

Eetu Oksman

# Ammattikorkeakoulun kampuksen langattoman lähiverkon kartoitus ja mallinnus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

4.12.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Eetu Oksman Ammattikorkeakoulun kampuksen langattoman lähiverkon kartoitus ja mallinnus 37 sivua + 2 liitettä 4.12.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot ja tietoliikenne
Ohjaaja	Yliopettaja Matti Puska
<p>Insinöörityön tavoitteena oli ammattikorkeakoulun kampuksen WLAN-verkon kartoittaminen ja mahdollinen käyttäjäkokemuksen parantaminen verkon mallinnuksen avulla.</p> <p>Langattoman lähiverkon teknologiat ja sen käyttötavat ovat kehittyneet nykyiseen muotoonsa 2000-luvulla. Langattoman lähiverkon suunnittelun ja toteuttamisen tärkeitä periaatteita ovat asiakastarpeet, käyttötavat, päätelaitteet, toimivuuden luotettavuus ja verkon turvallisuus. Langattoman lähiverkon mallinnuksen ja mittauksen avulla on mahdollista selvittää verkon virheitä ja optimoida verkon toimivuutta.</p> <p>Työssä käytettiin ammattikorkeakoulun kampuksen langattoman lähiverkon mittaukseen ja mallinnukseen Ekahau Site Survey -ohjelmistoa. Mittaukset toteutettiin kesällä 2016 koko kampuksen kiinteistön alueella. Yhden kerroksen mittaustulokset analysoitiin tarkemmin.</p> <p>Mallinnusta varten kiinteistö ja sen vaikutukset radioaaltojen etenemiseen toteutettiin virtuaalisesti Ekahau Site Survey -ohjelman Planner-osiolla, minkä jälkeen WLAN-verkko rakennettiin tähän pohjaan. Mallinnus tehtiin syksyllä 2016 kesän mittaustulosten avulla. Mallinnuksen avulla verkkoon tehtäviä muutoksia on mahdollista kokeilla, ennen kuin ne otetaan käyttöön.</p> <p>Työn tuloksena havaittiin useita puutteita kampuksen langattoman lähiverkon toteutuksessa. Mittaustulosten perusteella voitiin todeta, ettei verkon kanavointia ja tukiasemien tehoa ollut säädetty tarkoituksenmukaisesti. Tukiasemien määrä oli myös paikoitellen liian vähäinen verkon toimivuuden varmistamiseksi laitteiden vikaantuessa.</p> <p>Työssä toteutetun mallinnuksen avulla voidaan suunnitella kampuksen langattoman lähiverkon optimointi.</p>	
Avainsanat	WLAN, Ekahau, Site Survey, Ekahau Planner, WLAN-suunnittelu

Author Title Number of Pages Date	Eetu Oksman Mapping and modeling of a UAS campus wireless local area network. 37 pages + 2 appendices 4.12.2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Computer Networks and Telecommunications
Instructor	Matti Puska, Principal Lecturer
<p>The objective of this thesis was to survey the Wireless Local Area Network (WLAN) at a campus of a university of applied sciences and to enhance the user experience by modeling the network.</p> <p>WLAN technologies and services have evolved to the current state during the last two decades. The key principles for designing and implementing WLAN are customer needs, service requirements, terminals, reliability and network security. The modern site survey and modeling tools enable wireless network troubleshooting and optimization.</p> <p>One of the modeling tools, Ekahau Site Survey, was used in this final year project. The survey was performed during the summer of 2016 inside the campus premises. The survey includes measurements on all the floors of the campus building. This thesis focuses on the analyses of network issues on one specific floor.</p> <p>Ekahau Site Survey Planner was used to create a model for the campus premises and to recreate the existing WLAN in virtual form. The model considers the effects of the building materials and the construction to the indoor radio wave propagation. The model was created during the autumn of 2016 using the data from the site survey performed in the summer. The model enables design and testing of the network changes before implementation.</p> <p>As a result of the analyses a number of configuration defects and implementation issues were found in the campus WLAN. Network channeling and access point power adjustments were made inefficiently. Furthermore the amount of access points was inadequate in certain areas. Redundancy is required to ensure the network's high availability.</p> <p>The optimization of the campus WLAN is possible by using the survey data and the network model created during this final year project.</p>	
Keywords	WLAN, Ekahau, Site Survey, Ekahau Planner, WLAN planning

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Langaton lähiverkko	2
2.1	Langattoman lähiverkon teknologia	2
2.1.1	Radio	3
2.1.2	Antennit	7
2.2	Langattoman verkon käyttö	10
2.2.1	Solut ja kanavointi	11
2.2.2	Roaming	12
2.2.3	Liikenteen eriyttäminen ja priorisointi	12
2.2.4	Tietoturva	13
3	Langattoman verkon toteuttaminen	16
3.1	Suunnittelun pohjatiedot	17
3.2	Suunnittelu	18
3.3	Toteutus ja optimointi	18
4	Leppävaaran kampuksen langattoman verkon mittaus ja mallinnus	20
4.1	Kampuksen ja ohjelmiston esittelyt	20
4.2	Kampuksen Site Survey	22
4.2.1	Mittauksen suorittaminen	23
4.2.2	Tulokset	24
4.2.3	Verkon parannus	28
4.3	Kampuksen mallinnus	29
4.3.1	Mallinnuksen toteuttaminen	30
4.3.2	Mallinnuksen hyödyntäminen	32
5	Johtopäätökset	34
	Lähteet	35

## Liitteet

Liite 1. A Site Survey -mittausraportti

Liite 2. B Site Survey -mittausraportti

## Lyhenteet ja termit

WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton paikallinen verkko, langaton lähiverkko.
AP	Access Point. Tukiasema.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol. Verkon IP-osoitteita jakava instanssi.
AD	Active Directory. Verkon käyttäjätietokanta, joka sisältää tiedot käyttäjistä, laitteista ja verkon resursseista.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö, yleisesti pidetty maailman suurimpana ja merkittävimpänä teknisenä järjestönä.
SSID	Service Set Identifier. Langattoman verkon verkkotunnus.
VoIP	Voice over Internet Protocol. Äänen- ja äänipuheluiden siirtäminen IP-verkon kautta..
VLAN	Virtual Local Area Network. Virtuaalinen lähiverkko. Kiinteän lähiverkon sisällä tehtävä liikenteen jakaminen erilleen virtuaalisesti.
QR-koodi	Quick Response. Ruutukoodi. Kaksiulotteinen kuvio, jonka pystyy lukemaan samalla tavalla kuin viivakoodin.
IOT	Internet of Things. Asioiden tai esineiden internet. Laitteet kehittyvät ja niitä on alettu laittaa kiinni internetiin.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance. Tekniikka, jolla mahdollistetaan usealla laitteella saman tietoliikennesiirtotien käyttö.
LTE	Long Term Evolution. 3G-tekniikka, joka on luotu pienentämään väliä 4G:hen.

## 1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan WLAN-verkon (Wireless Local Area Network) toimintaa, käyttötarkoituksia ja suunnittelua. Työn tavoitteena on kartoittaa Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran-kampuksen WLAN-verkon nykyinen tila ja tehdä sen pohjalta kampuksesta 3D-mallinnus, jonka avulla voi suunnitella ja testata WLAN-verkon muutoksia.

WLAN-verkon toiminnassa paneudutaan langattomaan lähiverkkoteknologiaan, radioiden kanavoiteihin ja erilaisten antennien toimintaan.

Langattoman lähiverkon toimintaa kuvaavassa luvussa paneudutaan itse teknologian käyttöön ottaen samalla huomioon edellisessä luvussa läpikäytyjen teknologioiden toiminnalliset asiat. Käyn laajemmin läpi teknologiaa sen käyttämisen kannalta ja esittelen langattoman lähiverkon perusteita.

Suunnitteluluvussa perehdytään langattoman lähiverkon suunnitteluperusteisiin ja hyödynnetään teknologia- ja käyttöosioissa läpikäytyjä asioita.

Luvussa 4 käyn läpi kampuksella tekemäni Site Survey -mittauksen tulokset. Käyn läpi verkon mahdolliset tämänhetkiset ongelmat ja ongelmien aiheuttajat. Lisäksi käyn läpi kampuksen langattoman verkon mallinnusta ja sitä, kuinka sitä voi hyödyntää tulevaisuudessa verkon laadun ylläpitämisessä.

Työ tehdään Metropolian langattoman verkon nykyisen tilanteen selvittämiseksi ja sen mallintamiseksi. Samalla käydään läpi yleisellä tasolla mahdollisia verkon ongelmia. Metropoliasa käytetään laajasti langatonta verkkoa opiskeluun, ja verkon mahdollisimman hyvä toimiminen on tärkeitä isolla osalla oppitunneista. Suurin osa opiskelijoiden ja opettajien päivittäin käyttämistä palveluista on internetin tai oppilaitoksen sisäverkon puolella, joten langaton verkko helppokäyttöisyydessään on paras ratkaisu ympäristöön nähden. Kun itse aloitin opiskelun Leppävaaran-kampuksella, langaton verkko toimi todella huonosti tietyissä luokissa ja verkossa olevien opiskelumateriaalien käyttäminen oli haastavaa, kun vain osa pääsi verkkoon.

## 2 Langaton lähiverkko

Langaton lähiverkko, toiselta nimeltään WLAN, on toinen käytetyimmistä langattomista tiedonsiirtoteknologioista matkapuhelinverkkojen lisäksi. Sitä käytetään kotona, koulussa, työpaikalla ja julkisilla alueilla internetiin ja muihin verkkopalveluihin pääsemiseen. Langattoman lähiverkon käyttöaste kasvaa jatkuvasti, ja muun muassa Helsingin kaupunki on ollut edelläkävijä luodessaan ilmaisen avoimen WLAN-verkon Helsingin keskustan turistikohteisiin [1].

WLAN-verkot ovat yleisessä käytössä, mutta suurin osa ihmisistä ei kuitenkaan tiedä niiden toimintaperiaatetta eivätkä he osaa hyödyntää sitä parhaalla mahdollisella tavalla ja samalla suojata oman liikenteensä rikollisilta ja muilta väärinkäyttäjiltä.

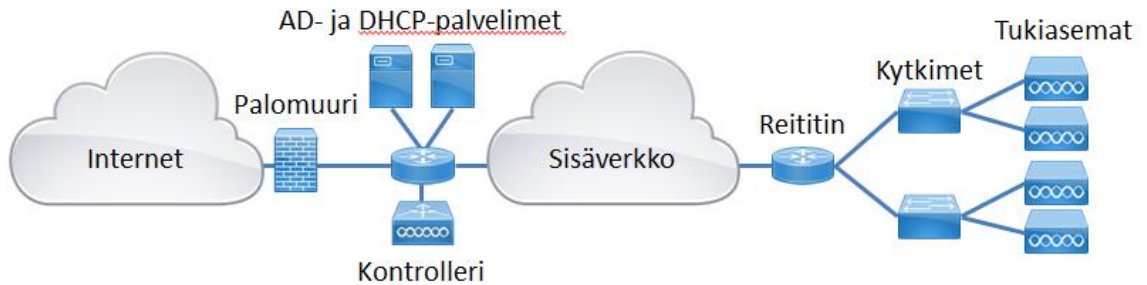
### 2.1 Langattoman lähiverkon teknologia

Langaton lähiverkko koostuu peruselementeiltään joko yksittäisistä autonomisista tukiasemista tai kontrolleripohjaisesta järjestelmästä.

Kotona käytetään tyypillisesti yksittäistä autonomista tukiasemaa. Se on laite, joka konfiguroidaan suoraan ja joka itse hoitaa kanavapäätöksensä ja kodin päätelaitteiden liikenteen ohjaamisen. Tällainen kotona käytettävä toteutus sisältää yleensä WLAN-reitittimen, joka ottaa internetyhteytensä suoraan palveluntarjoajalta ja jakaa sen langattoman verkon ja langallisen verkon muodossa yksittäiseen asuntoon. Tällainen järjestelmä toimii yleisenä verkon palomuurina, DHCP-palvelimena (Dynamic Host Configuration Protocol), reitittimenä, kytkimenä ja langattomana tukiasemana.

Kontrolleripohjainen järjestelmä koostuu useista ohjatuista tukiasemista, joita ei voi itsenäisesti ohjata suoraan laitteesta, vaan niitä ohjataan erillisestä langattoman verkon kontrollerista. Nämä kontrollerit ohjaavat tukiasemaa antamalla muun muassa kanavatieidot, antennien tehon, SSID:t ja käytetyt salausratkaisut. Tällaista kontrolleripohjaista järjestelmää käytetään yleisesti yrityksissä ja isoissa julkisissa paikoissa. Tämän tyyppisessä järjestelmässä on erikseen palomuri, DHCP-palvelin, AD-palvelin (Active Directory), reitittimet, kytkimet ja langattomat tukiasemat. Langatonta tukiasemaa lisättäessä se kytketään kytkimeen, jota kautta sen liikenne ohjataan reitittimen kautta DHCP-palvelimelle, jolta tukiasema saa IP-osoitteen (Internet Protocol). IP-osoitteen kanssa

tukiasema saa myös oletusyhdyskäytävän kontrollerille. Kontrolleri päivittää tukiaseman oikeaan ohjelmistoversioon ja kertoo tukiasemalle sen asetukset. Tällöin tukiasemien asetusten ja ohjelmistoversioiden hallinta on helpompaa, kun kaikki muutokset voi tehdä kohdistetusti kontrollerilta. [2.] Kuvassa 1 on esiteltyä tyypillinen kontrollerijärjestelmän verkkotopologia.



Kuva 1. Kontrollerijärjestelmä.

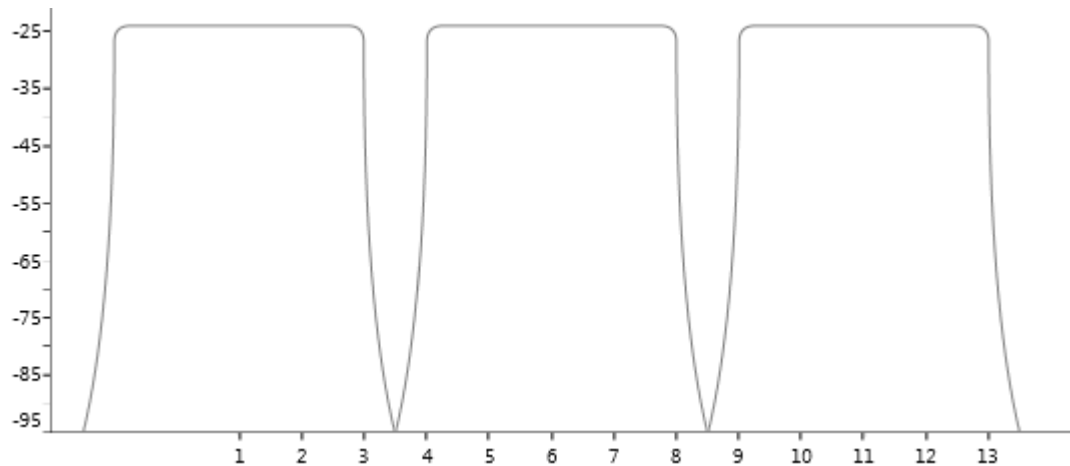
Yksittäinen tukiasema sisältää käyttötarkoituksesta riippumatta ainakin seuraavat komponentit: radion, antennin ja kiinteän verkkoliitännän. Tukiasemalla voi olla useita erilaisia komponentteja eri käyttötarkoituksiin. Näitä komponentteja ja kokonaisuuksia kehitetään jatkuvasti, ja näin pyritään parantamaan tukiasemien tiedonsiirto- ja käsittelynopeutta.

Tukiasemia ja koko verkkoa voidaan valvoa ja hallita keskitetysti Cisco Prime -ohjelmalla. Tällöin pystytään näkemään koko verkko käyttöliittymästä, jolloin ongelmien havaitseminen ja niihin puuttuminen on helpompaa kuin erikseen tehtävä yksittäisten laitteiden valvonta. Yritysmaailmassa Cisco Primea ja vastaavia ohjelmia käytetään laajalti verkkoinfrastruktuurin valvontaan [3].

### 2.1.1 Radio

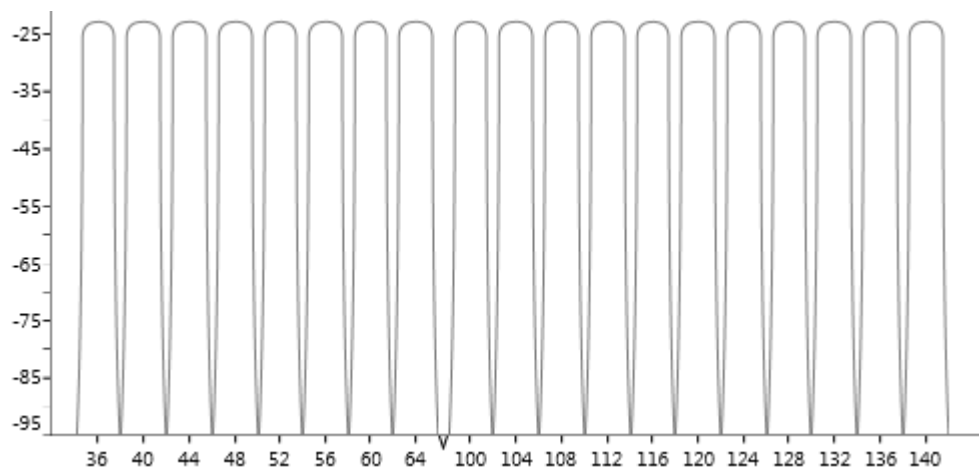
Langattoman lähiverkon radiotekniikkaa ohjaa IEEE:n standardi 802.11, jonka versiot määrittävät standardoitujen radiolaitteiden ominaisuudet. Langattoman verkon radiotekniikka käyttää 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuuksia. 2,4 GHz:n kanavat ovat 22 MHz:n levyisiä ja niiden väli on 5 MHz. Täten 2,4–2,5 GHz:n alueelle mahtuu vain kolme kanavaa, jotka eivät mene päällekkäin toistensa kanssa. [4.] Tämä on havainnollistettu kuvassa 2.





Kuva 2. 2,4 gigahertsin kanavajaottelu.

5 GHz:n kanavat ovat 20 MHz:n levyisiä, joten 5,18-5,32 GHz:n välille mahtuu kahdeksan kanavaa ja 5,50-5,70 GHz:n alueelle mahtuu yksitoista kanavaa. Täten 5 GHz alueella on 19 erillistä sisäkäyttöön standardoitua kanavaa, jotka eivät mene päällekkäin toistensa kanssa. [5.] Tämä on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. 5 gigahertsin kanavajaottelu.

Langattoman lähiverkon määrittelevä 802.11-standardi koostuu useasta eri julkaisusta [6].

Alkuperäinen 802.11-standardi on julkaistu vuonna 1997. Siinä määritellään 2,4 GHz:n alueella 1 tai 2 Mb/s -nimellisa nopeudella toimivat WLAN-tekniikat.

802.11b on vuonna 1999 julkaistu 2,4 GHz:n taajuudella 5,5- tai 11 Mb/s -nimellisesnopeudella toimiva tekniikka. 802.11b tukee myös alempia nopeuksia, 1 ja 2 Mb/s, sen aiemmista versioista [7].

802.11a on vuonna 1999 julkaistu 5 GHz:n taajuudella 54 Mb/s -nimellisesnopeudella toimiva tekniikka. 802.11a tukee myös alempia nopeuksia sen aiemmista versioista. [8].

802.11g on vuonna 2003 julkaistu 2,4 GHz:n taajuudella 11- tai 54 Mb/s -nimellisesnopeudella toimiva tekniikka. 802.11g on yhteensopiva 802.11b-tekniikan kanssa ja on suurimmalta osin syrjäyttänyt sen kokonaan. 802.11g tukee myös alempia nopeuksia sen aiemmista versioista. [9].

802.11n on vuonna 2009 julkaistu 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuudella toimivan noin 100 Mb/s nimellisesnopeudella toimiva tekniikka. Teoreettisesti sen nopeus voidaan nostaa 600 Mb/s saakka. 802.11n tukee MIMO-tekniikkaa (multiple-input, multiple-output), jossa käytetään useaa antennia ja kanavaa datan siirtoon. 802.11n sisältää myös kanavalaajennukset, joilla 20 MHz:n kanavan saa laajennettua 40 MHz:iin. 802.11n tukee myös alempia nopeuksia aiemmista versioista. [10].

802.11ac on vuonna 2013 julkaistu 5 GHz:n taajuudella toimiva tekniikka. Teoreettisesti sen nopeus voidaan nostaa 1 300 Mb/s saakka. 802.11 tukee myös MIMO-tekniikkaa, ja uutuuksena on MU-MIMO (multi-user MIMO), joka parantaa tekniikan toimivuutta, kun MIMO-käyttäjiä on enemmän kuin yksi. 802.11ac sisältää kanavalaajennukset 80 MHz:iin ja 160 MHz:iin. 802.11ac tukee myös matalampia nopeuksia aikaisemmista versioista. [11].

802.11-standardit pystyvät käyttämään myös alempia nopeuksia kuin edellä esitetyt maksiminopeudet.

Uudemmissa standardeissa käytössä olevaa nopeutta voi lisätä ottamalla käyttöön kanavan laajennuksia tai lisäämällä useamman radion samaan laitteeseen. Näin tekemällä kuitenkin käytettävissä olevien kanavien määrä pienenee ja ratkaisun toteutuksesta tulee vaikeampaa isoissa langattomissa verkoissa.

Radio jakaa kaistanleveytensä päätelaitteille radioaikana, eli jokainen laite saa oman aikavälinsä (time slot), jolloin se voi lähettää tai vastaanottaa dataa. Lähettäminen ja vastaanottaminen aloitetaan tekemällä siirtotien varaus. Lähettämistä aikova laite varaa aikavälin lähettämällä varausviestin ja sen jälkeen vasta varsinaisen datan. Tällä estetään signaalien törmäykset, ja tekniikan nimi on CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance). Mitä enemmän on päätelaitteita, sitä vähemmän radioaikaa radiolla on yhtä laitetta kohden. Kaistanlevennykset ja usean erillisen radion käyttö lisäävät radioaikaa laitetta kohden, mutta ne samalla vähentävät kokonaisratkaisussa käytettävien kanavien lukumäärää. [12].

