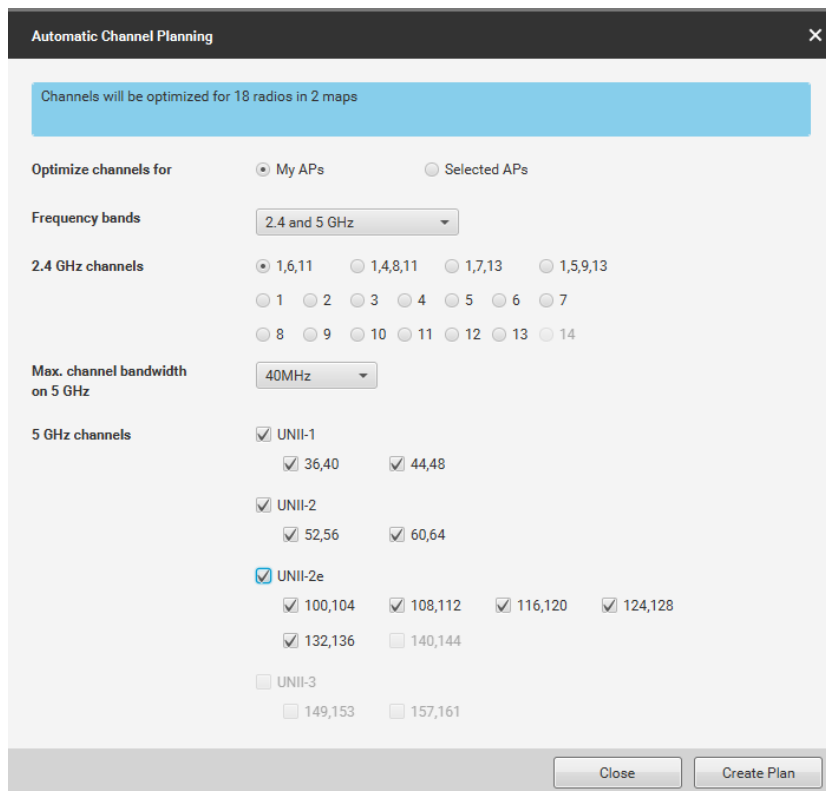
KUVA 11 Yläkerran vasemman puolen kuuluvuus

Tukiasemien määrien ja paikkojen suunnittelussa huomioitiin kuuluvuuden ja roamingin lisäksi myös käytettävien laitteiden määrät. Kuvassa 12 nähdään koko yläkerran kuuluvuuskartta.



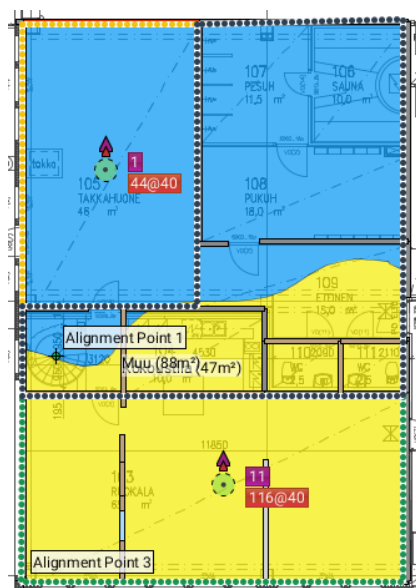
KUVA 12 Yläkerran kuuluvuuskartta

Tukiasemien määräksi saatiin yhteensä 9 kpl. Nykyisen verkon mittauksessa huomattiin, että alueella on vain muutamia muita verkkoja. Muiden verkkojen ja asennettavien tukiasemien määrän perusteella voidaan kaistanleveytenä käyttää 40 MHz 5 GHz verkossa. 40 MHz kaistanleveydellä on tarpeeksi kanavia, jotta kaikki tukiasemat saadaan omille kanaville. Ekahaussa on ominaisuus, jolla kanvasuunnittelu voidaan tehdä automaattisesti. Kuvassa 13 nähdään automaattinen kanvasuunnittelu.

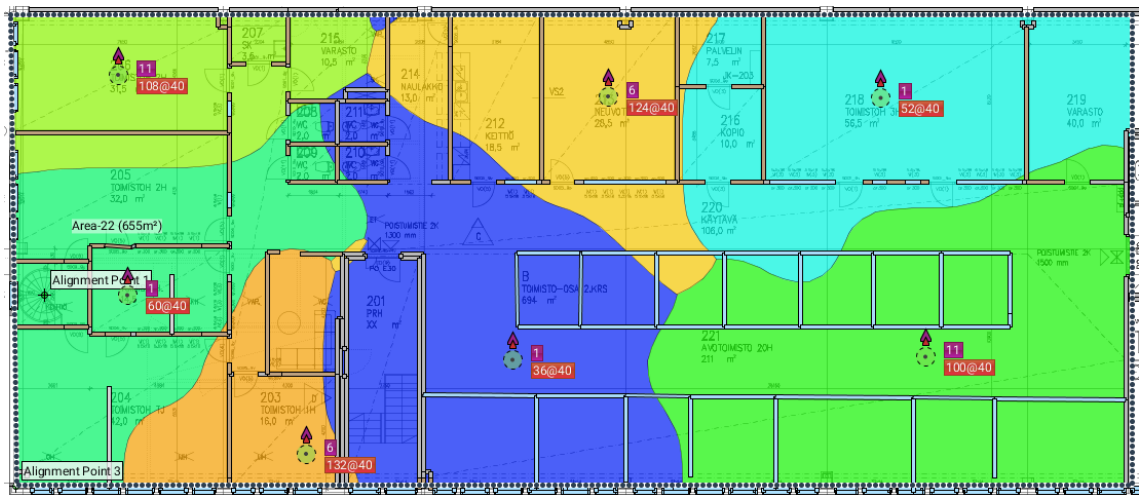


KUVA 13 Automaattinen kanvasuunnittelu

Valitaan 2,4 GHz käytettäviksi kanaviksi 1, 6 ja 11. 5 GHz kaistanleveydeksi valitaan 40 MHz ja käytettäviksi kanaviksi kaikki käytettävissä olevat kanavat. Ekaulla voidaan mallintaa kanavien peittoalueita. Kuvissa 14 ja 15 nähdään alakerran ja yläkerran kanvasuunnittelut sekä 5 GHz eri kanavien peittoalueet.



KUVA 14 Alakerran kanvasuunnittelu ja peittoalueet



KUVA 15 Yläkerran kanvasuunnittelu ja peittoalueet

Kuvista huomataan, että Ekahau jätti kaikki 2,4 GHz radiot päälle vaikka 2,4 GHz kantama on pidempi kuin 5 GHz. Tämä ero on pyritty poistamaan säätämällä lähetystehoja. 2,4 GHz radion lähetystehoksi on asetettu 12 dBm ja 5 GHz radion lähetystehoksi 19 dBm. Lähetystehojen säädön avulla näiden taajuuksien kuuluvuusalueet on saatu Ekahaun mallinnuksessa samoiksi.

4.3 Asennus

Tukiasemat asennettiin suunnitelman mukaisesti. Kaikkien tukiasemien paikoilta löytyi jo kaapeloinnit, joten uusia ei tarvinnut tehdä. Virransyöttö tukiasemille toteutettiin PoE:lla eli power over ethernetillä. PoE tarkoittaa, että data sekä virransyöttö saadaan siirrettyä käyttäen samaa kaapelia. Tukiasemat kytkettiin Fortinetin kytkimiin. Kytkimet ovat kahdennettu viansietokyvyn parantamiseksi. Toiseen kytkimeen kytkettiin 5 ja toiseen 4 tukiasemaa. Tukiasemat pyrittiin jakamaan kytkimille niin, että toisen kytkimen vikaantuessa langaton verkko toimisi edelleen. Tällöin verkon suorituskyky laskisi, mutta lähetystehoja nostamalla kuuluvuus saataisiin taattua. Suunnitelman mukaiset kanavat asetettiin kaikille tukiasemille. Lähetystehot asetettiin automaattisiksi. 2,4 GHz taajuudella lähetystehoa säädellään välillä 10 – 15 dBm ja 5 GHz 10 – 17 dBm. Band steering otettiin myös käyttöön, jotta mahdollisimman moni laite saataisiin 5 GHz verkkoon.