MIMO-tekniikkaa käytetään pääasiassa kahdella tavalla, joko tiedonsiirtonopeuden maksimointiin tai parantamaan tiedonsiirron luotettavuutta. Tiedonsiirtonopeuden maksimoinnissa vastaanottajalla tulee olla vähintään yhtä monta antennia kuin lähettäjällä. Tällä tavalla kutakin lähetin-vastaanotinparia voidaan käyttää omana lähetyiskanavanaan ja teoriassa siirrettävän datan maksimimäärä saadaan kerrottua käytössä olevien parien määrällä. Tiedonsiirron luotettavuutta parannettaessa MIMO-tekniikalla käytetään aika-tilakoodausta, jolla vähennetään häviöstä aiheutuvia haittoja kuten viivettä. Sama signaali lähetetään samanaikaisesti usealla antennilla, ja näin saavutetaan parempi virheensieto ja tällöin myös signaalin kantomatka paranee. [13].

Useimmissa langattomissa lähiverkoissa käytetään hajaspektritekniikkaa. Se on alun perin sotilaskäyttöön suunniteltu turvallisten ja luotettavien yhteyksien toteuttamiseen tarkoitettu tekniikka. Hajaspektritekniikasta on käytössä kaksi erityyppistä lähetystandardia: suorasekvenssilähetys ja taajuushyppelytekniikka.

Suorasekvenssilähetyksessä kaikkia taajuusalueen alitaajuuksia käytetään yhtä aikaa rinnakkain. Yhtä tietobittiä kuvaamaan tulee 11 alibittiä, ja signaali sotketaan tekokohinaan. Tällöin signaalista saadaan 11 kertaa leveämpi ja sitä on vaikeata erottaa taustakohinasta. Tämä lisää käyttöturvallisuutta ja häiriönsietoa, koska yksittäisillä alitaajuuksilla esiintyvät häiriöt eivät estä tiedonsiirtoa.

Taajuushyppelytekniikassa vaihdetaan taajuutta sen nimen mukaisesti. Tämä tapahtuu erikseen sovittun kaavan mukaan, ja se tarjoaa paremman kantavuuden kuin suorasekvenssitekniikka. Eri taajuudet tunkeutuvat tasaisemmin eri materiaalien lävitse kuin kiinteä taajuus, mikä pienentää myös virhemarginaalia. [14].

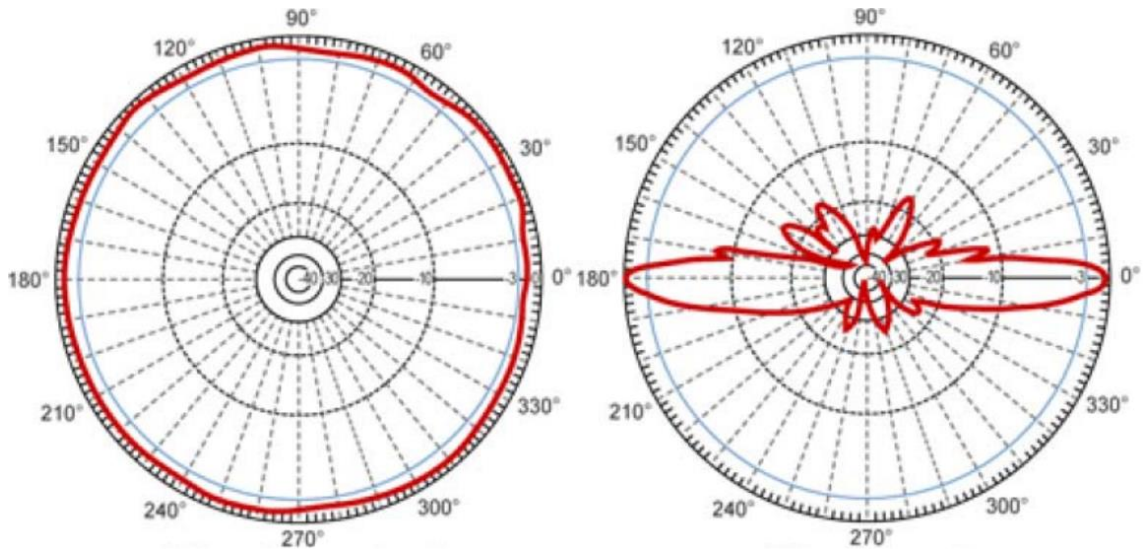
OFDM-modulointia (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) voidaan käyttää erilaisissa tiedonsiirtojärjestelmissä, kuten esimerkiksi WLAN:ssa, digitelevisiossa ja LTE:ssä (Long Term Evolution). OFDM:ssä moduloitava symboli vastaa kompleksilukuina esitettyjä taajuuksien ja voimakkuuksien vaihekuilimia, jotka muutetaan diskreetillä Fourier-käänteismuunnoksella digitaalisen signaalin vaihteluksi. Saatu digitaalinen signaali taas muunnetaan analogiseksi kantataajuiseksi OFDM-signaaliksi. Kantataajuista signaalia voidaan tämän jälkeen käyttää suoraan, tai se moduloidaan radiotaajuiseksi kantoaalloksi. Tämä on perustietoliikennetekniikka, jolla dataa saadaan muutettua radiolähteykseen vaadittavaan muotoon. [15].

Langattoman verkon suorituskykyä mietittäessä tulee ottaa huomioon myös kiinteän verkon suorituskyky. Kiinteän verkon ulospäin lähtevän liikenteen kapasiteetti jaetaan kaikille verkon käyttäjille. Jos se on esimerkiksi 100 Mb/s, tukiasemat voivat välittää liikennettä internetiin yhteensä enimmillään vain 100 Mb/s.

### 2.1.2 Antennit

Antenneja on pääasiassa kahdentyyppisiä: ympärisäteileviä ja suunta-antenneja. Yleisesti eniten käytössä olevat antennit ovat ympärisäteileviä, koska niillä saadaan laajin peitto-ala.

Ympärisäteilevän antennin keila säteilee horisontaalitasolla joka suuntaan. Keilan kuvio on antennikohtainen, ja sen kantomatka riippuu radiolle asetetusta tehosta. Antenni säteilee ympärilleen vain vaakatasossa, jotta käytetty säteilyteho saadaan kohdistettua tarpeelliseen suuntaan. Tämä on havainnollistettu kuvassa 4.

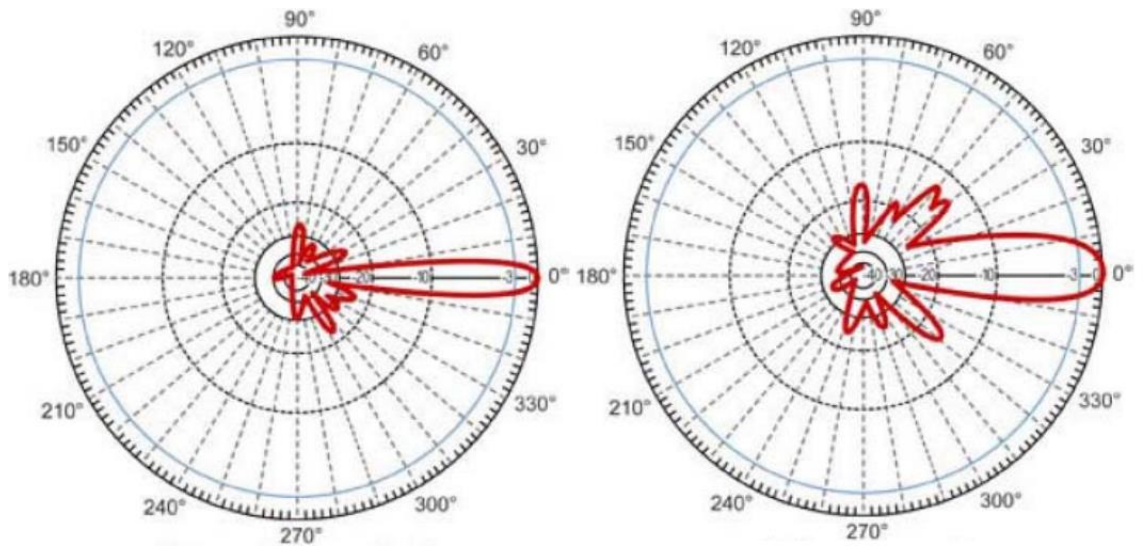


Vaakatasossa.

Pystytasossa.

Kuva 4. Ympärisäteilevän antennin keila [17].

Suunta-antennin keila levittyy voimakkaimmin yhteen pääsuuntaan. Suunta-antenni säteilee kuitenkin jonkin verran myös sivuille ja taaksepäin. Myös suunta-antennin keilan kuvio on antennikohtainen, ja kantomatkan määrittelevät radion tehoasetukset. [16.] Kuten kuvassa 5.



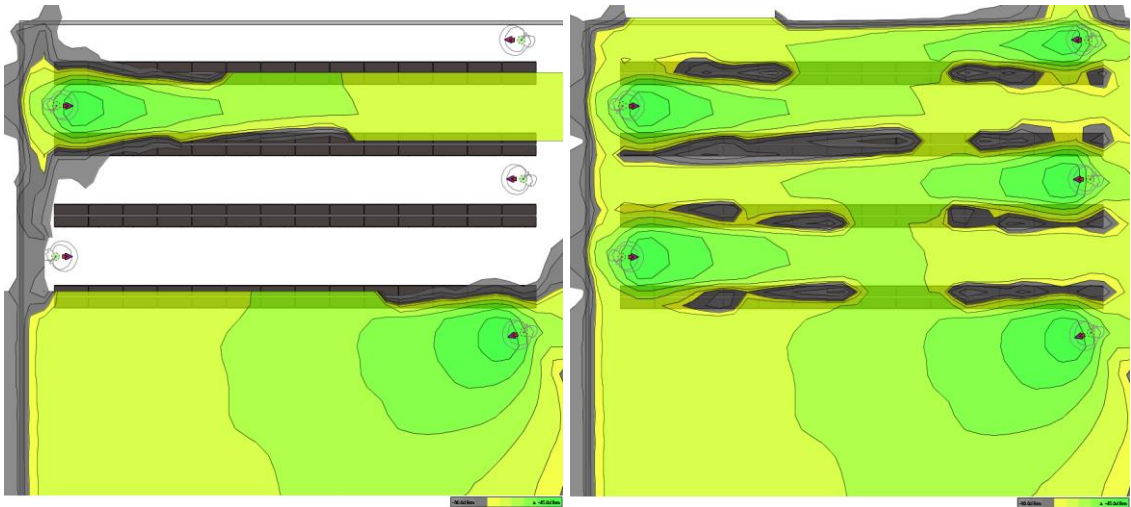
Vaakatasossa.

Pystytasossa.

Kuva 5. Suunta-antennin keila [17].

Suunta-antenneja käytetään saamaan linkkiyhteys vain tiettyyn suuntaan. Esimerkiksi isossa hyllyjä täynnä olevassa varastorakennuksessa ei kannata käyttää ympärisäteileviä antennia hyllyjen aiheuttaman signaalinvaimenemisen takia. Taloudellisempaa

ja myös kanavien suunnittelua helpottavana tekijänä signaali voidaan suunta-antennilla suunnata hyllyvälejä pitkin tarvittaville alueille kuvassa 6 kuvatulla tavalla.



Kuva 6. Suunta-antennin keila hyllyvälissä.

Radion tehonsäätöjen tasoihin vaikuttavat lainsäädännön määrittelyt ja asiakaslaitteiden maksimi lähetysteho. Asiakslaitteiden lähtöteho määrittää tehotason, jolle langattoman verkon teho tulee säätää. Koska päätelaitteiden tehot ovat pienempiä kuin tukiasemien lähetysteho, päätelaitteen teho määrittää maksimietäisyyden, jolla verkkoa voi käyttää. Solujen maksimietäisyydet tulee ottaa huomioon suunniteltaessa toimivaa tukiasemaverkkoa.

Monitie-eteneminen tarkoittaa käytännössä signaalin etenemistä eri reittejä pitkin. Eri-laiset materiaalit vaimentavat ja heijastavat signaalia eri tavoilla. Monitie-eteneminen mahdollistaa epäsuoran langattoman viestinnän toteutumisen. Siinä kuitenkin vaikuttaa liikkussa symbolien mahdollinen epäjärjestyksessä saapuminen, mikä aiheuttaa häiriöitä signaaliin. Näitä häiriöitä saadaan OFDM-modulointia käyttämällä poistettua, eivätkä ne vaikuta liian vakavasti liikenteeseen. Isot vaimennukset ja heijastukset kuitenkin heikentävät lähetettävän ja vastaanotettavan signaalin maksimaalista etäisyyttä. Lähetetty signaali vaimenee koko ajan, ja mitä raskaamman materiaalin läpi se matkaa, sitä enemmän se vaimenee ja heijastuu. Tämä vaikuttaa lähetysetaisyyteen, ja langattoman verkon tapauksessa se vaikuttaa myös solujen sijoitukseen ja kokoon. [18].

Radiotaajuuksia ja niiden lainsäädännön toteutumista valvoo Suomessa Viestintävirasto. Radiotaajuudet ovat lainsäädännössä, jotta taajuuksien käyttöä voi rajoittaa ja kontrolloida. Näin kaupalliselle käytölle saadaan omat kanavat, ja erilaisille tekniikoille ku-

ten WLAN:lle ja 4G:lle saadaan omat häiriöttömät taajuudet. Taajuuksia valvotaan myös kansainvälisesti, mutta osan taajuuksista valtiot saavat päättää itse. Kaupalliset taajuudet ovat lisensoituja ja valtio laskuttaa niiden käytöstä käyttäjiä. [19].

## 2.2 Langattoman verkon käyttö

Langatonta verkkoa käytetään yleisesti helpottamaan päätelaitteiden käyttöä paikasta riippumatta. Langattoman verkon avulla mahdollistetaan verkon turvallinen käyttäminen ilman käyttäjien kokemaa vaivaa turvallisuustoimista.

Esimerkiksi toimistorakennuksessa mahdollistetaan henkilökunnan helppo siirtyminen kokoushuoneiden ja eri työpisteiden välillä. Langattomalla verkolla saadaan aikaan toimiva ja mukautuva verkko, johon käyttäjät pääsevät helposti ilman erityistä vaivanäköä. Sama pätee myös korkeakouluympäristössä, jossa materiaalit ovat yleensä verkkopalveluissa ja langallisen lähiverkko järjestelmän turvallinen ylläpitäminen olisi vaikeata. Langattomalla verkolla käyttäminen helpottuu, ja se on myös ylläpidollisesti vaivattomampaa.

Toisena esimerkkinä on kauppakeskus, jossa käyttäjät ovat liikkeellä eivätkä käytä verkkopalveluita kiinteästi. Käyttäjien tulee päästä verkkoon helposti ja turvallisesti sekä voida liikkua vapaasti ilman verkon asettamia rajoitteita. Helppokäyttöisyys on verkon käytön perusedellytys. Kun langaton verkko on helppokäyttöinen, asiakkaat tulevat useammin ja käyttävät sitä enemmän, jolloin verkon käyttö lisää samalla asiakkaiden paikalla oloa kauppakeskuksessa. Kävijämäärän ja kiinteistössä oloajan lisääntyessä kaupankäynti lisääntyy ja tuottavuus kasvaa. Kauppakeskus voi käyttää hyvin toimivaa langatonta verkkoa markkinoidessaan liikkeille tiloja. Samalla kauppakeskus voi langattoman verkon liikenteen kautta mainostaa asiakkailleen ja saada tätä kautta tuottoa. [20].

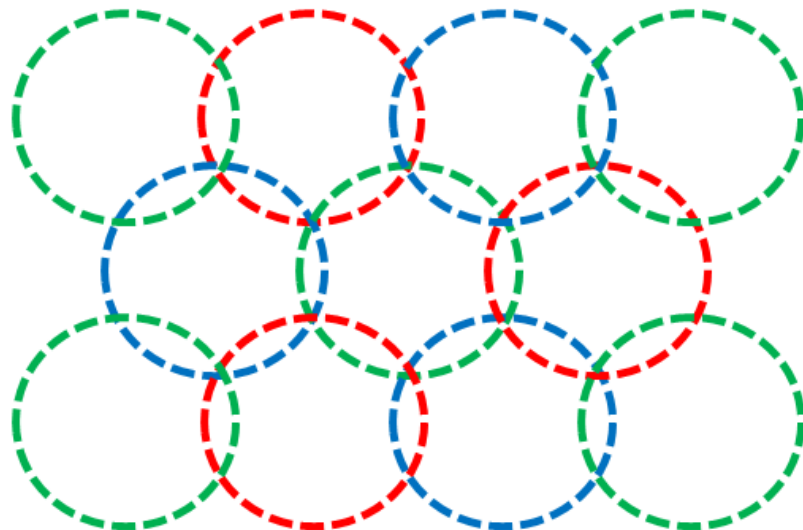
Langattoman verkon helppokäyttöisyyttä voidaan parantaa julkisilla paikoilla helpottamalla verkkoihin liittymistä, esimerkiksi sisäänkäyntien luona olevien QR-koodien avulla. Koodi luetaan puhelimen kameralla ja laite rekisteröityy automaattisesti verkkoon. Seuraavalla kerralla laite tunnistaa jo rekisteröidyn verkon ja liittyy siihen automaattisesti. [21].

Esineiden internetin (IoT, Internet of Things) ja muiden laitteiden kehittyessä langattoman verkon tarve kasvaa ja käyttömäärät lisääntyvät. Kehitteillä olevien tekniikoiden, kuten WiFi-puhelun, käyttöönotto lisää puheluiden siirtymistä puhelinverkoista langattomiin verkkoihin, ja WLAN-sisätilapaikannusjärjestelmien alkaessa yleistyä verkon investoinnit lisääntyvät käytön kasvun myötä. WiFi-puhelujen siirtyminen myös langattoman verkon puolelle vapauttaa samalla alueella kaistaa muille käyttäjille, ja näin verkon käytön rasitusta saa helpommin jaettua koko verkon laajuudella. [22; 23].

### 2.2.1 Solut ja kanavointi

Langattoman verkon saamiseksi toimivaksi kokonaisuudeksi tulee ottaa huomioon radioiden kanavointi ja antennien peittoalueet eli solut.

Kuvassa 7 on esitetty tyypillinen 2,4 GHz:n solukkorakenne, jossa on kolme erillistä kanavaa (vihreä, punainen ja sininen). Solujen väliin ei jää katvealueita, jolloin verkkoa voidaan käyttää kaikkialla solukon alueella. Solujen kanavoinnissa tulee ottaa myös huomioon säteilyn vuotaminen vaaka-akselilla. Kun kerrosvaimennukset ovat matalat ylemmässä tai alemmassa kerroksessa ei voi olla samalla kohdalla sama kanava käytössä. [4].



Kuva 7. Solujen rakenne vaakatasossa.

Limittäin suunnitellut solut mahdollistavat signaalin kantautumisen mahdollisimman kattavasti koko halutulle alueelle. Soluja voidaan myös suunnitella päällekkäin, mikäli halutaan lisätä käyttäjämäärää. Peittoalueen solujen kokoa säädetään radion tehoa



säätämällä. Korkean käyttöasteen alueelle kannattaakin laittaa enemmän tukiasemia ja käyttää pieniä solukokoja. Näin saadaan lisättyä radioaikaa päätelaitteille ja parannettua samalla tukiasemien käyttöastetta. [24].

Eri kanavien laittaminen saman solun alueelle eri tukiasemilla lisää järjestelmän redundanssia eli varmistaa järjestelmän toimivuuden, vaikka yksi tukiasema menetettäisiinkin.

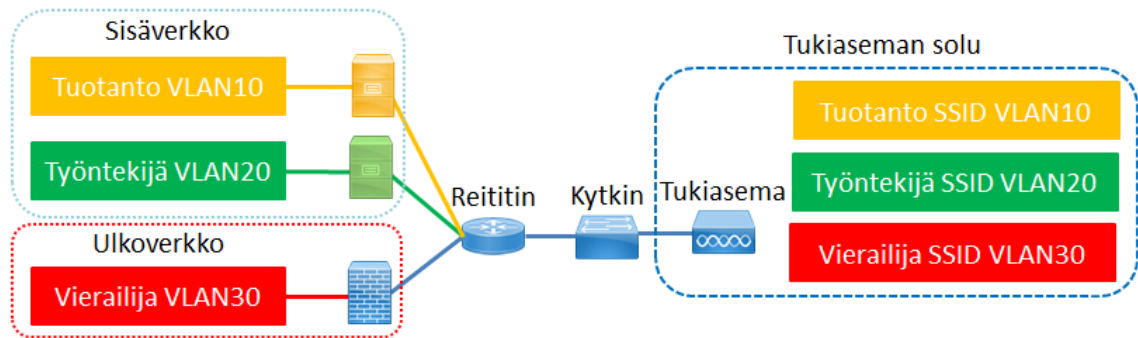
### 2.2.2 Roaming

Roamingilla tarkoitetaan saumatonta siirtymistä langattoman verkon sisällä tukiasemalta toiselle. Roamingin saamiseksi toimintaan vaaditaan, että laite saa verkon IP-osoitteen ja voi käyttää mitä tahansa IP-verkon alueella olevaa tukiasemaa. Roaming käynnistyy, kun asiakkaan päätelaite havaitsee samalla SSID:llä olevan toisen tukiaseman ja esitunnistautuu sille. Kun laitteen signaali alkuperäiseen tukiasemaan heikkenee ja uuden esitunnistaudutun tukiaseman signaali on voimakkaampi, laite siirtyy tukiaseman käyttämälle kanavalle jatkamaan viestintää.

Tietyissä tapauksissa roaming mahdollistaa katkeamattoman verkkoyhteyden asiakkaan liikkuesssa verkon kattamalla alueella. Tällöin voidaan esimerkiksi jatkaa tauotta VoIP-puhelua kävellessä verkon alueella kokouksesta toiseen. [24].