4.4 Mittaus

Mittaus suoritettiin käyttämällä Ekahaun Site Survey -ohjelmaa. Ohjelmaa suoritettiin HP ProBook 650 G1 -kannettavalla tietokoneella. Tietokoneeseen oli lisäksi kytkettynä kaksi Ekahaun NIC-300 usb-verkkosovitinta ja Ekahaun Spectrum Analyzer Model III. Toisella NIC-300 mitattiin 2,4 GHz ja toisella 5 GHz verkkoa. Spektrianalysaattorilla mitattiin 5 GHz taajuutta.

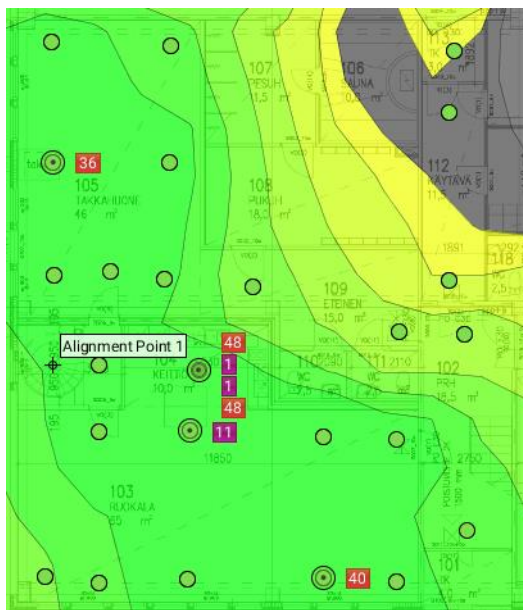
Mittaustulosten perusteella havaittiin, että verkon kuuluvuus oli hyvä ja ylikuulumista ei havaittu 5 GHz verkossa. 2,4 GHz verkossa oli kuitenkin reilusti ylikuulumista. Ongelmia huomattiin jälkikäteen. Osa 5 GHz radioista sammui ja käynnistyi useita kertoja päivän aikana. Lokeja tutkimalla syyksi selvisi jonkin tutkan lähettämä pulssi. Kuvassa 16 nähdään lokeista löytnyt sanoma.

62 16 minutes ago  radar-detected AP AP1 radio 2 found radar pulse, change channel 116 ==> 0.

KUVA 16 Tutkan pulssi huomattu

DFS-taajuuksilla tukiaseman on vaihdettava kanavaa, mikäli tutkasignaali havaitaan. Kanavat asetettiin kuitenkin kaikille tukiasemille staattisesti, joten kanavaa ei voida vaihtaa vaan koko radio on suljettava.

Havaittujen tutkasignaalien vuoksi päädyttiin käyttämään UNII-I kanavia ja 20 MHz kaistanleveyttä. Näin käytettäviä kanavia on vain 4. Aikaisemmasta mittauksesta nähdään kuinka hyvin tietyt tukiasemat kuuluvat tietyissä paikoissa. Tämän tiedon perusteella voidaan tehdä kanavasunnittelu niin, että ylikuulumisesta aiheutuva haitta olisi mahdollisimman pieni. Lisäksi osa 2,4 GHz radioista kytkettiin pois päältä. Kanavasunnittelun jälkeen suoritettiin uusi mittaus. Kuvassa 17 näkyy ensimmäisen kerroksen kuuluvuusmittaus ja kuvassa 18 toisen kerroksen.

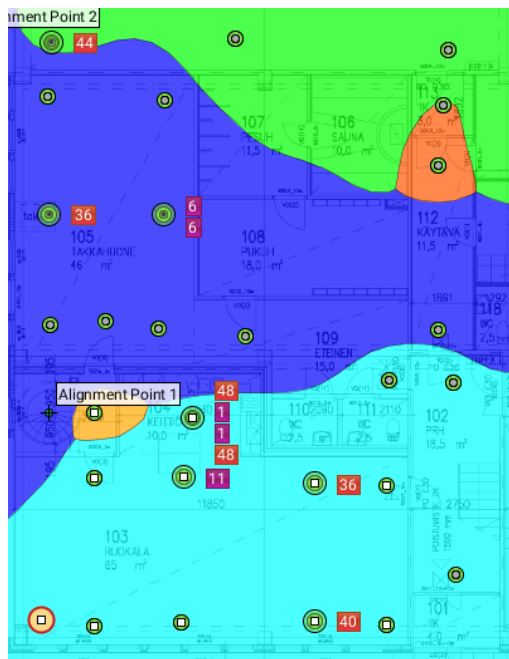


KUVA 17 Ensimmäisen kerroksen kuuluvuusmittaus



KUVA 18 Toisen kerroksen kuuluvuusmittaus

Kuuluvuudet ovat hyvät koko toimiston alueella. Portaisissa ja ensimmäisen kerroksen käytävillä kuuluvuudet olivat heikot. Näillä alueilla ei kuitenkaan ole verkkokäyttäjiä, joten heikolla kuuluvuudella ei ole merkitystä. Kuvassa 19 näkyy ensimmäisen kerroksen tukiasemien kuuluvuusalueet 5 GHz taajuudella ja kuvassa 20 toisen kerroksen.



KUVA 19 Ensimmäisen kerroksen tukiasemien kuuluvuusalueet

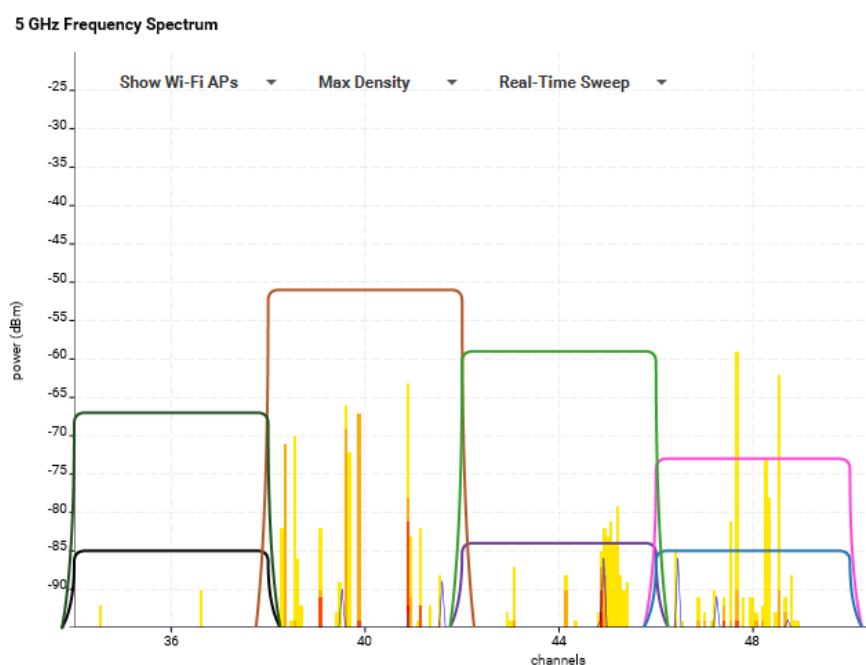


KUVA 20 Toisen kerroksen tukiasemien kuuluvuusalueet

Huomataan, että suunnittelussa mallinnetut kuuluvuusalueet ovat varsin lähellä mitattuja kuuluvuusalueita. Tarkemmin ottaen mittauksessa Ekahau ennustaa mihin tukiasemaan laitteet yhdistäisivät mittauspaiikalla. Ekahau ei anna väreille selityksiä, joten on pääteltävä mikä väri esittää mitäkin tukiasemaa. Tuloksista huomataan, että kartalla näkyy muutamia pieniä alueita, jotka eroavat viereisistä mittauspisteistä. Esimerkiksi toisen kerroksen vasemmassa alakulmassa on mittauspiste, jossa Ekahau ennustaa, että päätelaite yhdistää eri tukiasemaan kuin muissa saman huoneen mittauspisteissä. Tarkemmin saman huoneen mittauspisteiden tuloksia tarkastellessa huomataan, että kuuluvien tukiasemien signaalin voimakkuudet vaihtelevat hyvin vähän. Myös tietokoneella kokeiltaessa

huomattiin, että laite yhdistää samaan tukiasemaan kaikissa mittauspisteissä. Nämä pienet alueet johtuvat todennäköisesti jostakin epätarkkuudesta.