### 2.2.3 Liikenteen eriyttäminen ja priorisointi

Samalla radiolla voi olla useampia eri SSID:jä ja niiden avulla voidaan liikenne eriyttää toisistaan. Tätä kutsutaan VLANittamiseksi (Virtual Local Area Network), eli luodaan virtuaalinen verkko, jolla saadaan erilaiset liikenteet eriytettyä toisistaan saman verkon sisällä. Tällöin saadaan helposti rajoitettua pääsyä ja käytössä olevia verkkopalveluja. Kuvassa 8 on havainnollistettu VLAN-eriyttämistä langattoman verkon kautta.



Kuva 8. VLAN-eriyttäminen langattoman verkon kautta.

Tämä mahdollistaa erilaisten priorisointien käytön tukiaseman ja koko verkon läpi menevälle datalle. VLAN-eriyttämistä voi käyttää esimerkiksi työntekijöiden suljetun sisäverkon ja asiakkaiden avoimen ulkoverkon verkkoliikenteiden eriyttämiseksi. Näin ei tarvita useita eri verkkoja, vaan kaikki liikenne saadaan samojen verkkolaitteiden läpi ja säästetään kustannuksissa, kanavissa ja laitemäärässä. [25].

Verkkoliikennettä voi myös priorisoida langattomassa lähiverkossa. Tämä tunnetaan verkon palvelun laatuun tai QoS:nä (Quality of Service), ja se perustuu IEEE 802.11e-standardiin. 802.11e-standardissa tukiasema ja päätelaite voidaan merkitä lähettämään korkeamman kiireellisyysasteen dataa, ja käytännössä sen odotusaika liikennöinnille pienenee, mikä taas vähentää verkon kautta tapahtuvaa verkkoviivettä. QoS:a käytetään VoIP-puheluihin tarvittavan datamäärän ja viiveettömän liikenteen saavuttamiseksi. Kaikki VoIP SSID:n läpi menevän liikenteen paketit leimataan korkeimman prioriteetin tunnuksella, ja ne saavat etusijan muusta koko verkon läpi menevästä datasta. [26].

#### 2.2.4 Tietoturva

Langattomassa verkossa tietoturva on erittäin tärkeää. Koska se on langatonta, käyttämistä ja pääsyä on pakko rajoittaa. Langattomaan verkkoon pääsemiseksi tarvitaan yleensä salausavain, jolloin verkon liikenne on tyypillisesti salattua. Salausavainta käytetään vain ensimmäisellä kerralla tukiasemalle tunnistautuessa, ja tämän jälkeen avain generoidaan uudestaan tasaisin välein. Verkkoon tunnistautuminen tehdään aina sillä hetkellä voimassa olevan laitteiden välisen avaimen avulla. Salauksen taso riippuu kuitenkin tukiasemasta tai controllerista ja käytettävästä salausmenetelmästä. Käytettävät päätelaitteet voivat myös asettaa vaatimuksia verkon salauksen tasolle. Avoi-

messa verkossa ei yleensä ole salausta, ja sellaisen läpi liikennöinti ei ole turvallista. [27].

Tietoturvallisuuden kannalta langaton verkko on helposti alttiina erityyppisille hyökkäyksille, ja niiltä ei ole verkon käyttäjän päätelaitteen osalta helppo puolustautua, jos verkkoa pitää käyttää. Tässä luvussa esitellään erilaiset turvallisuusratkaisut, joiden avulla verkon ylläpitäjä voi helpommin parantaa verkon käyttäjien turvallisuutta.

Yleisimmät käytössä olevat langattoman verkon kolme salausratkaisua ovat

WEP = Wired Equivalent Privacy, joka on 802.11-standardin ensimmäinen langatonta liikennettä suojaava salausmenetelmä. WEP on nykyään jo vanhentunut, ja sen pystyy murtamaan suhteellisen vähällä vaivalla. Salattava liikenne salataan salausavaimella, ja menetelmän heikkouden aloitusvektorin takia salausavain voidaan purkaa kuuntelemalla liikennettä.

WPA = Wi-Fi Protected Access, joka julkaistiin vuonna 2003, kun WEP-salauksesta oli paljastunut vakavia puutteita. WPA:ssa on käytössä TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), joka salaa paketit vaihtuvalla salausavaimella. Vaihteluvälin pystyy itse asettamaan 1 sekunnin ja 48 päivän välille tai ottamaan sen pois kokonaan. Oletus arvoisesti vaihteluväli on 1 tunti. Tämä salausmenetelmä on yleisessä käytössä yksityisillä henkilöillä.

WPA2:ta käytettäessä voi valita, käytetäänkö TKIP:tä vai AES:a (Advanced Encryption Standard), joka käyttää lohkosalausmenetelmää. Käytännössä salaus hoidetaan salaamalla datan eri osiot (eli lohkot) eri määrillä salauskierroksia. Koska salausavain voi olla jopa 256-bittinen, datan purkaminen reaaliajassa on nykykeinoilla mahdotonta.

WPA-salauksilla voi myös käyttää Enterprise- ja Personal-todennusta. Personal, tai toiselta kutsumanimeltään WPA-PSK, on kodeille tai pienyritykselle suunniteltu salausmenetelmä, jossa käytetään heksadesimaaliyhdistelmää tai avainsanaa. Niitä ja SSID:tä salt-arvona käyttäen PBKDF2-yhtälöllä lasketaan järjestelmälle 256-bittinen avain, jolla data salataan ja puretaan. Enterprise, tai toiselta nimeltään WPA-802.1X, on yrityksille ja yhteisöille suunniteltu todennusmenetelmä. Enterprise-menetelmässä käytetään RADIUS-palvelimen (Remote Authentication Dial In User Service) käyttäjä-todennusta, joka on monimutkaisempi, mutta samalla turvallisempi todennustapa. To-

dennuksen välittämistapana on joko EAP (Extensible Authentication Protocol) tai sen turvallisempi variaatio PEAP (Protected EAP). PEAP-menetelmässä EAP-liikenne asetetaan salattuun ja autentikoituun TLS tunneliin (Transport Layer Security). [28].

Myös käyttäjä voi salata oman liikenteensä jo ennen langattoman verkon käyttöä. Se on helpointa tehdä käyttämällä VPN:a (Virtual Private Network), joka luo salaustunnelin päätelaitteen ja esimerkiksi oman kotiverkon välille. Tällä tavoin voi kierrättää oman liikenteensä oman luotettavan verkon kautta ja on turvassa suurimmalta osalta yleisissä verkossa käytössä olevilta hyökkäyksiltä. [27].

Liikennettä salataan, jotta tieto ei pääse väärin käsiin ja voidaan varmistua lähettäjäs-tä. Tällä tavoin saatua tietoa voidaan pitää luotettavana ja voidaan luottaa siihen, ettei tietoa ole käsitelty lähettämisen jälkeen eikä kukaan ulkopuolinen ole saanut sitä hal-tuunsa.

Tietoturvan muita osa-alueita langattoman verkon ulkopuolella ovat fyysinen tietoturva, jolloin tilat ja laitteet suojataan fyysisesti ei-halutulta käytöltä tai pääsylvä, laitteistotur-vallisuus, jolloin käyttölaitteet suojataan fyysisen ja verkon kautta tapahtuvien väärin-käytöksien varalta, tietoineiston turvallisuus, jolloin säilytettäviä sähköisiä ja paperisia dokumentteja käsitellään ja säilytetään turvallisesti, ja henkilöstöturvallisuus, jolloin käyttäjien roolit, vastuut ja tietoturvaohjeistukset pidetään asian mukaisina eikä käyttä-jillä ole pääsyä heille kuulumattomiin tietoihin.

### 3 Langattoman verkon toteuttaminen

Langattoman verkon toteuttamisessa on erilaisia vaihtoehtoja, joihin vaikuttavat verkon halutut toiminnallisuudet ja verkon kattama pinta-ala. Esimerkkinä tässä luvussa käytetään yritysmaailmaan toteutettuja suurehkoja verkkoja, koska yksityishenkilöille ja pienyrityksille toteutettavat pienet ratkaisut ovat yksinkertaisempia eikä niiden esittely kuvaa tarpeeksi kattavasti langattoman verkon toteuttamista. Suuret langattomien verkkojen toteutusprojektit tehdään yritysmaailmassa yleensä yrityksen uusiin toimipisteisiin, uudistettaessa vanhoja toimipisteitä tai vaihdettaessa palveluntarjoajaa. Tässä luvussa esitellään tyypillinen suuren langattoman verkon toteutusprojekti välivaiheineen.

Langattoman verkon toteutus käynnistyy asiakkaan kanssa järjestettävällä palaverilla, jossa määritellään asiakastarpeet, kuten verkon kattavuus, suorituskyky ja halutut palvelut. Kun tavoitteena on toteuttaa yritykselle muutamaa laitetta suurempi langaton verkko, tulee haluttu tila tai kiinteistö kartoittaa jo ennen suunnitteluvaiheen alkua. Kartoituksen tarkoituksena on saada mahdollisimman hyvät pohjatiedot suunnittelua varten. Kartoituvaiheessa mitataan signaalin vaimeneminen kiinteistössä ja käydään läpi jo olemassa oleva verkkoinfrastruktuuri ja kaapelointi. Näin saadaan myös arvioitua tulevan verkon rakentamisen työ- ja materiaalimääriä. Tämä auttaa työmäärän arvioinnissa ja hinnan määrittelyssä, kun ollaan tekemässä tarjoutta kokonaisratkaisusta.

Verkon suunnittelu käydään läpi tarkemmin seuraavissa luvuissa. Suunnitelmaa käydään läpi asiakkaan kanssa suunnitteluprojektin edetessä. Verkon rakentaminen tehdään toteutusprojektissa asiakkaan kanssa yhdessä sovitussa aikataulussa. Rakentamisen aikana on erityisen tärkeää seurata aikataulussa pysymistä yhdessä asiakkaan kanssa. Kun rakentaminen on valmistumassa, yleisenä käytäntönä on ottaa pieni osa verkosta pilottikäyttöön. Näin päästään tekemään tarvittavia muutoksia langattoman verkon hyvän toimivuuden varmistamiseksi ja korjaamaan mahdollisia kokonaisratkaisussa havaittuja virheitä. Tällöin lopullinen langattoman verkon käyttöönotto helpottuu, kun suurin osa tarvittavista muutoksista on tehty ja virheet korjattu. Ennen lopullista käyttöönottoa verkko kokonaisuudessaan optimoidaan ja mitataan toiminnan todentamiseksi.

### 3.1 Suunnittelun pohjatiedot

Langattoman verkon optimoimiseksi se tulee suunnitella asiakkaan haluamien vaatimuksien ja toiveiden mukaan. Vaatimuksina on yleisesti langattoman verkon peittoala, palvelut, nopeus, tuettavat käyttäjämäärät, päätelaitteet, verkon toimivuuden luotettavuus ja verkon turvallisuus.

Toimivaa toteutusta varten tarvitaan hyvät pohjatiedot, joiden perusteella suunnittelua lähdetään tekemään. Pohjatiedoista saadaan perusta langattoman verkon suunnittelulle. Niillä on iso vaikutus tulevaan lopputulokseen, ja mitä tarkemmat pohjatiedot ovat suunnittelua aloitettaessa, sitä helpompi on suunnitella asiakkaan haluamalla tavalla toimiva langaton verkko. Parhaat pohjatiedot saadaan, kun haluttu tila tai kiinteistö kartoitetaan kokonaisuudessaan. Pohjatiedoista tärkeimpiä ovat halutun kiinteistön tai tilan pohjakuvat, joiden avulla saadaan yleiskuva alueesta jolle langaton verkko halutaan suunnitella.

Käyttäjämäärä ja käyttötarkoitus määrittelevät kuinka tiheästi tukiasemia laitetaan kiinteistöön tai tilaan ja minkälaisia tukiasemia käytetään. Käyttötarkoituksessa huomioidaan erikseen myös, mihin tiloihin signaalin ei tarvitse kuulua, ja yleisesti WC:t ja porraskäytävät rajataan pois, jolloin vältytään liioilta tukiasemilta alueilla, joissa ei tarvitse käyttää. Pitää myös miettiä, minkälaisia tukiasemia halutaan käyttää. Esimerkiksi, jos halutaan käyttää tiettyjä nopeuksia, tulee käytettävien tukiasemien tukea niitä. Samalla tulee ottaa huomioon, millä taajuuksilla tukiasemien halutaan toimivan, ja tähän vaikuttaa paljon ympäristö. Esimerkiksi jos kiinteistö sijaitsee ydinkeskustassa Helsingissä, ei 2,4 GHz:n taajuutta juurikaan pysty käyttämään. 2,4 GHz:n taajuus on laajasti kaikkien käytössä, ja kanavien päällekkäinkuuluvuus tiheillä alueilla haittaa verkon toimintaa.

Kiinteistössä tulee erityisesti huomioida materiaalit: millaisia seiniä, hyllyjä ja tilan jakaja on käytetty. Ne vaikuttavat signaalin vaimenemiseen ja solujen peitto-alueisiin. Kiinteistön eri tilojen haluttu toimivuusaste vaikuttaa myös koko kokonaisuuden toteutukseen. Kiinteistössä tulee ottaa myös huomioon, minne kaikkialle tukiasemia saa ja voi laittaa. Esimerkiksi jos rakennuksella on tarkat ulkonäkömääritykset tai se on suojeltu kohde, tämä tulee ottaa myös huomioon tukiasemia, antennija ja sijoituksia suunniteltaessa. Tähän paras työkalu on Site Survey -mittaus. Mittauksessa voidaan asettaa erilliset mittaustukiasemat alustavasti suunnitelluille tukiasemapaikoille ja mitata kiinteistön materiaalien vaimennukset.

### 3.2 Suunnittelu

Suunnittelussa käydään läpi pohjatiedot, ja niiden pohjalta ensin hahmotellaan tuleva verkko. Suunnittelu aloitetaan valitsemalla pohjatietojen mukaan laitteet, joita halutaan käyttää toteutuksessa. Tämän jälkeen aloitetaan tukiasemien sijaintien suunnittelu itse kiinteistön pohjakuvaan. Yleisesti iso langaton verkko toteutetaan suunnitteluohjelmalla, johon voi syöttää pohjatiedot ja mahdollisen kiinteistön kartoituksen vaimennusarvot seinille, ikkunoille ja oville. Näin saadaan mallinnettua kiinteistö, ja itse suunnittelu on tämän jälkeen valittujen tukiasemien siirtämistä hahmotetuille paikoilleen. Suunnittelua jatketaan tämän jälkeen tekemällä kanavasuunnitelma laitteille ja tarkkailemalla koko ajan mahdollisia ongelmia, kuten solujen kantoaluetta, ylikuuluvuutta ja kanavien päällekkäisyyttä.

Suunnittelussa auttaa myös, jos suunnittelija on itse suorittanut verkon alueen kartoituksen tai kartoituksen aikana on otettu paljon valokuvia. Tällöin hän voi miettiä tukiasemien sijoitukset niin, että ne olisivat optimaalisissa paikoissa käyttöä ja asennusta ajatellen.

### 3.3 Toteutus ja optimointi

Kun suunnitelmat ja kustannusarviot on hyväksytty asiakasyrityksessä päästään itse toteutusvaiheeseen. Toteutuksessa rakennetaan verkko suunnitelman mukaan ja joko käytetään olemassa olevaa kiinteää verkkoa hyväksi tai sitten rakennetaan kokonaan uusi kaapelointi langatonta verkkoa varten. Rakennettaessa verkkoa tulee ottaa huomioon tukiasemien suunnitellut sijainnit mahdollisimman hyvin, koska jos sijainnit muuttuvat verkkoon saattaa tulla toimivuusongelmia. Asennuksen jälkeen langaton verkko mitataan uudestaan langattoman verkon vaatimuksien täyttymisen todentamiseksi, ja mittauksen perusteella tehdään tukiasemien tehojen ja kanavien lopulliset säädöt, jotka jäävät langattoman verkon tukiasema-järjestelmään kiinteiksi. Samalla selviävät solujen peittoalan puutteet, ja niitä voidaan vielä säätää siirtämällä tukiasemia parempiin paikkoihin tai lisäämällä tukiasemia kriittisiin kohtiin. Langattoman verkon optimointia jatketaan jättämällä tarpeettomat radio tekniikat kuten 802.11 ja 802.11b, pois käytöstä. Samoin jätetään tarpeettomat alinopeudet pois. Näissä tulee kuitenkin ottaa huomioon käytettävät päätelaitteet: niiden tukemat miniminopeudet tulee olla käytössä. Tämän

jälkeen verkon toiminta testataan asiakkaan päätelaitteilla ja todennetaan toimiminen laskennallisesti huonoimmissa sijainneissa.



## 4 Leppävaaran kampuksen langattoman verkon mittaus ja mallinnus

### 4.1 Kampuksen ja ohjelmiston esittelyt

Leppävaaran kampus on Metropolia Ammattikorkeakoulun ICT-kampus. Kampusella on runsaasti tieto- ja viestintätekniikan ja tuotantotalouden tutkinto-ohjelmien opiskelijoita, noin 2 000. Kampus koostuu kahdesta osasta: A-puolesta, joka on rakennettu aiemmin, ja B-puolesta, joka on A:n jatkoksi rakennettu lisärakennus. Leppävaaran kampus on 15 267 krs-m<sup>2</sup>, ja se koostuu suurimmalta osin luokkahuoneista, auditorioista sekä erilaisista laboratoriotiloista. Kuvassa 9 on Leppävaaran kampuksen pääsisäänkäynti.



Kuva 9. Leppävaaran kampuksen pääsisäänkäynti [29].

Insinööriyössä toteutettiin Leppävaaran kampuksen langattoman verkon mittaus Ekahau Site Survey -ohjelmalla. Verkon mittaamisen avulla saadaan selvitettyä verkon nykyinen tila ja verkon mahdolliset kuuluvuus tai muut ongelmat kampuksen alueella. Näitä mahdollisia ongelmia käydään läpi seuraavassa luvussa.

Ekahau Site Survey -ohjelmisto valittiin, koska se on yksi suosituimmista langattoman verkon mittaushjelmistoista (jopa Cisco suosittelee sitä). Ekahau on suomalainen langattomien verkkojen suunnitteluohjelmiin erikoistunut yritys, joka toimii Helsingin Ruoholahdessa. Ekahau on yksityisomistuksessa oleva yritys, ja yksi sen rahoittajista on Tekes. [30].

Kartoitusta varten pohjakuvat ja mittakaavat asetetaan Ekahau Site Survey -ohjelmaan. Jos mitattavassa kiinteistössä on useita kerroksia, merkitään kerrokseen kohdistuspisteitä, joilla pohjakuvat saadaan kiinnitettyä toisiinsa. Mittauksen aikana pohjakuvaan mer-

kitään mittauspisteen sijainti ja laitteisto mittaa havaitsemansa signaalit ja niiden tehot sekä liittävät ne kyseiseen pisteeseen ja tallentaa tiedot mittauksista. Ekahaun järjestelmään kuuluva NIC-300 (Network Interface Controller) verkkokortti tunnistaa signaaleista niiden käyttöasteet ja muuta tietoa, kuten muun muassa laitteiden mahdolliset nimet ja valmistajat. Kun pohjakuvaan saadaan tarpeeksi mittauspisteitä, ohjelmisto osaa ”hahmottaa” langattoman verkon ja esittää sen annettujen vaatimusten mukaisesti pohjakuvassa. Tämän mallinnuksen avulla pystytään tunnistamaan, kuinka verkko toimii tällä hetkellä ja minkä vaatimusten saavuttamisessa on mahdollisesti ongelmia.

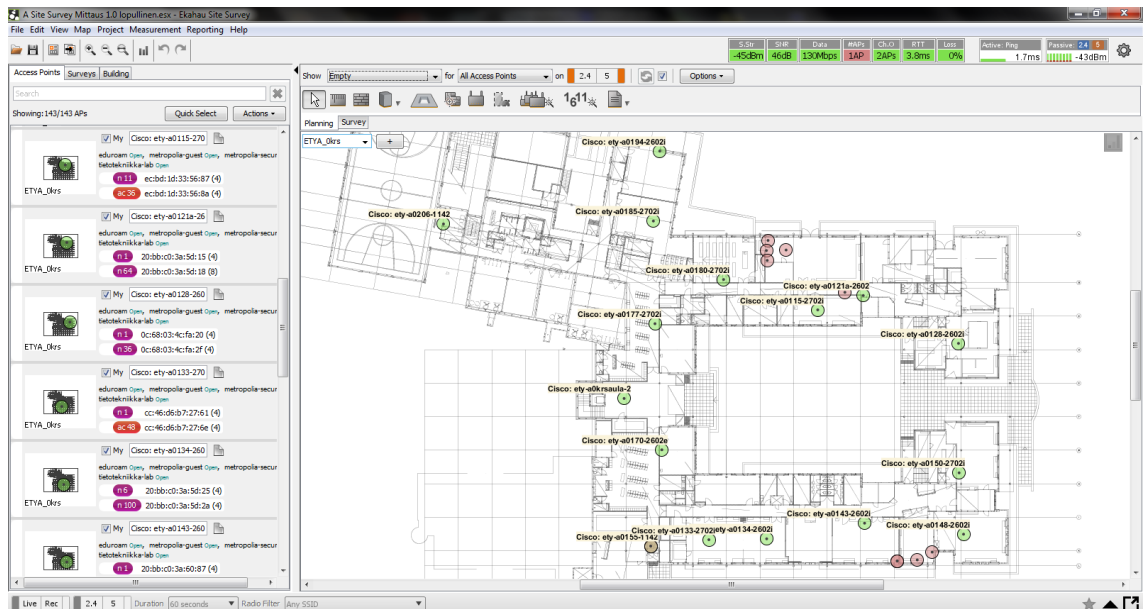
Mallinnus tehdään käyttämällä Ekahau Site Survey -ohjelmiston Planner-osiota. Tällöin voidaan simuloida kiinteistöä ja sen aiheuttamia signaalien vaimennuksia. Rakennus valmistellaan samalla tavalla kuin Site Surveyssa. Kun päästään mittausvaiheeseen, aletaankin asettaa seiniä, ovia ja ikkunoita oikeille paikoilleen. Kaikkien materiaalien vaimennukset joko arvioidaan tai käytetään mitattuja arvoja. Ohjelmassa on valmiit arvot erilaisille materiaali- ja tilavaimennuksille, ja ohjelmaan voi luoda myös omia materiaaleja ja tilavaimennuksia omien mittauksien perusteella saatujen arvojen mukaan. Tällöin saadaan totuudenmukainen kiinteistön pohja, jossa signaalit vaimenevat samalla tavalla kuin oikeassa kiinteistössä. Kun valmiiseen mallinnukseen rakennetaan langaton verkko virtuaalisilla tukiasemilla, nähdään, kuinka verkko toimisi samanlaisessa oikeassa rakennuksessa. Tällä tavoin voidaan testata ja suunnitella langattomia verkkoja ennen niiden rakentamista ja saadaan arvioitua, minkälaisia tukiasemia tarvitaan ja kuinka paljon.

Kampus mallinnettiin verkon kartoituksen (Site Surveyn) perusteella saatujen vaimennuksien mukaan. Kiinteistö ja sen vaikutukset radioaaltojen etenemiseen toteutettiin virtuaalisesti Ekahau Planner -ohjelmalla, minkä jälkeen WLAN-verkko rakennettiin kyseiseen pohjaan. Ekahau sisältää oikeat käytössä olevat tukiasemat solukuvioineen, ja tukiasema sekä antennitietokantaa päivitetään jatkuvasti. Virtuaalisessa mallinnuksessa signaalien käyttäytymistä mallinnetaan kolmessa ulottuvuudessa, mutta ohjelma kuitenkin esittää datan kahdessa ulottuvuudessa. Tämä helpottaa kiinteistöjen mallintamista ja selkeyttää ohjelmassa tapahtuvaa signaalien esittämistä. Näin laitteiden paikkojen vaihtamisen, tehojen säätämisen ja muiden optimointien vaikutukset on nähtävissä ohjelmalla. Tällä minimoidaan tuotannossa olevan verkon laatuongelmat, koska muutoksia pystyy kokeilemaan, ennen kuin ne otetaan kokonaisuudessaan käyttöön.

## 4.2 Kampuksen Site Survey

Kampuksen A- ja B-puoli mitattiin erikseen, jotta kokonaisuus saataisiin pidettyä helpommin hallussa. Rakennuksen eri osien välit ovat paksua seinää, ja käytännössä A- ja B-puoli ovat eri rakennukset eivätkä ne vaikuta toisiinsa. Mittauksessa oli tarkoitus mitata opiskelijoille käytössä olevat tilat ja heidän käytössään olevat langattomat verkot. Mitatut verkot olivat SSID:t eduroam ja metropolia-guest. Mittauksesta rajattiin pois opiskelijoilla vähemmän käytössä olevat tilat, jotka sisälsivät muun muassa opettajien työhuoneet, WC:t, pukuhuoneet ja varastot. Mittaukset suoritettiin hiljaisina aikoina, jotta minimoitaisiin mittauksen aiheuttama haitta ja tiloihin pääsy oli helpompaa luokkien ollessa tyhjiä.

Käytetty laitteisto oli Asuksen kannettava tietokone UX303L Notebook, jossa oli Windows 10 -käyttöjärjestelmä. Kannettavassa tietokoneessa oli 8 Gt RAM-muistia ja i7-5500U-prosessori. Ohjelmistona käytettiin Ekahau Site Survey 8.5.2:ta, ja kannettavassa tietokoneessa käytettiin myös Ekahaun NIC-300 USB -verkkokorttia, jolla saadaan tehon mittauksen lisäksi selville enemmän tietoa tukiasemasta ja sen langattomasta verkosta. Tällä yhdistelmällä pyrittiin saamaan langattomasta verkosta mahdollisimman laadukasta dataa ja mahdollisimman laaja analyysi verkon laadusta. Kuvassa 10 on esitettyä Ekahau Site Survey -ohjelman käyttöliittymä.



Kuva 10. Ekahau Site Survey -ohjelman käyttöliittymä.

#### 4.2.1 Mittauksen suorittaminen

Verkon suorituskykyä mitattiin taulukossa 1 esitetyillä vaatimustasoilla. Näitä arvoja käytetään yritysmaailmassa langattoman verkon suunnittelussa ja verkon toimivuutta arvioitaessa. Ne sopivat hyvin isoon kiinteistöön, joka on katettu kokonaan langattoman verkon tukiasemilla. Jotta tähän vaatimustasoon päästään, on verkkoa toteutettaessa ja optimoitaessa huomioitava langaton verkko kokonaisuudessaan.

Taulukko 1. Langattoman verkon vaatimukset.

Selite	Arvo	Toissijainen arvo
Signal Strength Min	-67.0 dBm	
Signal-to-noise Ratio Min	20.0 dB	
Data rate Min	54 Mbps	
Number of Access Points Min	2	at min. -73.0 dBm
Channel Overlap Max	2	at min. -80.0 dBm
Round Trip Time (RTT) Max	500 ms	
Packet Loss Max	10.0 %	

A-puoli mitattiin 2.6.–9.6.2016, ja alueelta havaittiin 50 kontrolleripohjaista tukiasemaa. Alla olevassa listassa on esitetty mittausten aikavälit kerroksittain. A:n mittaukseen yhteensä käytetty aika oli 2 h 20 min. Lisäksi aikaa kului mittauspisteeltä toiselle ja tilasta toiseen liikkumiseen.

0. krs 2.6.2016 klo 17:01–6.6.2016 klo 18:32

1. krs 3.6.2016 klo 19:20–9.6.2016 klo 16:34

2. krs 3.6.2016 klo 18:42–3.6.2016 klo 19:15

B-puoli mitattiin 14.6.–16.6.2016, ja alueelta havaittiin 23 kontrolleripohjaista tukiasemaa. Alla olevassa listassa on esitetty mittausten aikavälit kerroksittain. B:n mittaukseen yhteensä käytetty aika oli 1 h. Lisäksi aikaa kului mittauspisteeltä toiselle ja tilasta toiseen liikkumiseen.

1. krs 16.6.2016 klo 15:35–16.6.2016 klo 17:48
2. krs 16.6.2016 klo 16.54–16.6.2016 klo 18:05
3. krs 14.6.2016 klo 17:11–16.6.2016 klo 18:09

Mittauksen aikana havaitsin Site Survey -ohjelman tunnistamia huonon kuuluvuuden alueita, jotka mittasin muita alueita tarkemmin. Mittaus pyrittiin tekemään kun verkkoa käytettiin mahdollisimman vähän ja luokkahuoneet olivat tyhjiä. Näin saatiin mitattua verkon toimiminen, kun sitä ei kuormiteta. Pienessä kuormituksessa olevasta verkosta löytyvät ongelmat signaalin kohinasuhteissa ja kanavien päällekkäisyydessä moninker- taistuvat, kun verkkoon tulee useita satoja käyttäjiä.

Kuvassa 11 näkyvien mittapisteiden mittaukseen meni aikaa 54 minuuttia. Tähän ei sisälly pisteiden välillä liikkuminen eikä tilasta toiseen siirtyminen. Mittapisteet keskitty- vät seinien ja muiden signaalia vaimentavien kohteiden läheisyyteen. Isojen tilojen vaimennukset mitattiin lisäksi useammasta kohdasta huoneen keskiosissa.



Kuva 11. A-puolen 0. kerroksen mittapisteet.

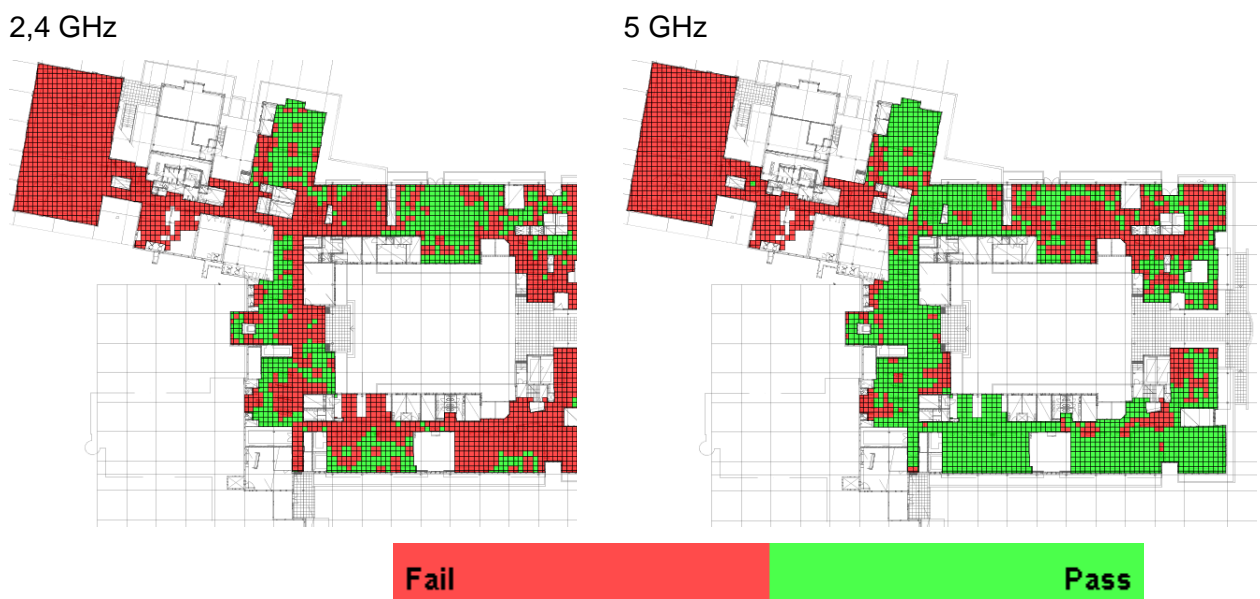
#### 4.2.2 Tulokset

Omien käyttökokemuksieni perusteella oletin, että verkon kattavuudessa olisi paikoit- tain ongelmia ja että ne kohdistuisivat pääasiassa erillään oleviin luentotiloihin ja kul- mahuoneisiin. Oletin myös, että verkossa ilmenisi pätkimistä siirtymisien aikana, mikä

näkyisi Site Survey -ohjelmassa paikoitellen nousevana pingin viiveenä. Ping on TCP/IP-protokollan työkalu, jolla mitataan laitteiden saatavuutta.

Mittauksen aikana huomasin kuitenkin, että kampuksen langattoman verkon laatua on parannettu parin viimeisen vuoden aikana. Signaalin kattavuus oli kaikkialla hyvä ja kartoituksen aikana tehdyt nopeustestit vaikuttivat toimivan todella hyvin. Ohjelma ei myöskään havainnut odottamiani verkon pätkimisiä. Ainoat signaalin katvealueet löytyivät A-puolen 0-kerroksesta koillispuolelta, jossa on kuntosali, pukuhuoneet ja vähemmän luokkahuoneita. Tämä on opiskeluun ja opettamiseen tarkoitettun verkon toimivuuden kannalta hyväksyttävissä. Yleiskuva verkosta mittauksen aikana oli siis hyvä.

Kun aloin tarkastella varsinaisia mittaustuloksia, havaitsin heti alkuun, että langaton verkko ei läpäissyt sivulla 16 esittämiä vaatimuksia. Kuvassa 12 on esitetty vihreällä ne kampuksen A-puolen 0-kerroksen alueet, joilla verkko on läpäissyt kaikki asetetut vaatimukset eri taajuusalueilla.

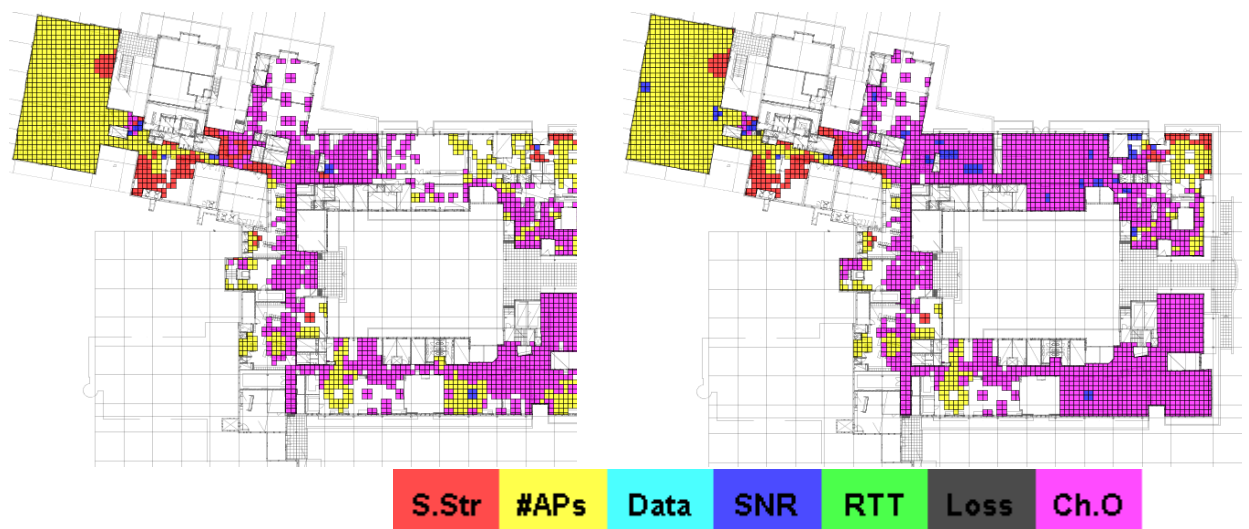


Kuva 12. A-puolen 0. kerroksen WLAN-verkon tila.

Kun tarkastellaan miksi verkko ei läpäise vaatimuksia, havaitaan useita syitä. Seuraavaksi käyn läpi tarkemmin 2,4 GHz:n taajuudella esiintyviä ongelmia A-puolen 0-kerroksessa. Verkon vaatimuksien alittumisen syyt näkyvät kuvassa 13.

2,4 GHz Kampuksen langattoman verkon tukiasemien aiheuttamat ongelmat.

2,4 GHz Kaikkien mitattujen tukiasemien aiheuttamat ongelmat.



**Signal Strength.** Signaalin voimakkuus on heikompi kuin kynnsarvo.

**Number of Access Points.** Vähemmän mittauspisteeseen kuuluvia tukiasemia kuin kynnsarvo määrää.

**Data.** Siirtonopeus WLAN-verkossa on pienempi kuin asetettu kynnsarvo.

**Signal-to-noise ratio.** Signaali-kohinasuhde on heikompi kuin asetettu kynnsarvo.

**Round-tripTime.** Edestakaisen paketin viive on pidempi kuin asetettu kynnsarvo. (Vrt. Ping)

**Packet loss.** Pakettihävikki on suurempi kuin asetettu kynnsarvo.

**Channel Overlap.** Samalla kanavalla lähettävien tukiasemien määrä ja kuuluvuus mittauspisteessä on suurempi kuin asetettu kynnsarvo.

Kuva 13. A-puolen 0. kerroksen WLAN-verkon ongelmat.

Kuvista ovat havaittavissa kaikki kampuksen langattoman verkon ongelmien perussyyt. Käyn ne seuraavaksi läpi selvennyksineen.

Kanavien päällekkäisyys (Ch.O.) on ensimmäinen silmiinpistävä asia tarkasteltaessa verkon ongelmia. Se näkyy selkeämmin katsottaessa kaikkien mitattujen tukiasemien ongelmia. Näissä paikoissa muutamalla päätelaitteella verkkoa käytettäessä eivät käyttäjät itse mahdollisesti huomaa ongelmia, mutta heti kun päätelaitteiden määrä ja langattoman verkon kuormitus kasvaa, on ongelma havaittavissa. Yhteys pätkee jatkuvasti, ja vaikka signaalin voimakkuus on riittävä, liikenne ei pääse langattoman verkon läpi. Tämä johtuu tukiasemien toimintatavasta ja niiden käyttämästä liikenteen lähettämisen aikavälistä. Koska iso osa laitteista on samalla kanavalla usean tukiaseman kanssa, ei lähettämisaajan varaaminen toimi. Tukiasemat eivät tunnista, mitkä laitteet pyrkivät varamaan lähetyksivälillä juuri niiltä. Kun osa tukiasemista lähettää hylkäysviestin, päätelaitteet eivät lähetä liikennettä lainkaan saatuaan kielteisen vastauksen, vaikka osa tukiasemista on varannut lähetyksivälillä näille päätelaitteille. Ongelman korjaamiseksi

si langattoman verkon kanavointi on optimoitava ja ylimääräiset verkon alueella olevat tukiasemat on poistettava.

Esimerkkinä olevan kerroksen signaalin kynnyсарvojen alittuminen (S.Str.) on esitetty kuvassa punaisella. Alittuminen on havaittavissa muun muassa vasemmalla puolella kuvaa olevassa liikuntasalissa ja sen vieressä sijaitseissa pukuhuoneissa ja kuntosalialueella. Heikkoa signaalin voimakkuutta on havaittavissa myös oikealla yläreunassa olevassa kiinteistötekniikan luokassa. Nämä eivät ole opetuskäyttöön suunnitellun verkon kokonaisuuden kannalta isoja ongelmia, koska verkon käyttö näissä tiloissa opiskeluun ja opetukseen on vähäistä. Kuitenkin liikunta- ja kuntosali ovat tärkeitä langattoman verkon käyttöpaikkoja, ja verkon laadun parantaminen näissä tiloissa parantaisi selvästi käyttäjäkokemusta.

Kuvassa keltaisella näkyvillä alueilla ei vaatimuksissa oleva kahden tukiaseman näkymisen ehto täyty (#Aps.). Tämä on tärkeä arvo, kun halutaan verkkoon redundanssia eli halutaan varmistaa järjestelmän toimivuus, vaikka yksi tukiasema menetettäisiin. Redundanssilla varmistetaan langattoman verkon toimivuus myös käyttäjämäärän hetkellisesti kasvaessa. Redundanssin puutetta on havaittavissa samalla alueella, jossa signaalin voimakkuus alittaa kynnystason. Näiden ongelmien yhdistelmä heikentää merkittävästi langattoman verkon toimintaa, mikä näkyy käyttäjille jatkuvana huonona signaalinvoimakkuutena ja liikenteen pätkimisenä.

Siirtonopeus (Data), signaali-kohinasuhde (SNR) ja pakettien ongelmat (RTT & Loss) eivät olleet ongelmia mitatussa verkossa. Siirtonopeuteen vaikuttavat eniten huonosti konfiguroidut (esim. reititysongelmat) ja vanhat verkkolaitteet (esim. hitausongelmat). Tämä voi näkyä myös pakettien viiveinä ja pakettihävikkinä. Siirtonopeusongelmiin sisältyvät myös ongelmat itse runkoverkossa, eikä ongelman syy välttämättä ole langattomassa verkossa. Signaali-kohinasuhteeseen vaikuttavat tarkasteltavalla taajuudella olevat häiriöt. Niitä aiheuttavat muun muassa rikkinäiset elektroniikkalaitteet ja esimerkiksi mikroaaltouunit. Kaikki edellä kuvatut ongelmat ovat helposti korjattavissa, kunhan vian syyn osaa paikallistaa.

Kanavien päällekkäisyys nousee mittaustulosten perusteella selvästi koko kampuksen suurimmaksi langattoman verkon kokonaisuuteen vaikuttavaksi ongelmaksi. Tämä näkyy jokaisessa kerroksessa sekä A- että B-puolella. Tulosten perusteella voidaan todeta, ettei verkon kanavointia ja tukiasemien tehoa ole säädetty tarkoituksenmukaisesti.



Tukiasemien määrä on myös paikoitellen liian vähäinen verkon toimivuuden varmistamiseen laitteiden vikaantuessa.

#### 4.2.3 Verkon parannus

Kampuksen langattoman verkon parantamiseksi tulisi suorittaa järjestelmällinen koko verkon optimointi. Jokaisen tukiaseman teho tulisi säätää niin, ettei tukiaseman signaali leviä liian laajalle, ja kanavat tulisi asettaa niin, etteivät ne eivätkä mene päällekkäin viereisten solujen kanavien kanssa. Samalla kannattaisi myös miettiä 2,4 GHz:n taajuudesta luopumista kokonaan. Päätelaittekantojen parantuessa jatkuvasti suurin osa laitteista tukee jo 5 GHz:n taajuutta, ja 2,4 GHz:n taajuudesta luovuttaessa sen vähäisestä kanavamäärästä johtuva päällekkäisyysongelma poistuu ja verkon optimointi helpottuu huomattavasti.

Optimoitavien laitteiden määrä on tätä työtä kirjoitettaessa 73. Koska kampuksen kaikkien tukiasemien tehojen ja kanavien optimointi ei ole pieni tehtävä, on verkon optimointi jätetty pois tästä opinnäytetyöstä.

Optimoinnin lisäksi riittävä tukiasemien määrä tulee varmistaa. Langattoman verkon peittoalueeseen voi vaikuttaa helpoiten sijoittamalla tukiasemat paremmin tai lisäämällä niiden määriä. Tämä kannattaa ottaa huomioon, kun langattoman verkon parannusta suunnitellaan, koska myös nämä laitteet tulisi ottaa huomioon nykyisen 73 laitteen lisäksi optimoitaessa langatonta verkkoa.

Kuvaan seuraavaksi, kuinka langattoman verkon optimointi tulee tehdä. Optimointi tehdään yhteistyönä verkonhallinnan kanssa. Optimoinnista ja kanavoinnista tulee olla alustava suunnitelma toteuttamisen alkaessa. Optimointiin tarvitaan kaksi henkilöä ja se suoritetaan seuraavasti. Ensimmäinen henkilö sijoittuu optimoitavan verkon alueelle mittaamaan tiettyä tukiasemaa, ja samalla toinen henkilö säätää verkonhallintajärjestelmästä kyseisen tukiaseman tehoa mittajaan ilmoittamalla tavalla. Kun tukiaseman solun koko on suunnitelman mukainen eikä sen signaali yllä tarpeettoman kauas, tukiaseman teho lukitaan paikalleen. Tällä tavalla solut rakennetaan peittämään jonkin verran toisiaan, jotta katvealueilta vältytään, mutta kuitenkin sillä tavalla, etteivät solut mene liikaa päällekkäin. Tämän hienosäädön haluttu vaikutus määritetään suunnitteluvaiheessa. Kun verkon solujen koko on saatu kohdalleen, aloitetaan kanavointi. Kanavoinnissa pyritään pitämään tarpeeksi eroa lähimpien solujen käytössä olevien kanavi-

en kanssa. Kun tukiasemalle on valittu kanava, se lukitaan ja mittaa tarkistaa mahdollisen ylikuuluvuuden ja kanavien päällekkäisyyden. Optimoinnissa tulee ottaa huomioon myös kiinteistön ulkopuolelta ja muista kerroksista tulevien tukiasemien signaalien vaikutukset.