Ylikuulumista huomattiin niin 2,4 kuin 5 GHz taajuuksilla. 2,4 GHz taajuudella ylikuulumista on nyt vähemmän, koska osa radioista suljettiin pois. Ylikuulumisesta ei päästä kuitenkaan täysin eroon. Ensimmäisessä mittauksessa ylikuulumista ei havaittu lainkaan 5 GHz taajuudella, sillä kaikki kanavat olivat eri taajuuksilla. Havaittujen tutkasignaalien vuoksi jouduttiin kuitenkin pienentämään kaistanleveys 20 MHz ja käytettäviksi kanaviksi saatiin vain 4. Kanavasunnittelu pyrittiin tekemään niin, että ylikuulumisesta koituva haitta olisi mahdollisimman pieni. Kuvassa 21 nähdään yhdessä mittauspisteessä havaittu ylikuuluminen.



KUVA 21 5 GHz ylikuuluminen

Huomataan, että ylikuulumista tapahtuu 3 eri kanavalla. Voimakkaimmin kuuluvalla kanavalla ylikuulumista ei kuitenkaan ole. Tämän mittauspisteen läheisyydessä olevat laitteet yhdistyvät kanavalle 40 eivätkä näin kärsi ylikuulumisen haitoista. Kaikilla työpisteillä pyrittiin siihen, että voimakkaimmin kuuluvalla kanavalla ei olisi ylikuulumista. Käytävillä ylikuulumista on kuitenkin kaikilla kanavilla. Käytävillä verkkokäyttö on onneksi varsin vähäistä.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö vaati uuden opettelemista. Langattomien verkkojen suunnittelusta ja mittauksesta ei ollut aikaisempaa kokemusta. Suunnittelun teorian lisäksi oli otettava selvää Ekahau Site Survey -ohjelmasta sekä Fortinetin konfiguroinnista. Ekahausta ja Fortinetistä löytyi kuitenkin hyvin tietoa heidän omilta sivuiltaan.

Opinnäytetyö osoittautui opettavaiseksi. Työssä pääsi perehtymään langattomien verkkojen suunnittelun teoriaan sekä toteutukseen. Työn avulla sai paremman käsityksen langattomista verkoista. Langattomat verkot ovat nykyään kaikkialla, joten työssä opituille tiedoille on varmasti käyttöä myös tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä suunnitellusta ja toteutetusta verkosta saatiin hyvä. Verkkoa on nyt seurattu, eikä ongelmia ole havaittu. 5 GHz verkon siirtonopeus kärsi kuitenkin kaistanleveyden vaihdon yhteydessä. Seuraavaksi olisikin tarkoitus selvittää mistä tukiasemien havaitsemat tutkasignaalit ovat peräisin. Ovatko nämä signaalit todella tutkia vai tulkitsevatko tukiasemat jonkin muun signaalin tutkaksi.

LÄHTEET

Apple. 2017. macOS wireless roaming for enterprise customers. Luettu 8.5.2019. <https://support.apple.com/en-ie/HT206207>

Apple. 2018. About wireless roaming for enterprise. Luettu 8.5.2019. <https://support.apple.com/en-us/HT203068>

Coleman, D. & Westcott, D. 2014. Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide. 4. painos. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.

Crane, J. 2017. Out-of-Band Interference and Noise Floors. Luettu 8.5.2019. <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/202424234-Out-of-Band-Interference-and-Noise-Floors>

Metageek. 2019. Understanding RSSI. Luettu 8.5.2019. <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>

Netscout. 2018. Site Survey Best Practices. Luettu 8.5.2019. <https://enterprise.netscout.com/edocs/site-survey-best-practices>

Säteilyturvakeskus. 2015. Langaton lähiverkko. Luettu 16.5.2019. <https://www.stuk.fi/aiheet/kodin-ja-toimiston-sateilevat-laitteet/langaton-lahiverkko>

Rantala, Ari. 2018. Digitaalinen tiedonsiirto. PDF-tiedosto. Luettu 8.5.2019. Tabula.