Kun optimointi on kokonaisuudessaan valmis, tulee langaton verkko mitata uudelleen, jotta voidaan todentaa verkon haluttu toimivuus ja selvittää, onko verkossa yhä parannettavaa.

#### 4.3 Kampuksen mallinnus

Kampuksen mallinnus toteutettiin erikseen rakennuksen A- ja B-puolille. Mittausraporttien pohjalta päätin muokata pohjakuvat yhdenmukaisiksi JPEG-muotoon (Joint Photographic Experts Group), jotta mallinnuksesta tulisi selkeämmän näköinen ja näin sen käyttäminen olisi jatkossa helpompaa. Tämä myös helpotti mallinnuksen saamista yhdenmukaiseksi. Alkuperäiset pohjakuvat olivat eri ohjelmilla tehtyjä CAD-kuvia (Computer-aided Design), eivätkä ne tämän takia olleet suoraan yhteensopivia Ekahau Site Survey -ohjelman kanssa.

Mallinnukseen käytetty laitteisto oli kannettava tietokone Lenovo T450, jossa oli Windows 7 -käyttöjärjestelmä. Koneessa oli 8 GB RAM-muistia ja i5-5300U-prosessori. Ohjelmistona oli Ekahau Site Survey 8.6.1, jonka Planner-osiota käytin mallinnuksen toteuttamisessa.

Mallinnuksessa käytettiin Site Survey -mittauksesta saatuja seinien ja tilojen vaimennusarvoja. Niiden pohjalta rakennettiin Leppävaaran kampuksen A- ja B-puolet erikseen omiksi mallinnuksikseen. Mallinnukseen rakennettiin samanlainen langaton verkko kuin koulussa on käyttäen samoja tukiasemamalleja oikeilla paikoillaan ja nimeämällä ne oikeilla nimillä. Kanavointi tehtiin automaattisesti, jotta mallinnuksessa välttyttäisiin todellisen verkon kanavien päällekkäisyysongelmilta. Mallinnuksessa siis jo optimoitiin verkon kanavointia paremmaksi. Automaattinen kanavien suunnittelu ei kuitenkaan ole aivan täydellinen kanavoinnin toteutustapa, ja verkon kanavointi saadaankin parhaiten tehtyä käsin. Tämä jää kuitenkin verkon optimoijien tehtäväksi.

#### 4.3.1 Mallinnuksen toteuttaminen

Rakennuksen mallinnus toteutettiin syksyn 2016 aikana, ja sen yhdenmukaisuutta oikeaan rakennukseen testattiin mallintamisen aikana. Suurimmaksi ongelmaksi osoitautui rakennuksen kerrosten välipohjan paksuuden ja materiaalien vaihtelu. Esimerkiksi A-puolen 0-kerroksen ja 1-kerroksen välissä olevan lattian paksuus ja vaimennus muuttui alueittain erilaiseksi. Tätä ei voinut ottaa huomioon mallinnettaessa, ja tästä johtuva kerrosten välisten signaalien läpäisy ja vaimeneminen eivät vastaa kaikilta osin oikeaa rakennusta.

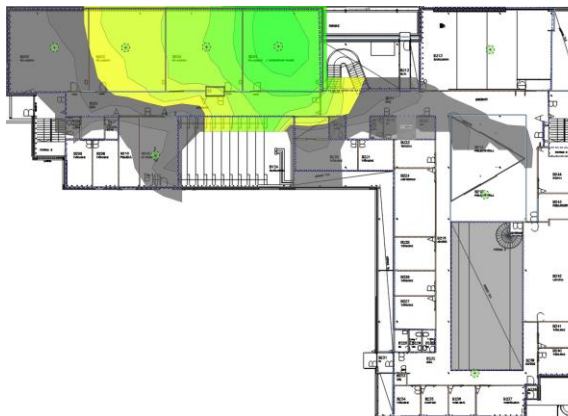
Kuvassa 14 näkyvään mallinnettuun pohjakuvaan on lisätty tukiasemat. Pohjakuvassa näkyvät eri väreillä merkityt seinät kuvaavat eri lailla vaimentavia materiaaleja. Tukiasemien ominaisuudet voidaan simuloida samanlaisiksi kuin todellisuudessa, jos kiinteistön langaton lähiverkko mitattaisiin. Niiden teho, kanavat ja tiedot voidaan asettaa halutuiksi, ja niiden arvoja voi säätää halutessaan. Lisäksi kiinteistön erikoisuudet, kuten kaksikerroksiset tilat ja kerroksien väliset aukot, voidaan myös toteuttaa mallinnukseen. Kuvassa alaoikealla sijaitseva suorakulmion muotoinen alue on kampuksen kirjaston avoin kaksikerroksinen tila, jossa on metallitangoista koostuva taideteos. Tämä taideteos vaikuttaa signaaliin tavoilla, joita ei ole mahdollista täysin simuloida ohjelmalla. Taideteoksen vaikutus mallinnuksen kokonaisuuteen signaalin vaimenemisen suhteen on kuitenkin vähäinen, ja se jätettiin mallintamatta tarkemmin.



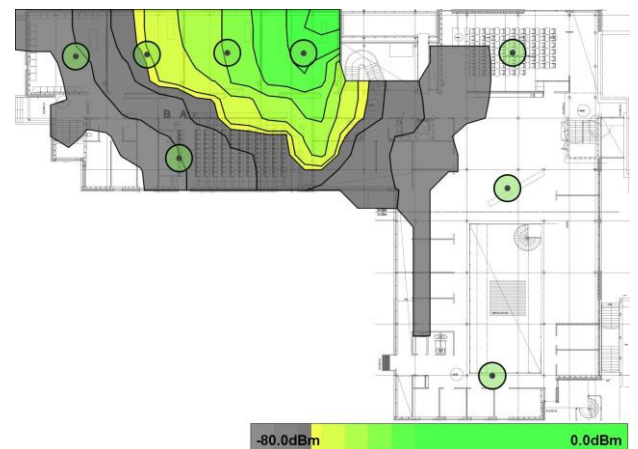
Kuva 14. B-puolen 2-kerros mallinnettuna.

Seuraavaksi vertaan todellisia mittaustuloksia mallinnukseen signaalin etenemisen osalta. Käytän esimerkkinä B-puolen 2-kerroksen huoneessa 205 olevaa Cisco 2702i -tukiasemaa. Tukiasema on mitattu ja mallinnettu 5 GHz:n taajuudella kuvassa 16 esitetyllä tavalla.

Mallinnuksessa simuloitu signaalin käyttäytyminen 5 GHz:n taajuudella



Mitattu signaalin käyttäytyminen 5 GHz:n taajuudella



Kuva 16. B-puolen 0-kerroksen signaalin vaimenemisen vertailu mallinnetun ja mitatun välillä.

Kuvassa näkyvät eroavaisuudet signaalin etenemisessä signaalin voimakkuuden heikentyessä selittää monitie-eteneminen. Simuloimalla ei pystytä ottamaan huomioon kaikkia kiinteistössä olevia heijastavia ja vaimentavia pintoja, ja tämän takia mitattu ja mallinnettu signaalin käyttäytyminen eivät vastaa täydellisesti toisiaan. Simuloidussa kuvassa tukiaseman viereen on jätetty mallintamatta kaksikerroksisen luentosalin yläosa, koska sen mittaaminen olisi ollut hankalaa ja tarpeetonta.

Mallinnuksessa voidaan hyödyntää mittaustuloksista saatavia alueellisia vaimennustietoja. Mallinnuksessa signaalien etenemistä voi hienosäätää ohjelman avulla, ja näillä hienosäädöillä saadaan aikaan mahdollisimman hyvin todellista maailmaa vastaava signaalien käyttäytyminen. Ohjelma ei kuitenkaan voi ottaa huomioon kaikkea, kuten esimerkiksi samanlaisten radioiden antennikeilojen vähäisiä eroavaisuuksia, mikä tulee ottaa huomioon mallinnuksia käytettäessä. On pidettävä mielessä, että mallinnus ei koskaan täysin vastaa todellista maailmaa.

#### 4.3.2 Mallinnuksen hyödyntäminen

Ekahau Site Survey -ohjelman mallinnuksia toteutetaan ja hyödynnetään monilla tavoilla. Yksi yritysmaailmassa käytetyimmistä tavoista on, että ensin mitataan kiinteistö Ekahau Site Survey -ohjelmalla, minkä jälkeen vaimennuksien pohjalta mallinnetaan asiakkaan haluama langaton verkko laitteineen. Tämän tuotoksen avulla voidaan esittää asiakkaalle verkkototeutuksiin tarvittavat laitteet ja laitemäärät. Muita käyttötarkoituksia on simuloida langattoman verkon toimintaa käymättä mittaamassa kiinteistöä. Tällöin pitää kuitenkin tietää suurin piirtein, millaisista materiaaleista kiinteistö on tehty.

Edellä esitettyjen tapojen lisäksi mallinnusta voi käyttää jo olemassa olevan langattoman verkon toiminnan optimoimiseksi. Ekahau Site Survey -mittauksen pohjalta mallinnetaan todellista vastaava kiinteistö ja langaton verkko. Tällä virtuaalisella verkkototeutuksella voi testata ja suunnitella verkon optimointia ilman tarvetta verkon säätämiseen todellisessa kiinteistössä. Kun langattoman verkon tukiasemien teho ja kanavat on säädetty mallinnukseen oikeanlaisiksi verkon optimoinnin kannalta, voidaan Ekahau-tiedosto tuoda Cisco Prime -verkonhallintaohjelmaan ja mallinnuksessa tehdyt säädöt voidaan asettaa vastaaville tukiasemille. Tällöin saadaan optimoitua langattoman verkon toiminta karkeasti.

Tässä työssä tehtyä mallinnusta on mahdollista käyttää kampuksen langattoman verkon optimoinnin suunnitteluun. Verkon optimointi voidaan aloittaa asettamalla osa kanavoinneista ja tehosäädöistä etukäteen mallinnetun suunnitelman pohjalta. Tämä helpottaa verkkokokonaisuuden optimointia, kun jäljellä on enää tukiasemajärjestelmän hienosäätäminen.

Käytössä olevan verkon mallinnusta kannattaa ylläpitää, jotta tulevaisuudessa on mahdollista suunnitella langattomaan verkkoon muutoksia laitteiden uusimisen yhteydessä ja verkon käyttötarkoitusten muuttuessa. Tällöin langattoman verkon muutoksia pystyy suunnittelemaan ja testaamaan ennen varsinaista käyttöönottoa.

Mahdollisia tulevaisuudessa käyttöön otettavia langattoman verkon uusia käyttötapoja voisi olla esimerkiksi WLAN-sisätilapaikantaminen, jonka avulla voitaisiin selvittää luokkien käyttöasteet ja niitä analysoimalla voitaisiin optimoida tilojen käyttäminen kampuksella.

## 5 Johtopäätökset

Insinööriyön tavoitteena oli Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran-kampuksen WLAN-verkon kartoittaminen ja mallintaminen sekä verkon käyttäjäkokemuksen parantaminen kampuksen langattoman verkon mallinnuksen avulla.

Valitsin verkon kartoituksen ja mallintamisen työkaluksi Ekahau Site Survey -ohjelman. Se on laajalti yrityskäytössä oleva langattomien verkkojen suunnittelun ja toteutuksen työkalu. Työelämässä ja tätä opinnäytetyötä tehdessä saamieni kokemusten perusteella tämä työkalu nopeuttaa ja tehostaa merkittävästi langattomien verkkojen suunnittelua, toteuttamista ja ongelmien selvitystä.

Työn tuloksena havaitsin useita puutteita Leppävaaran kampuksen langattoman lähiverkon toteutuksessa. Mittaustulosten perusteella voin todeta, ettei verkon kanavointia ja tukiasemien tehoa ole säädetty tarkoituksenmukaisesti. Tukiasemien määrä oli myös paikoitellen liian vähäinen verkon toimivuuden varmistamiseksi laitteiden vikaantuessa.

Työssä toteutetun mallinnuksen avulla voidaan suunnitella Leppävaaran kampuksen langattoman lähiverkon optimointi. Optimoinnilla on mahdollista saavuttaa erityisesti verkon käyttöhuippujen aikana paremmin toimiva ja vikasiedoltaan parempi langaton verkkokokonaisuus.

Suosittelen Metropolia Ammattikorkeakoulun verkon ylläpitäjille kaikkien kampuksien langattomien lähiverkkojen optimointia. Erityisesti Leppävaaran kampuksen langattoman verkon tukiasemien solujen koot ja kanavoinnit tulisi optimoida, jotta nykyisiltä kanavien ylikuulumis- ja päällekkäisyysongelmilta vältyttäisiin. Samalla suosittelen käymään läpi myös muiden kampuksien langattoman verkot ja selvittämään niissä mahdollisesti esiintyvät ongelmat

## Lähteet

- 1 Kaupunki tekee ilmaisia langattomia verkkojaan tunnetuksi. 2016. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <<http://www.hel.fi/www/uutiset/fi/sosiaali-ja-terveysvirasto/kamppi-digitaaliset-palvelut>>. Päivitetty 6.10.2016. Luettu 30.10.2016.
- 2 Cisco 2500 Series Wireless Controller Deployment Guide. 2016. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless/2500-series-wireless-controllers/113034-2500-deploy-guide-00.html>>. Päivitetty 15.4.2016. Luettu 28.10.2016.
- 3 Tietoliikenneverkon valvontaohjelmiston käyttöönotto. 2016. Verkkodokumentti. Verkkolehti Lahtinen - Lahden Ammattikorkeakoulu. <<http://lahtinen.lamk.fi/?p=1431>>. Päivitetty 24.5.2016. Luettu 30.10.2016.
- 4 WI-FI BACK TO BASICS | 2.4 GHZ CHANNEL PLANING. 2012. Verkkodokumentti. Aerohive Networks - boundless. <<http://boundless.aerohive.com/experts/wi-fi-back-to-basics--24-ghz-channel-planning.html>>. Päivitetty 11.7.2012. Luettu 10.11.2016.
- 5 A Quick Guide To 5GHz – Part 1. 2012. Verkkodokumentti. Darren Gauntlett. <<http://darrengauntlett.com/a-quick-guide-to-5ghz-part-1/>>. Päivitetty 18.7.2012. Luettu 10.11.2016.
- 6 IEEE 802.11 Wi-Fi Standards. Verkkodokumentti. Adrio Communications Ltd. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php>>. Luettu 20.11.2016.
- 7 IEEE 802.11b. Verkkodokumentti. Adrio Communications Ltd. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11b.php>>. Luettu 20.11.2016.
- 8 IEEE 802.11a. Verkkodokumentti. Adrio Communications Ltd. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11a.php>>. Luettu 20.11.2016.
- 9 IEEE 802.11g. Verkkodokumentti. Adrio Communications Ltd. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11g.php>>. Luettu 20.11.2016.
- 10 IEEE 802.11n. Verkkodokumentti. Adrio Communications Ltd. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>>. Luettu 20.11.2016.



- 11 IEEE 802.11ac. Verkkodokumentti. Adrio Communications Ltd. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11ac-gigabit.php>>. Luettu 20.11.2016.
- 12 Carrier Sense Multiple Access/with Collision Avoidance (CSMA/CA). Verkkodokumentti. Technopedia. <<https://www.techopedia.com/definition/11271/carrier-sense-multiple-accesswith-collision-avoidance-csmaca>>. Luettu 20.11.2016.
- 13 Learn about Multiple-Input Multiple-Output (MIMO). 2016. Intel. <<http://www.intel.com/content/www/us/en/support/network-and-i-o/wireless-networking/000005714.html>>. Päivitetty 15.7.2016. Luettu 20.11.2016
- 14 Jaaranen, Markku. 2001. Langattomat lähiverkot. Verkkodokumentti. <<http://cs.joensuu.fi/~mjaarane/laudaturseminaari/seminaari.html#322>>. Päivitetty 21.3.2001. Luettu 3.11.2016.
- 15 An Introduction to Orthogonal Frequency Division Multiplex Technology. 2004. Verkkodokumentti. Keithley Instruments, Inc. <[https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction\\_to\\_orthogonal\\_frequency\\_division\\_multiplex.pdf](https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_orthogonal_frequency_division_multiplex.pdf)>. Luettu 4.11.2016.
- 16 Omni Antenna vs. Directional Antenna. 2007. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html>>. Päivitetty 27.2.2007. Luettu. 10.11.2016.
- 17 McNeil , Peter, L-COM, Inc. WiFi Antenna Installation Best Practices Design Guide. Verkkodokumentti. <<http://www.l-com.com/content/WiFi%20Antenna%20Installation%20Best%20Practices.pdf>>. Luettu 20.11.2016.
- 18 Puurunen, Jani. 2012. Radiolinkin suorituskyvyn mittaukset. Insinööriyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- 19 Viestintävirasto – Varmaa ja vaivatonta viestintää kaikille Suomessa. 2015. Verkkodokumentti. Viestintävirasto. <<https://www.viestintavirasto.fi/viestintavirasto/virastonesittelyjatehtavat.html>>. Päivitetty. 25.2.2015. Luettu 20.11.2016.
- 20 Mall Learns About Shopper Behavior from Location Information. 2014. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/mobility-services-engine/riviera-shopping-center.pdf>>. Luettu 25.8.2016.
- 21 Ward , Chris. 2012. InstaWifi–Connect to Wi-Fi using NFC or QR code. Verkkodokumentti. <<http://blog.clove.co.uk/2012/06/14/instawificconnect-to-wi-fi-using-nfc-or-qr-code/>>. Päivitetty 14.6.2012. Luettu 20.11.2012.

- 22 Ohjeita WiFi-puhelun käyttöönottoon Verkkodokumentti.. Elisa Oyj. <<https://elisa.fi/asiakaspalvelu/aihe/mobiililaajakaista/ohje/wifi-puhelut/>>. Luettu. 18.11.2016.
- 23 Wuoti , Tuoma, Walkbase Oy. 2014. Press release: Helsinki Airport implements Walkbase technology.. Verkkodokumentti. <<http://www.walkbase.com/blog/helsinki-airport-implementing-walkbase-technology/>>. Päivitetty 29.7.2014. Luettu 16.11.2016.
- 24 Cisco IT Best Practices Wireless Lan Design. 2008. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <[http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ciscoitwork/downloads/ciscoitwork/pdf/Cisco\\_IT\\_Wireless\\_LAN\\_Design\\_Guide.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ciscoitwork/downloads/ciscoitwork/pdf/Cisco_IT_Wireless_LAN_Design_Guide.pdf)>. Luettu 13.11.2016.
- 25 Phifer , Lisa.Using VLANs to compartmentalize WLAN traffic. Verkkodokumentti. <<http://searchnetworking.techtarget.com/feature/Using-VLANs-to-compartmentalize-WLAN-traffic>>. Luettu. 10.11.2016.
- 26 Voice over Wireless LAN 4.1 Design Guide. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/vowlan/41dg/vowlan41dg-book/vowlan\\_ch2.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/vowlan/41dg/vowlan41dg-book/vowlan_ch2.html)>. Luettu. 2.11.2016.
- 27 Phifer , Lisa.WLAN security: Best practices for wireless network security. Verkkodokumentti. <<http://searchsecurity.techtarget.com/WLAN-security-Best-practices-for-wireless-network-security>>. Luettu 5.11.2016.
- 28 Fitzpatrick, Jason. The Difference Between WEP, WPA, and WPA2 Wi-Fi Passwords. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.howtogeek.com/167783/htg-explains-the-difference-between-wep-wpa-and-wpa2-wireless-encryption-and-why-it-matters/>>. Päivitetty 16.7.2013. Luettu. 25.10.2016.
- 29 Leppävaaran kampus. Verkkodokumentti. Metropolia AMK. <<http://s3.amazonaws.com/libapps/accounts/6098/images/Leppavaara.png>>. Ladattu 18.11.2016.
- 30 Site Survey Guidelines for WLAN Deployment. 2013. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless/5500-series-wireless-controllers/116057-site-survey-guidelines-wlan-00.html>>. Päivitetty 10.4.2013. Luettu 5.11.2016.

**WLAN MITTAUSRAPORTTI**  
**Metropolia Leppävaara Kampus B-puoli**  
**Kevät 2016**  
**Metropolia AMK**  
**Leppävaara Kampus**

**Eetu Oksman**  
**Tietotekniikka**

# Sisällysluettelo

1.	Yleistä.....	3
2.	Mittaukset .....	4
3.	Mittaustulokset.....	5
3.1	Verkon vaatimukset .....	5
3.2	Karttapohjat kerroksista .....	6
3.3	Pohjakartta 1krs.....	7
3.3.1	Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet .....	7
3.3.2	WLAN verkon tila .....	8
3.3.3	WLAN verkon ongelmat .....	9
3.3.4	Kuuluvuus.....	11
3.4	Pohjakartta 2krs.....	12
3.4.1	Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet .....	12
3.4.2	WLAN verkon tila .....	13
3.4.3	WLAN verkon ongelmat .....	14
3.4.4	Kuuluvuus.....	16
3.5	Pohjakartta 3krs.....	17
3.5.1	Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet .....	17
3.5.2	WLAN verkon tila .....	18
3.5.3	WLAN verkon ongelmat .....	19
3.5.4	Kuuluvuus.....	21

## 1. Yleistä

Mittaukset suoritettiin Leppävaaran kampuksella 14.06.-16.06.2016 välisenä aikana ja tarkemmin alla olevan aikataulun mukaisesti. Mittaukset tehtiin käyttäen 23 kontrolleripohjaista mittaustukiasemaa.