Riihikallio, P. 2017. Miten yksi käyttäjä voi tuhota WLAN-verkon suorituskyvyn? Luettu 8.5.2019. <https://metis.fi/fi/2017/01/airtime-fairness-fi/>

Riihikallio, P. 2017. Mitä ovat WLANin DFS-taajuudet ja tarvitseeko niistä välittää? Luettu 8.5.2019. <https://metis.fi/fi/2017/08/dfs-fi/>

Riihikallio, P. 2017. 8 reasons to turn down the transmit power of your Wi-Fi. Luettu 8.5.2019. <https://metis.fi/en/2017/10/txpower/>

Riihikallio, P. 2018. WLAN 2,4 GHz taajuusalueen käyttö. Luettu 8.5.2019. <https://metis.fi/fi/2018/01/2dot4-kanavat/>

Riihikallio, P. 2018. WLAN 5 GHz taajuusalue ja leveät kanavat. 8.5.2019. <https://metis.fi/fi/2018/01/5ghz-kanavat/>

Riihikallio, P. 2018. WLAN roaming. Luettu 8.5.2019. <https://metis.fi/fi/2018/11/roamaus/>

Triuvare. 2019. WLAN-suunnittelu. Luettu 16.5.2019. <https://www.triuvare.fi/palvelut/verkkopalvelut/wlan-suunnittelu/>

LIITTEET



Liite 1. FortiAP 221E tekniset tiedot

Highlights

FortiAP 221E and 223E (Gen 2*)

The FortiAP 221E and 223E are medium-density 802.11ac Wave 2 access points. These Enterprise-class access points are ideal for medium-density environments such as office or classroom with Performance Throughput of up to 867 Mbps.



-  **802.11ac Wave 2 | Dual Radio 2.4 and 5 GHz | 4 Internal/External Antennas**
-  **2x2 MU-MIMO | Up to 400 + 867 Mbps**

Specifications

| | FORTIAP 221E (GEN 2) | FORTIAP 223E (GEN 2) |
|--|---|--|
| Hardware | | |
| Hardware Type | Indoor AP | Indoor AP |
| Number of Radios | 2 + 1 BT/BLE | 2 + 1 BT/BLE |
| Number of Antennas | 4 Internal + 1 Internal BT/BLE | 4 External + 1 Internal BT/BLE |
| Antenna Type and Peak Gain | Patch: 4 dBi for 2.4 GHz, 5 dBi for 5 GHz | Dipole: 4 dBi for 2.4 GHz, 5 dBi for 5 GHz |
| Frequency Bands (GHz)** | 2.400–2.4835, 5.150–5.250, 5.250–5.350, 5.470–5.725, 5.725–5.850 | 2.400–2.4835, 5.150–5.250, 5.250–5.350, 5.470–5.725, 5.725–5.850 |
| Radio 1 Capabilities | 2.4 GHz b/g/n (2x2:2 stream) 20/40 MHz (256 QAM) | 2.4 GHz b/g/n (2x2:2 stream) 20/40 MHz (256 QAM) |
| Radio 2 Capabilities | 5 GHz a/n/ac (2x2:2 stream) 20/40/80 MHz (256 QAM) | 5 GHz a/n/ac (2x2:2 stream) 20/40/80 MHz (256 QAM) |
| Maximum Data Rate | Radio 1: up to 400 Mbps Radio 2: up to 867 Mbps | Radio 1: up to 400 Mbps Radio 2: up to 867 Mbps |
| Bluetooth Low Energy (BT/BLE) Radio | Bluetooth scanning and iBeacon advertisement @ 4 dBm max TX power | |
| Interfaces | 1x 10/100/1000 Base-T RJ45, 1x Type A USB | 1x 10/100/1000 Base-T RJ45, 1x Type A USB |
| Power over Ethernet (PoE) | IEEE 802.3af | |
| Simultaneous SSIDs | 16 (14 if background scanning enabled) | 16 (14 if background scanning enabled) |
| EAP Type(s) | EAP-TLS, EAP-TTLS/MSCHAPv2, EAPv0/EAP-MSCHAPv2, PEAPv1/EAP-GTC, EAP-SIM, EAP-AKA, EAP-FAST | |
| User/Device Authentication | WPA™ and WPA2™ with 802.1x or Preshared key, WEP, Web Captive Portal, MAC blacklist & whitelist | |
| Maximum Tx Power | 2.4 GHz: 23 dBm / 200 mW (2 chains combined)** 5 GHz: 24 dBm / 251 mW (2 chains combined)** | |
| Kensington Lock | Yes | Yes |
| IEEE Standards | 802.11a, 802.11b, 802.11d, 802.11e, 802.11g, 802.11h, 802.11i, 802.11j, 802.11k, 802.11n, 802.11r, 802.11s, 802.11t, 802.11u, 802.11v, 802.11w, 802.11x, 802.11y, 802.11z, 802.3af, 802.3az | |
| SSID Types Supported | Local-Bridge, Tunnel, Mesh | |
| Per Radio Client Capacity | Up to 512 | |
| Cellular Co-existence | Yes | Yes |
| LED Off Mode | Yes | Yes |
| Advanced 802.11 Features | | |
| 802.11ac Wave 2 MU-MIMO | Yes | Yes |
| Transmit Beam Forming (TxBF) | Yes | Yes |
| Low-Density Parity Check (LDPC) Encoding | Yes | Yes |
| Maximum Likelihood Demodulation (MLD) | Yes | Yes |
| Maximum Ratio Combining (MRC) | Yes | Yes |