1krs 2016-06-16-15:35 - 2016-06-16-17:48  
2krs 2016-06-16-16:54 - 2016-06-16-18:05  
3krs 2016-06-14-17:11 - 2016-06-16-18:09

Mittauksessa käytettiin seuraavaa kalustoa:

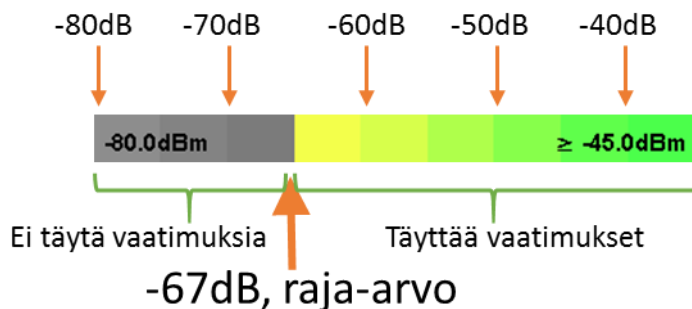
Tukiasemat: AIR-CAP2702i-E-K9, AIR-CAP2602i-E-K9, AIR-CAP3502i-E-K9, AIR-AP1142N-A-K9  
Ohjelmisto: Ekahau SiteSurvey 8.5.2  
Mittalaite: Asus UX303L Notebook  
Verkkokortti: Ekahau NIC-300

Mittaus suoritettiin Metropolian Ammattikorkeakoulun Leppävaaran kampuksella, jossa keskityttiin oppilaiden vapaasti käytössä oleviin tiloihin ja luokkahuoneisiin. Mittaus suoritettiin kun koulussa oli hiljaista, jotta client laitteet eivät häirinneet mittausta.

## 2. Mittaukset

Tässä kappaleessa esitetään mittaustulokset Site Survey mittauksista. Kuviin esitetään lämpökarttoina langattoman verkon tila ja ongelmakohtat, WLAN signaalin voimakkuus, SNR ja interferenssi mitatuissa kohteissa 2,4 GHz ja 5 GHz taajuusalueilla.

”WLAN verkon kuuluvuus” ja ”SNR” lämpökartoissa käytettävä raja-arvo näkyy värikoodauksina siten, että väreillä esitetty alue täyttää WLAN –verkolle asetetut vaatimukset. Mustavalkoisella esitetty alue ei täytä vaatimuksia, mutta värikoodauksesta voidaan silti määrittää alueella oleva signaalin voimakkuus tai SNR. Esimerkkinä signaalin voimakkuus.



Tässä raportissa käytettävät raja-arvot on taulukoitu kohdassa 3.1. Verkon vaatimukset.

WLAN verkon ongelmia esittävässä pohjakuvassa ongelmat värikoodataan karttapohjaan. Alueilla WLAN verkolle asetetut kynnyksiarvot (requirements) alittuvat. Tietty väri esittää WLAN verkossa olevaa ongelmaa seuraavasti:



**S.Str.** Signaalin voimakkuus heikompi kuin kynnyksiarvo.

**#APs.** Vähemmän mittauspisteeseen kuuluvia tukiasemia kuin kynnyksiarvo määrää.

**Data.** Siirtonopeus WLAN verkossa on vähemmän, kuin asetettu kynnyksiarvo.

**SNR.** Signaali-kohinasuhde heikompi kuin asetettu kynnyksiarvo.

**RTT.** Edestakainen paketin viive pidempi kuin asetettu kynnyksiarvo.

**Loss.** Pakettihävikki suurempi kuin asetettu kynnyksiarvo.

**Ch.O.** Samalla kanavalla lähetettävien tukiasemien määrä ja kuuluvuus mittauspisteessä on suurempi kuin asetettu kynnyksiarvo.

### 3. Mittaustulokset

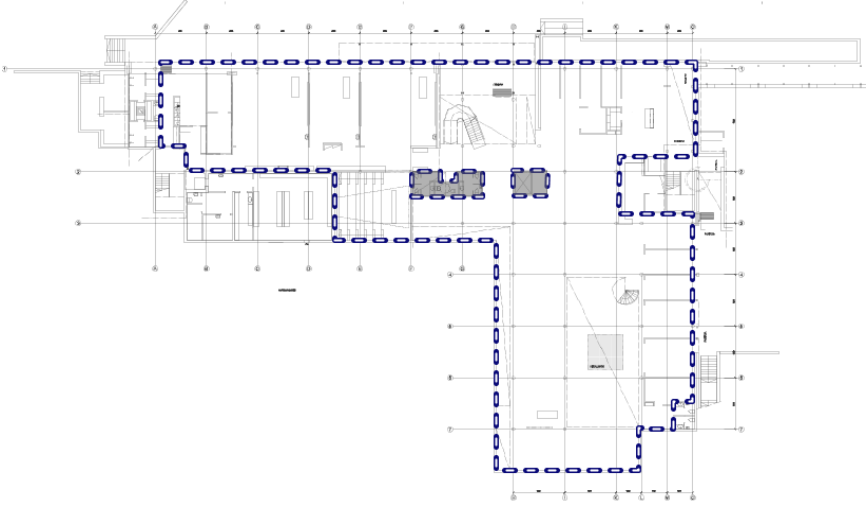
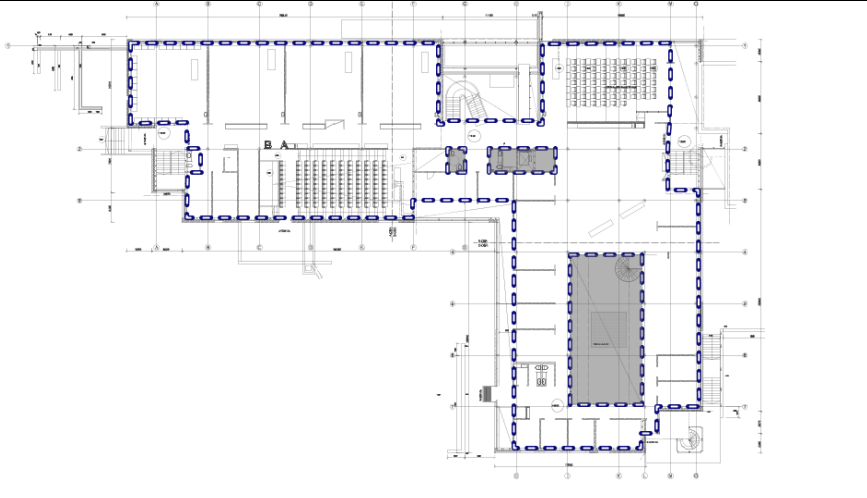
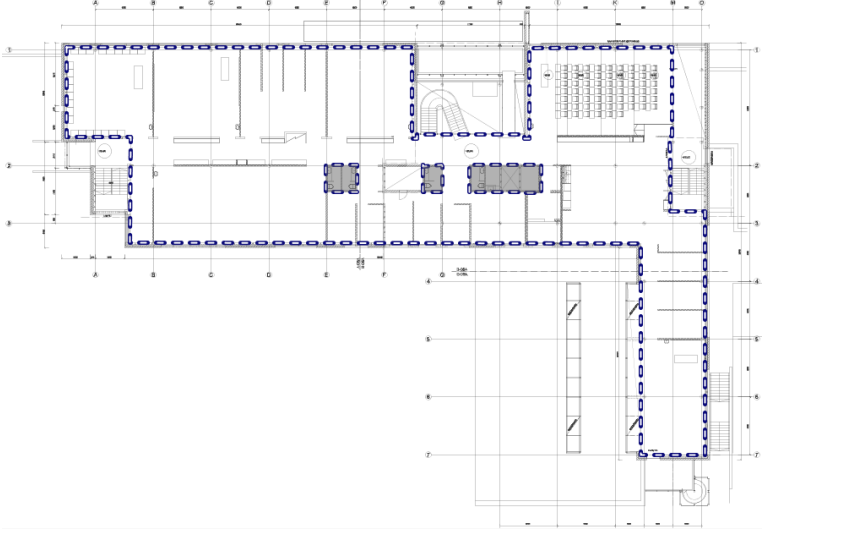
#### Signal Strength – signaalin voimakkuus

Signaalin voimakkuus (tai kuuluvuus) on perusvaatimus toimivalle WLAN verkolle. Hieman yksinkertaistaen heikko signaali johtaa alhaisiin datanopeuksiin ja epävarmasti toimivaan verkkoon. Suositeltava WLAN signaalin voimakkuus on vähintään -67dBm.

#### 3.1 Verkon vaatimukset

Signal Strength Min	-67.0 dBm	
Signal-to-noise Ratio Min	20.0 dB	
Data rate Min	54 Mbps	
Number of Access Points Min	2	at min. -73.0 dBm
Channel Overlap Max	2	at min. -80.0 dBm
Round Trip Time (RTT) Max	500ms	
Packet Loss Max	10.0 %	

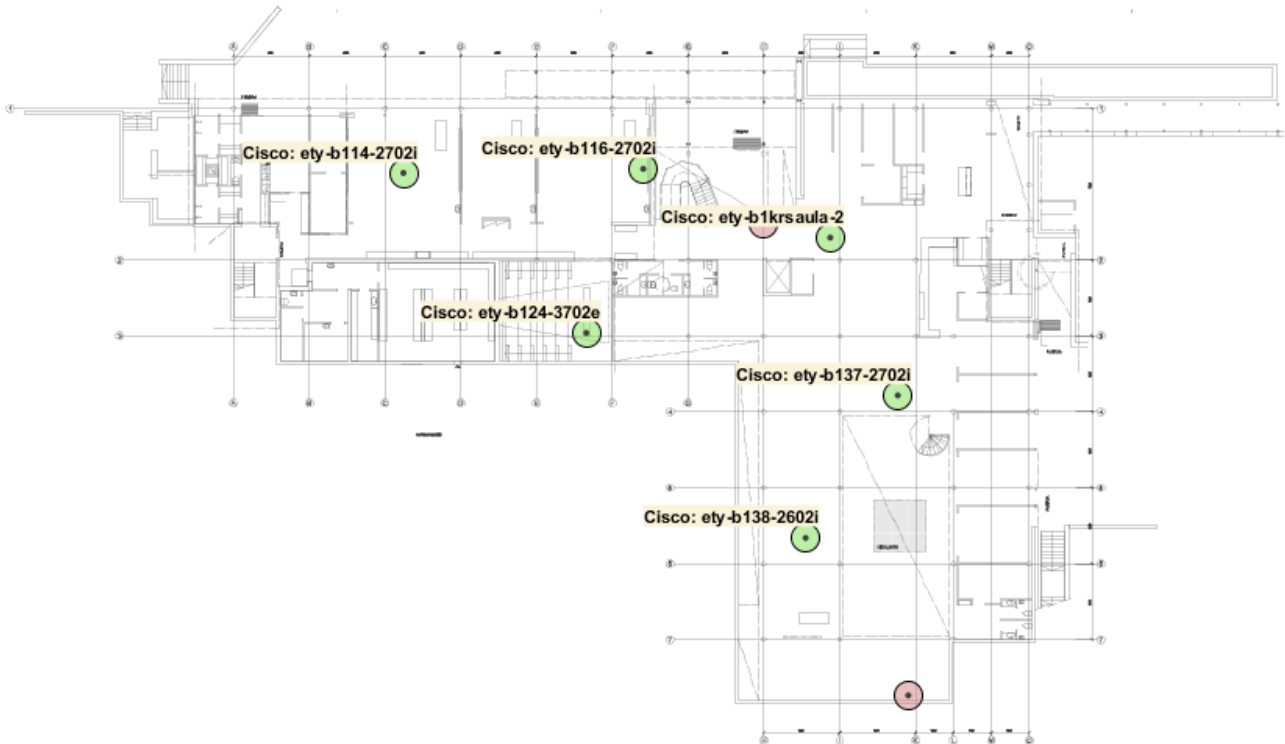
### 3.2 Karttapohjat kerroksista

Kartta	Nimi	Tukiasemien lukumäärä
	ETYB 1krs	6 kpl
	ETYB 2krs	8 kpl
	ETYB 3krs	9 kpl

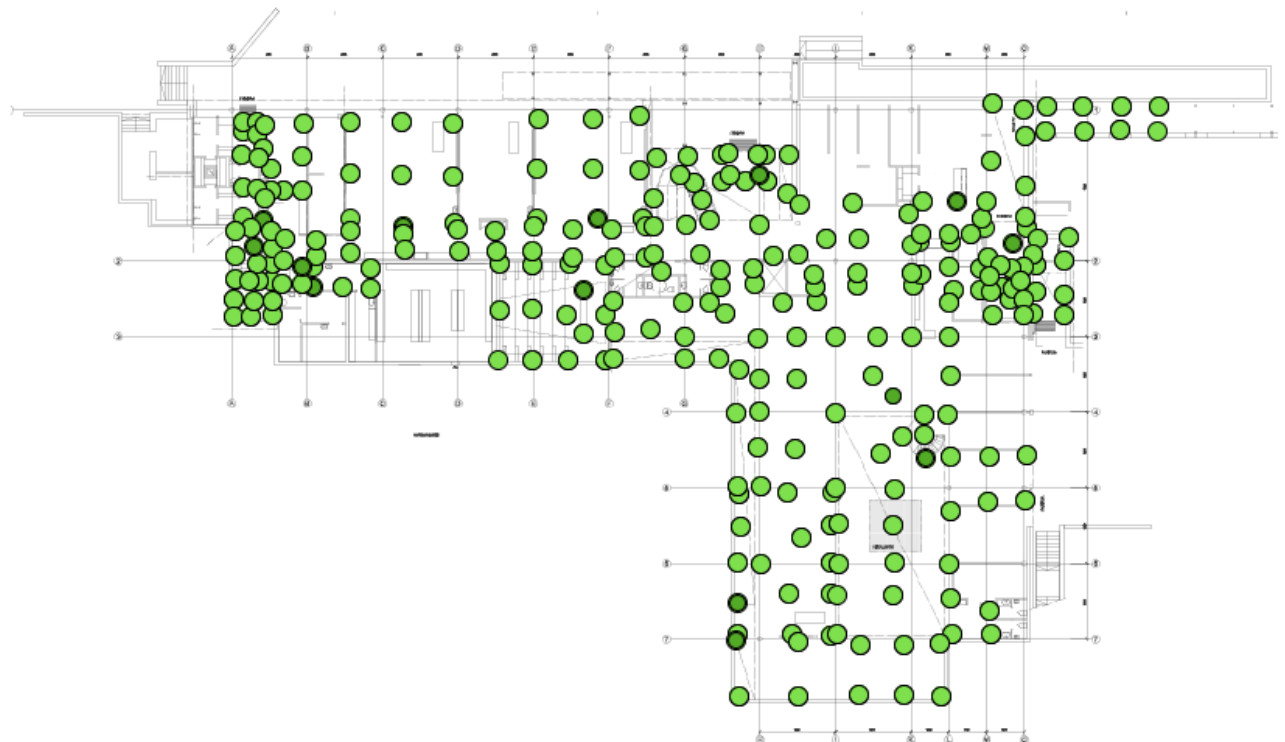


### 3.3 Pohjakartta 1krs

#### 3.3.1 Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet

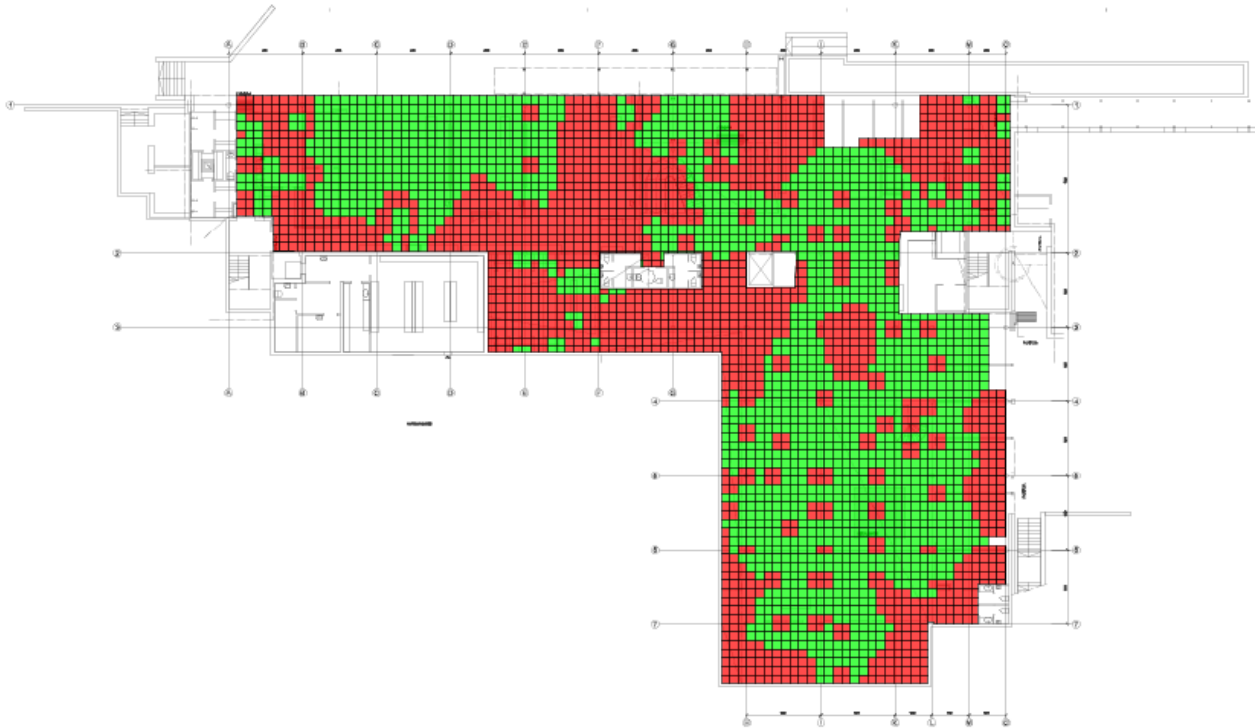


#### Mittaukset

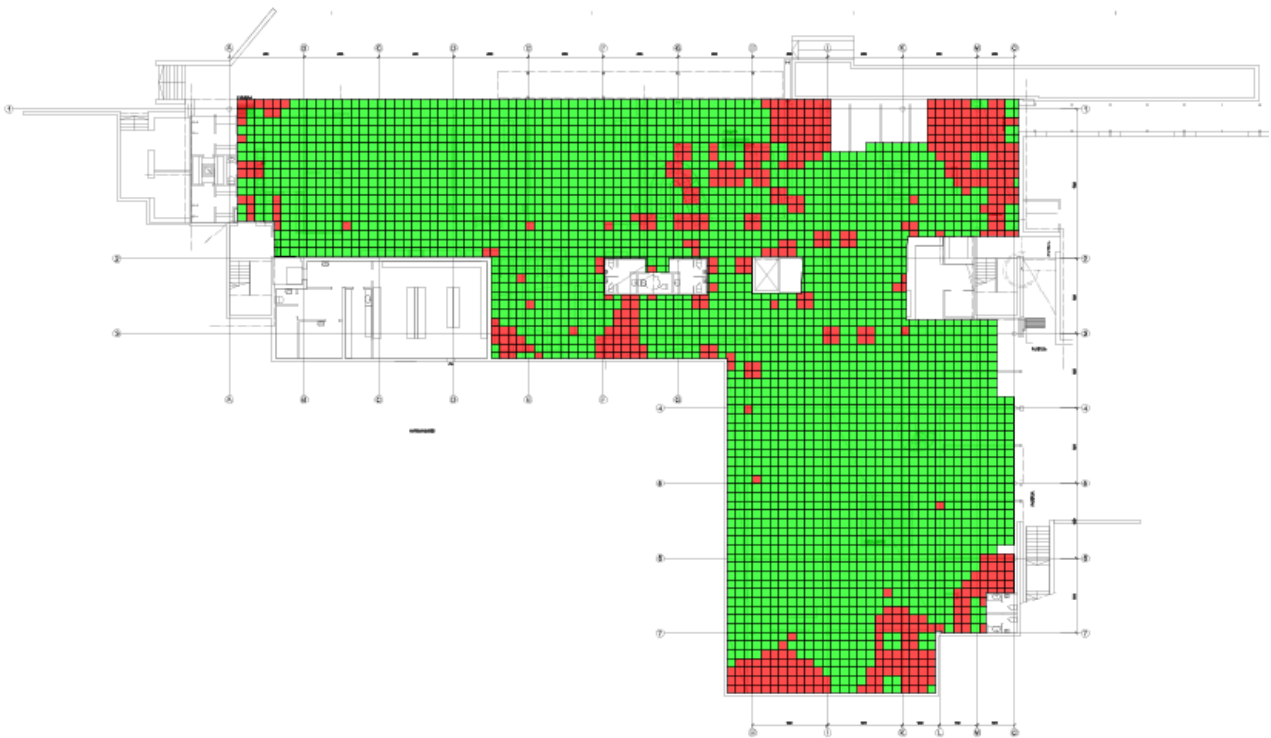


Mittauksen kokonaisaika: 22m 55s

### 3.3.2 WLAN verkon tila 2,4 GHz



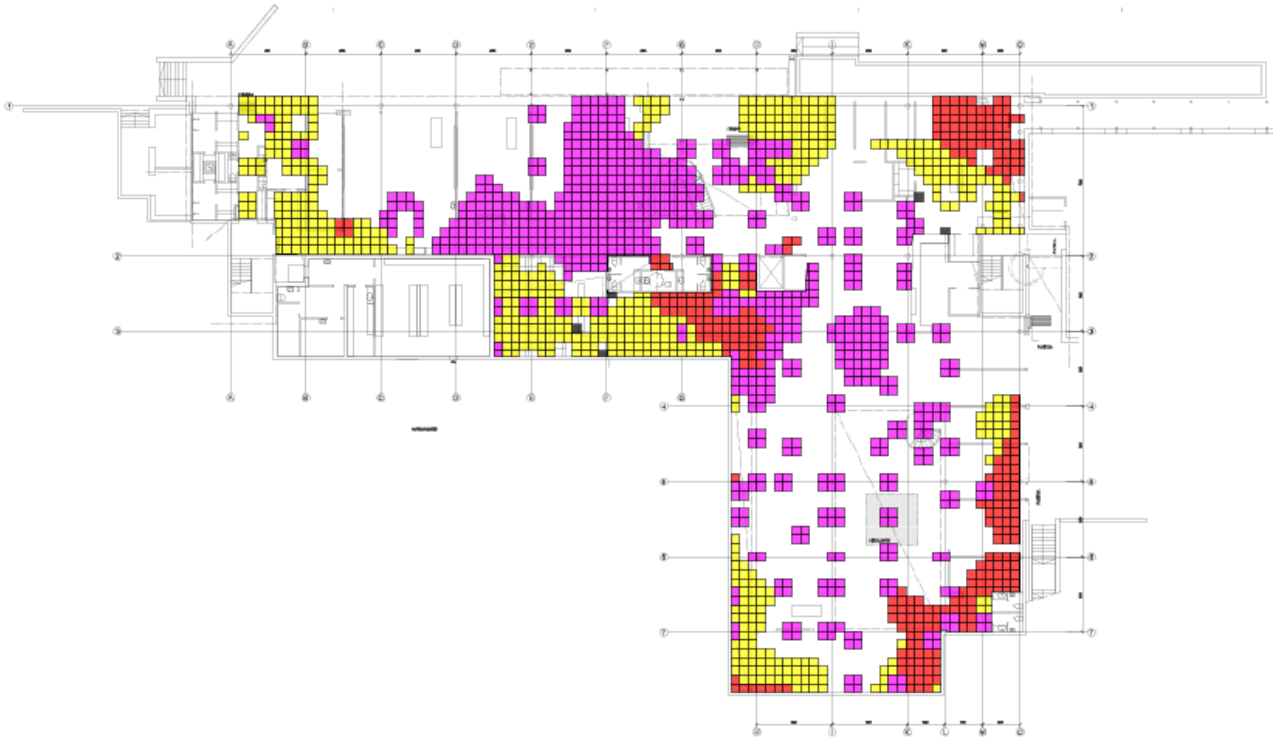
### 5 GHz



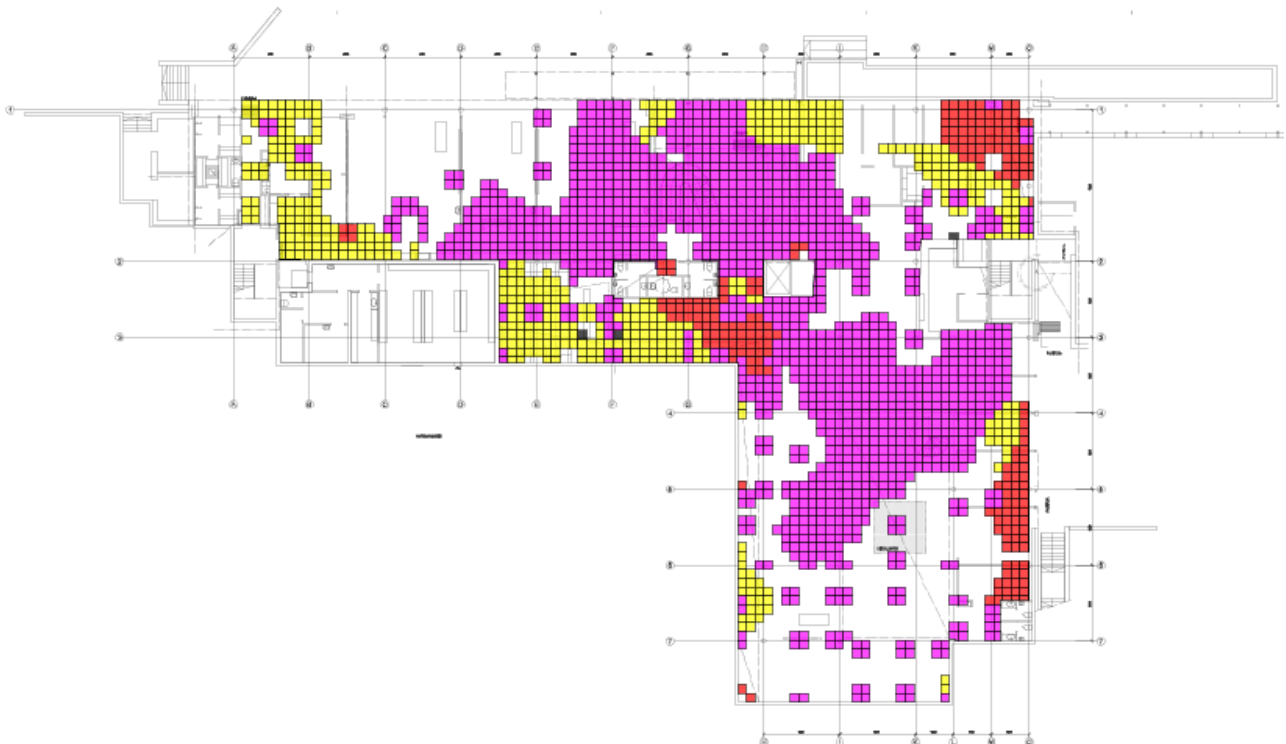
**Fail**

**Pass**

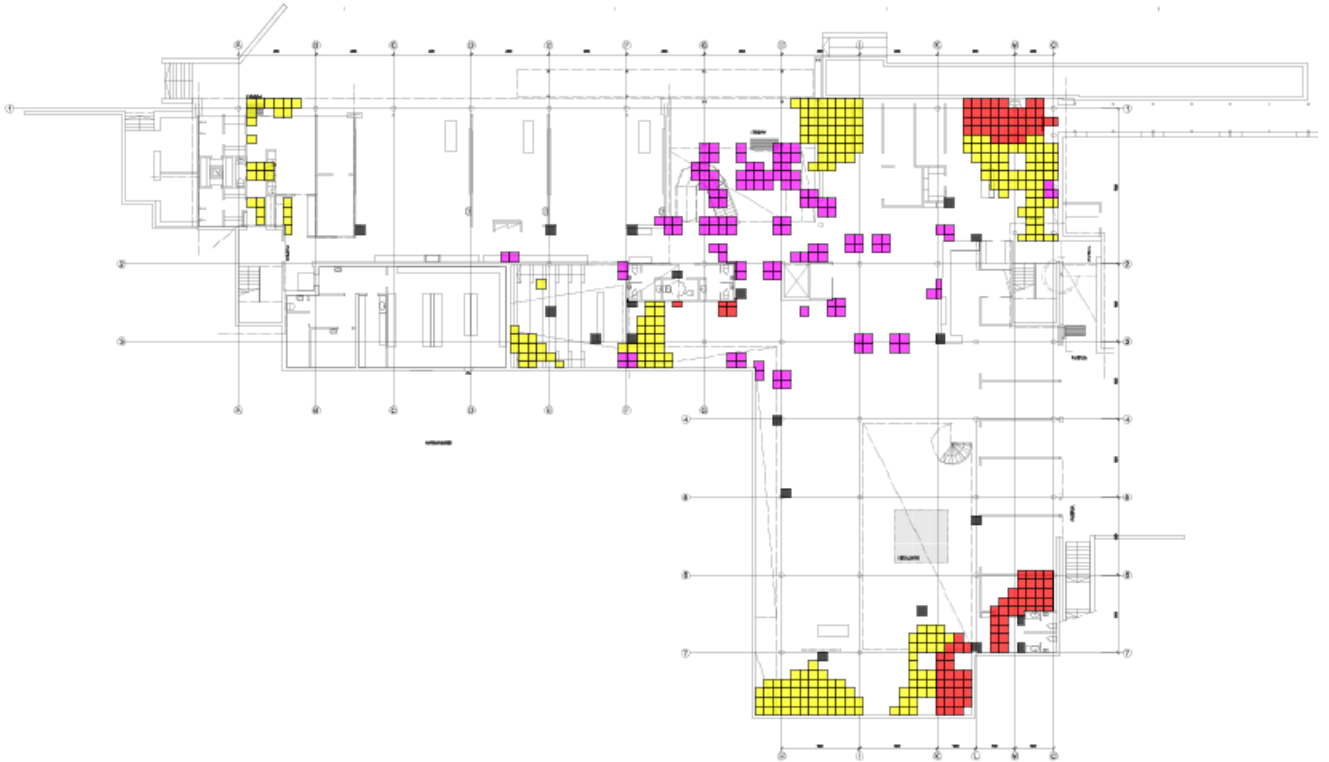
### 3.3.3 WLAN verkon ongelmat 2,4 GHz my Access-Points