| | FORTIAP 221E (GEN 2) | FORTIAP 223E (GEN 2) |
|---|--|---|
| A-MPDU and A-MSDU Packet Aggregation | Yes | Yes |
| MIMO Power Save | Yes | Yes |
| Short Guard Interval | Yes | Yes |
| Wireless Monitoring Capabilities | | |
| Rogue Scan Radio Modes | Background, Full-time | Background, Full-time |
| WIPS / WIDS Radio Modes | Background, Full-time | Background, Full-time |
| Packet Sniffer Mode | Yes | Yes |
| Spectrum Analyzer | Yes | Yes |
| Dimensions | | |
| Length x Width x Height | 6.3 x 6.3 x 1.85 inches (160 x 160 x 47 mm) | 6.3 x 6.3 x 1.85 inches (160 x 160 x 47 mm) |
| Weight | 1.1 lbs (0.5 kg) | 1.1 lbs (0.5 kg) |
| Package (shipping) Weight | 4.95 lbs (2.2 kg) | 5.3 lbs (2.4 kg) |
| Mounting Options | Ceiling, T-Rail and Wall | Ceiling, T-Rail and Wall |
| Included Accessories | Mount kits for Ceiling, T-Rail, and Wall | Mount kits for Ceiling, T-Rail, and Wall, 4 dipole antennas |
| Environment | | |
| Power Supply | SP-FAP200-PA-XX, GPI-115, or GPI-130 | SP-FAP200-PA-XX, GPI-115, or GPI-130 |
| Power Consumption (Max.) | 12.36 W | 12.36 W |
| Humidity | 5–90% non-condensing | 5–90% non-condensing |
| Operating / Storage Temperature | –4–113°F (–20–45°C) / –40–158°F (–40–70°C) | –4–113°F (–20–45°C) / –40–158°F (–40–70°C) |
| Directives | Low Voltage Directive • RoHS | |
| UL2043 Plenum Material | Yes | Yes |
| Mean Time Between Failures | >30 Years | >30 Years |
| IP Rating | — | — |
| Surge Protection Built In | — | — |
| Hit-less PoE Failover | No | No |
| Certifications | | |
| WiFi Alliance Certified | Yes | Yes |
| DFS | FCC, IC, CE, Japan, Taiwan | FCC, IC, CE, Japan, Taiwan |
| Warranty | | |
| Limited Lifetime Warranty | Yes | Yes |

* Gen 2 applies to APs with Part number: P23607-0x (for 221E) and P23611-0x (for 223E).

** Frequency selection and power may be restricted to abide by regional regulatory compliance laws.