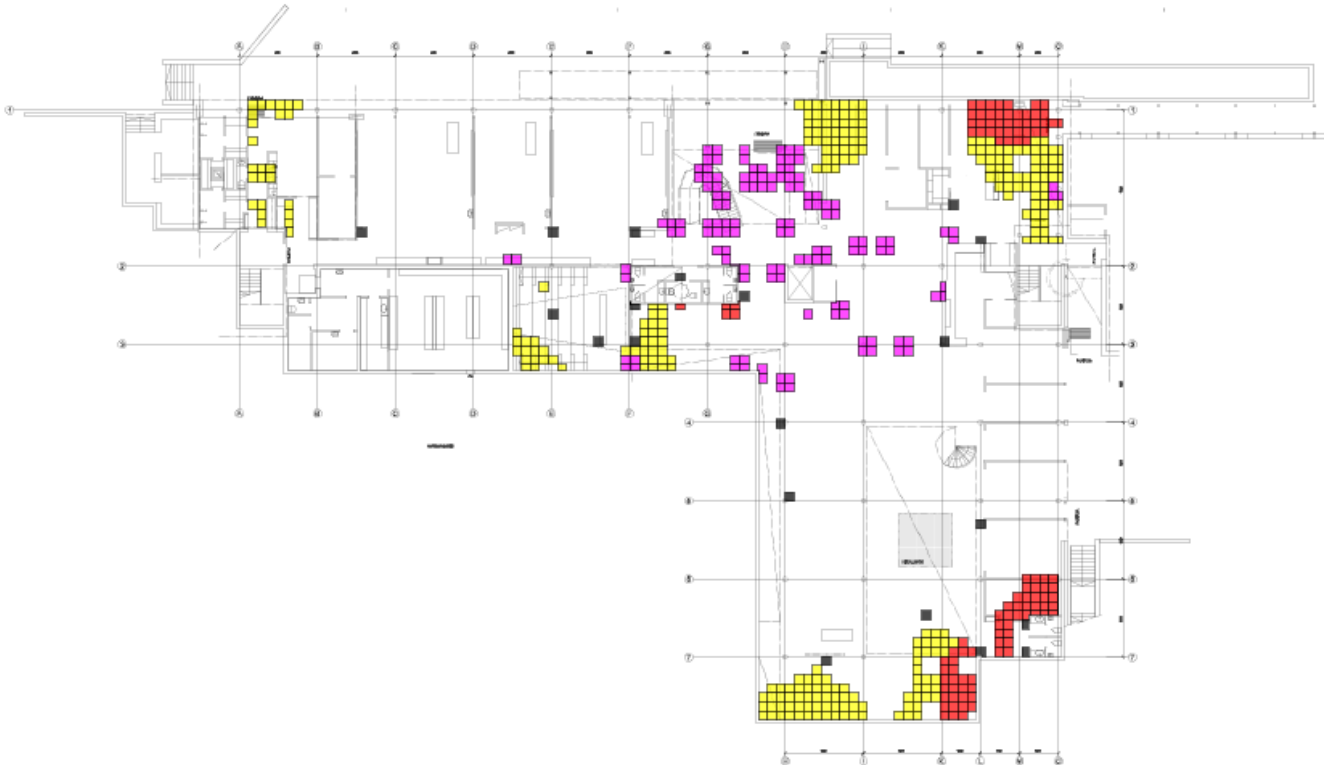
### 2,4 GHz all access-points



### 5 GHz my access-points

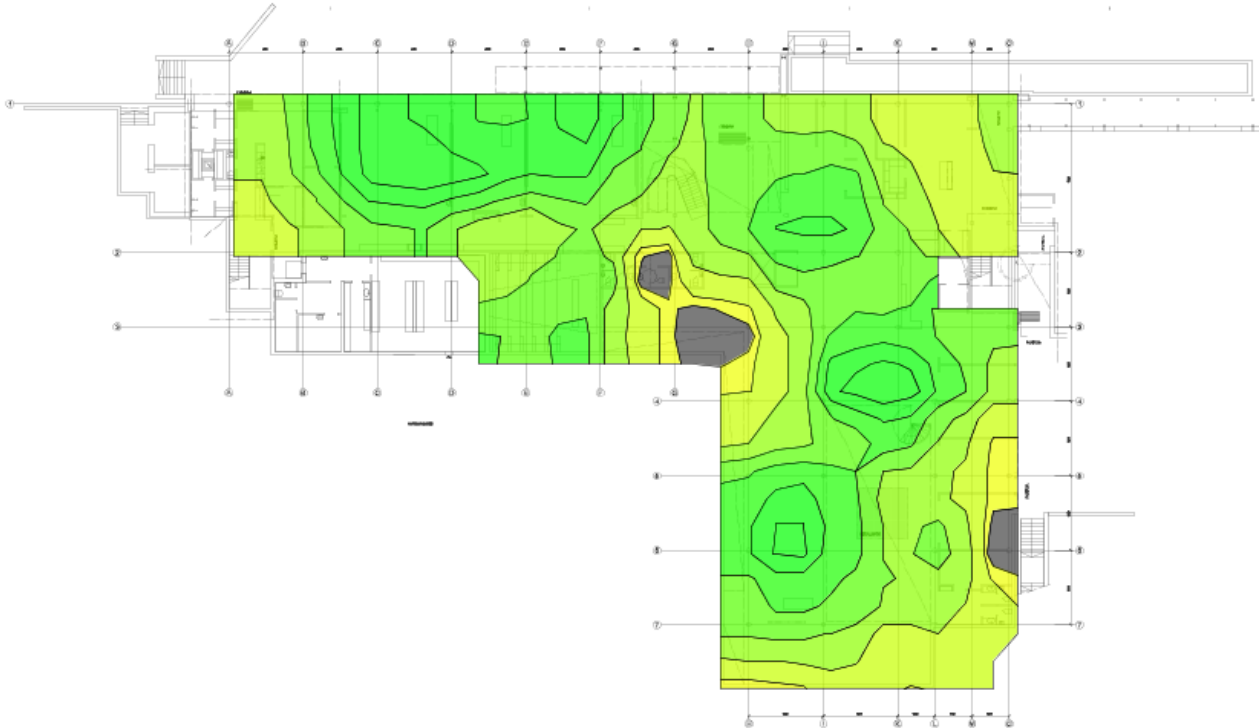


### 5 GHz all access-points

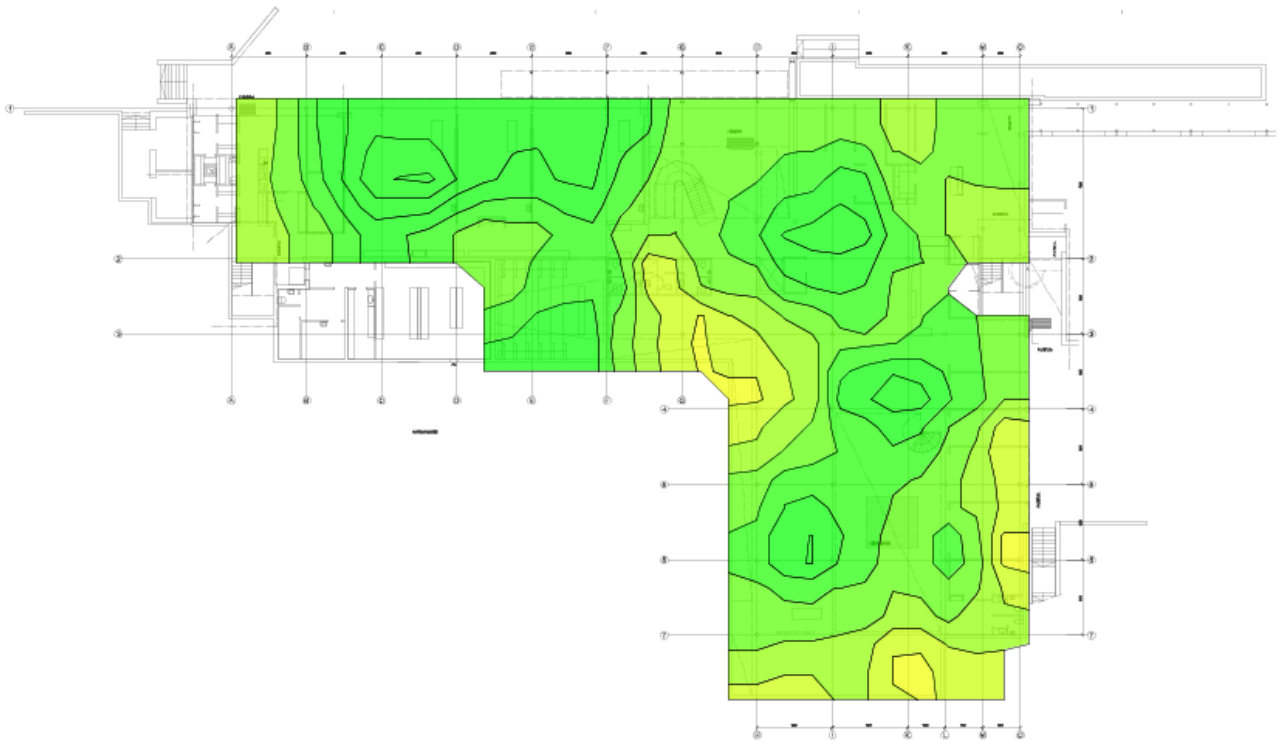


### 3.3.4 Kuuluvuus

#### Signaalin voimakkuus 2.4 GHz

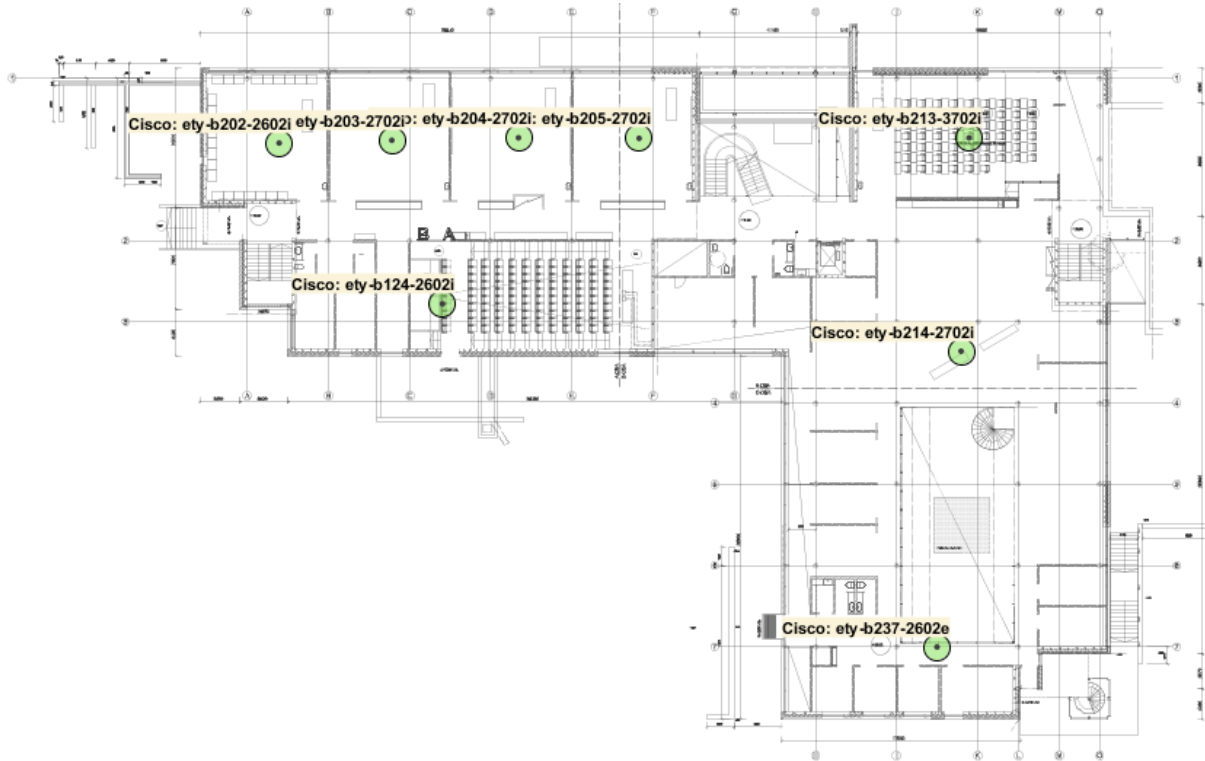


#### Signaalin voimakkuus 5 GHz

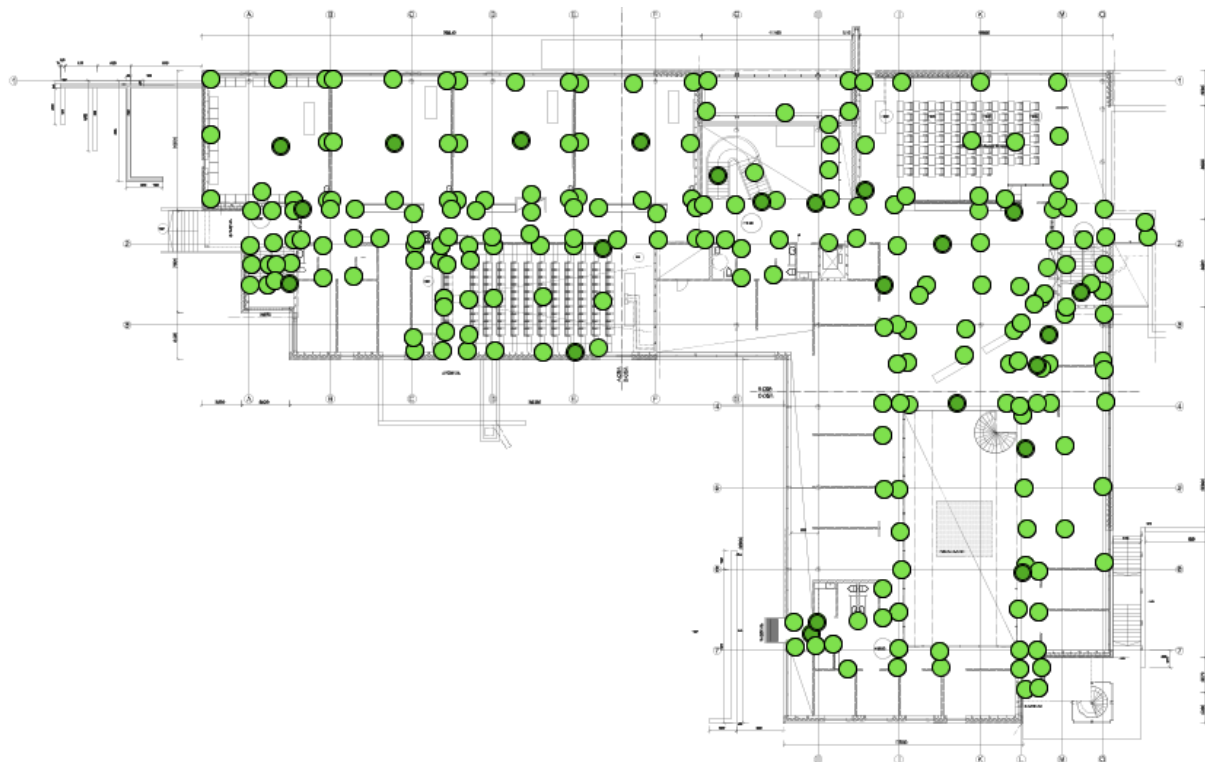


### 3.4 Pohjakartta 2krs

#### 3.4.1 Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet

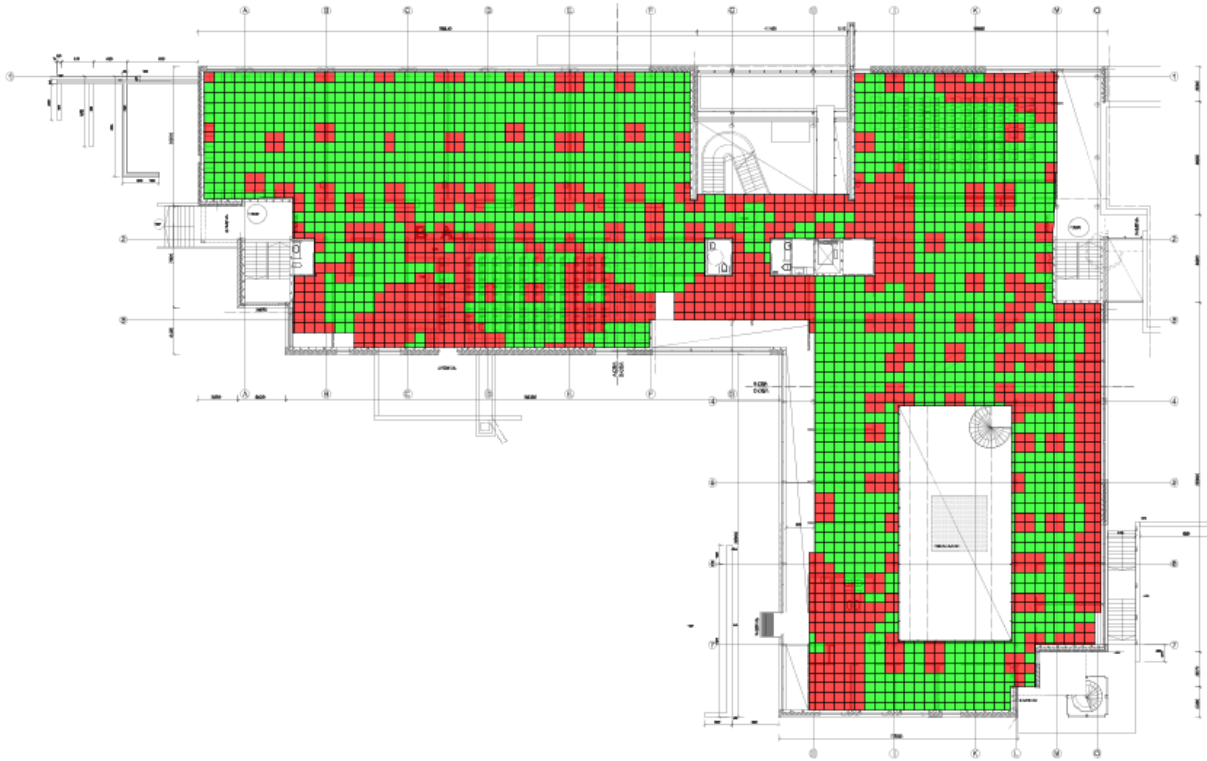


#### Mittaukset

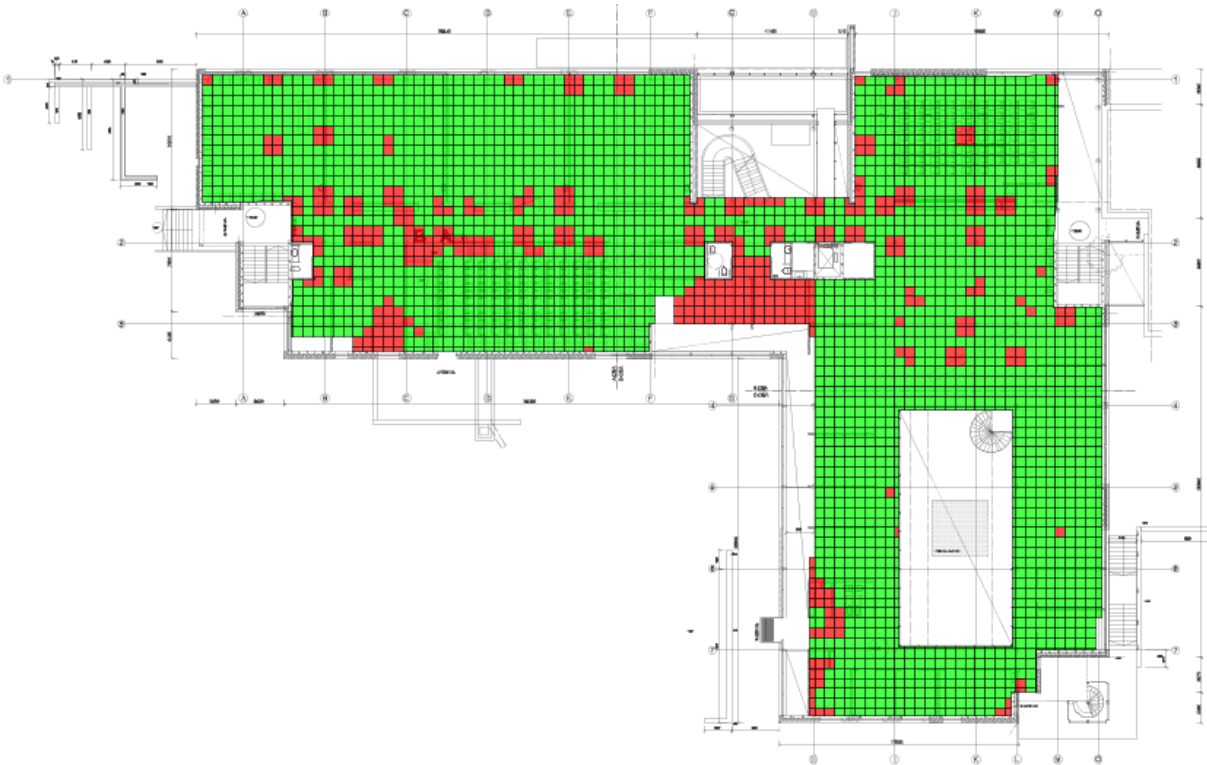


Mittauksen kokonaisaika: 19m 55s

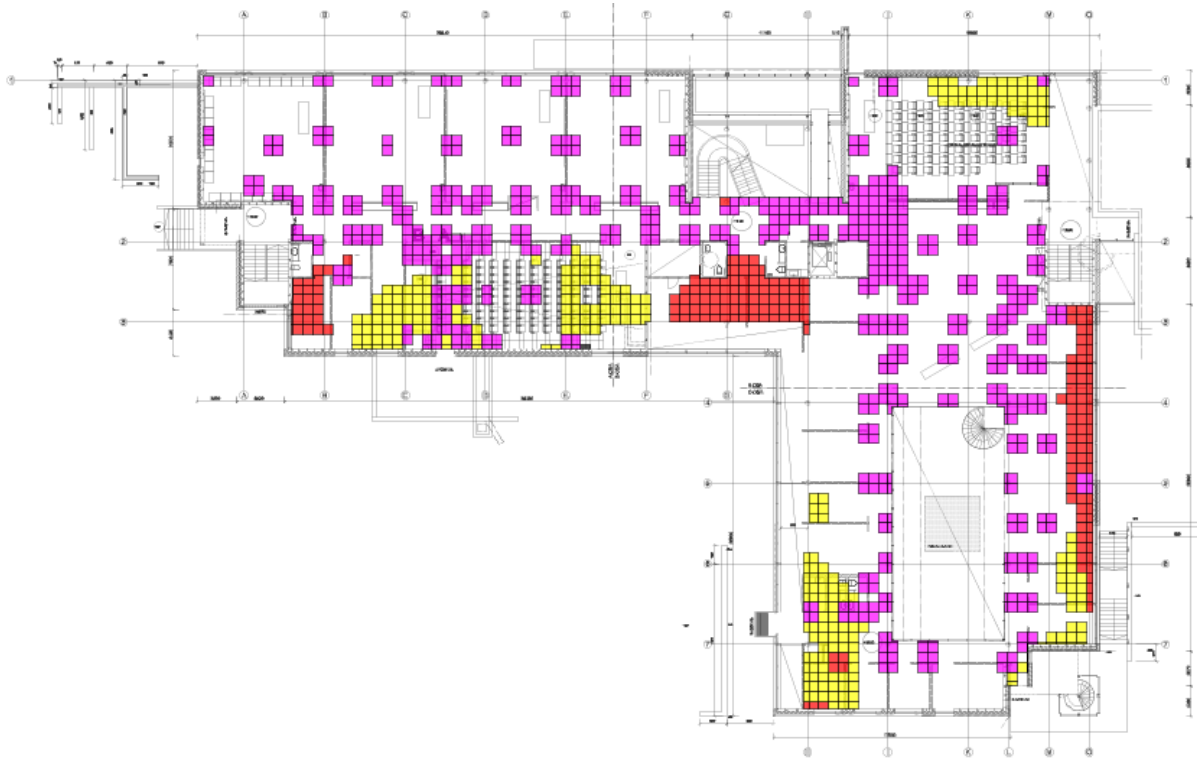
### 3.4.2 WLAN verkon tila 2,4 GHz



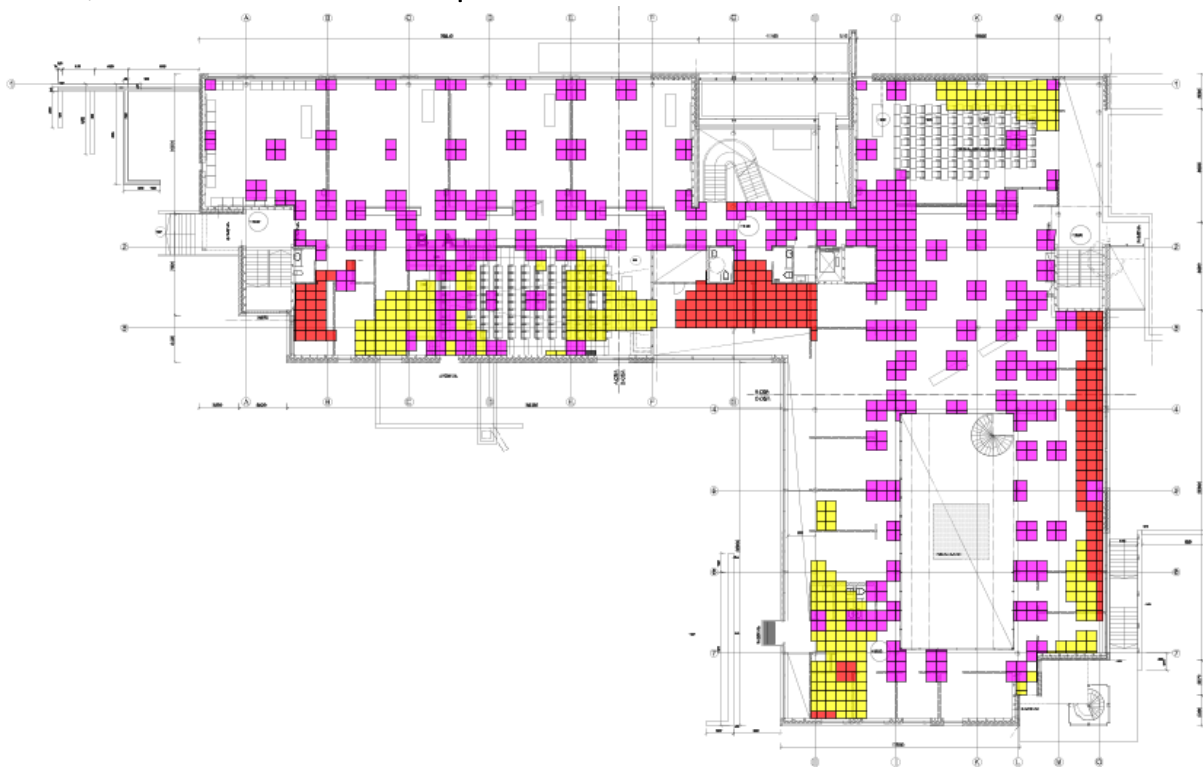
### 5 GHz



### 3.4.3 WLAN verkon ongelmat 2,4 GHz my Access-Points

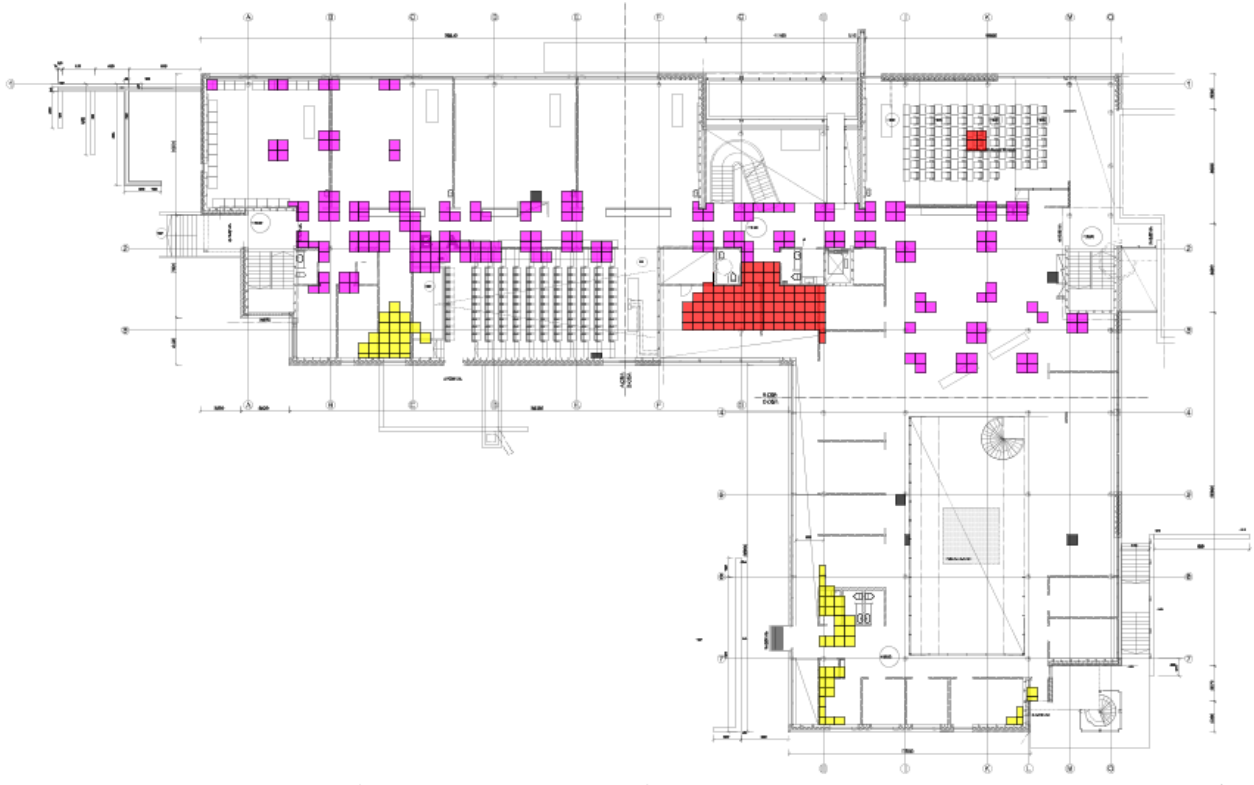


### 2,4 GHz all access-points

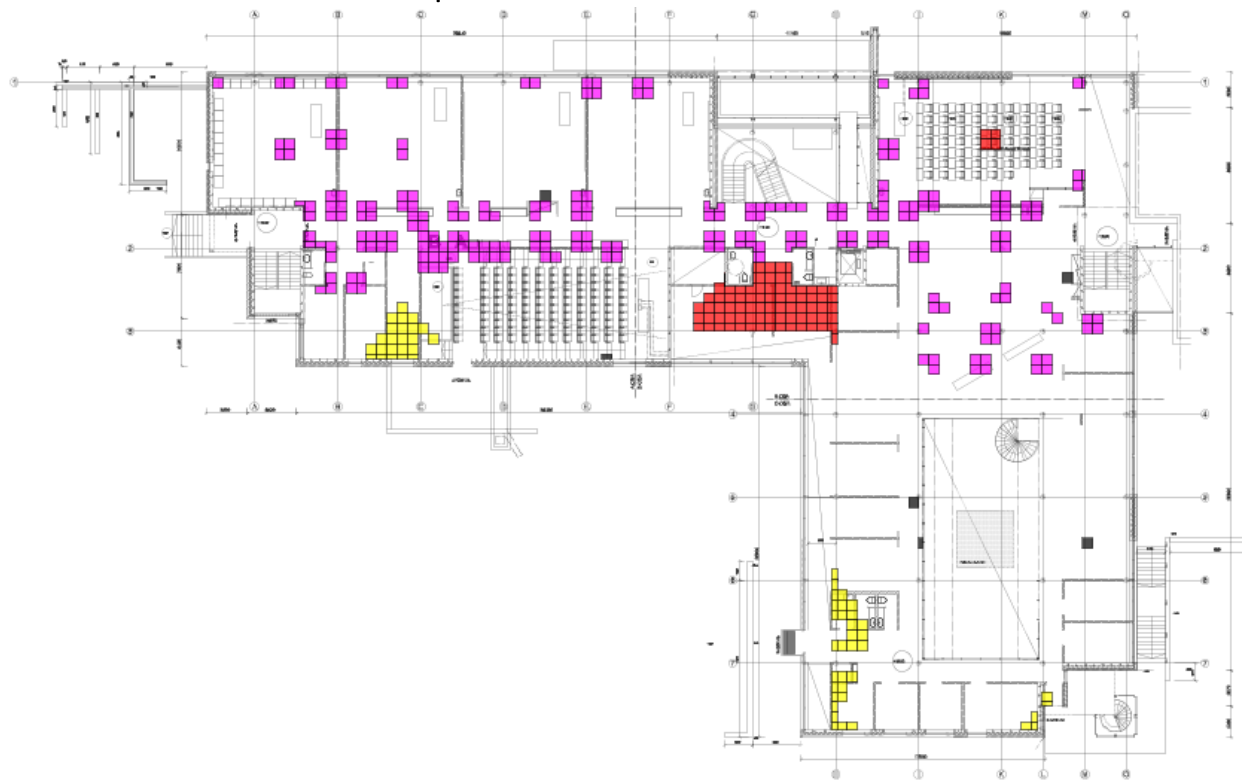




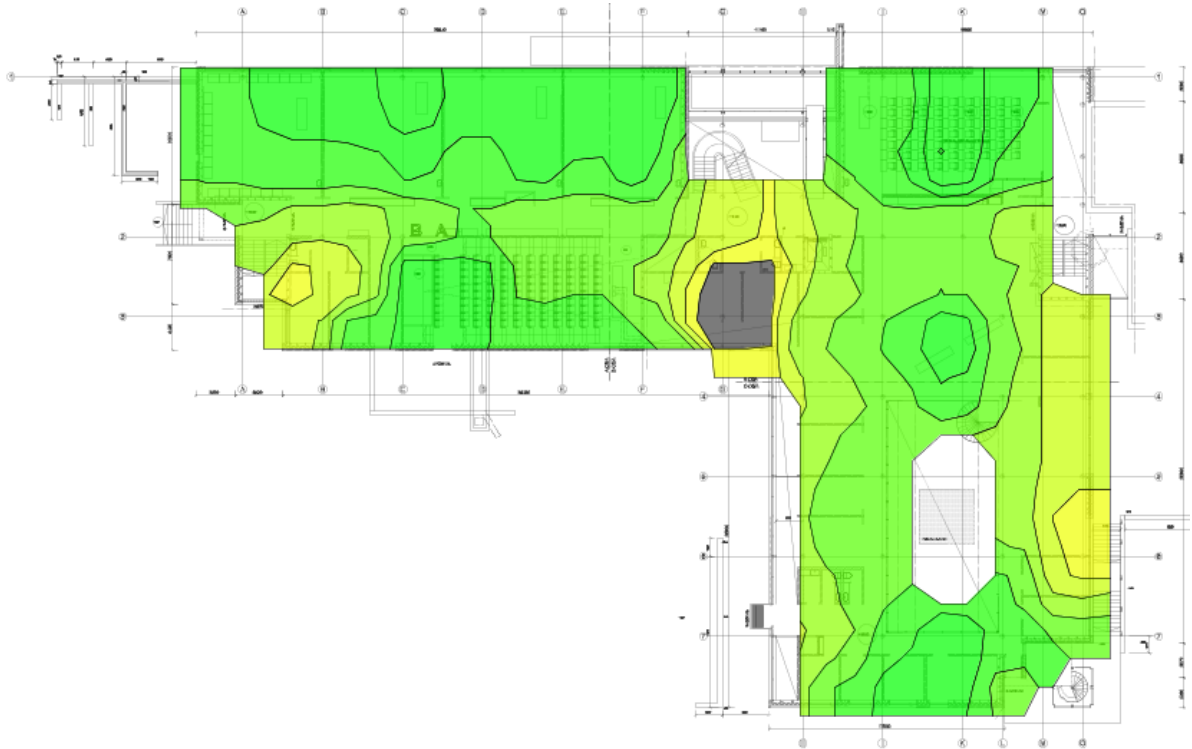
## 5 GHz my access-points



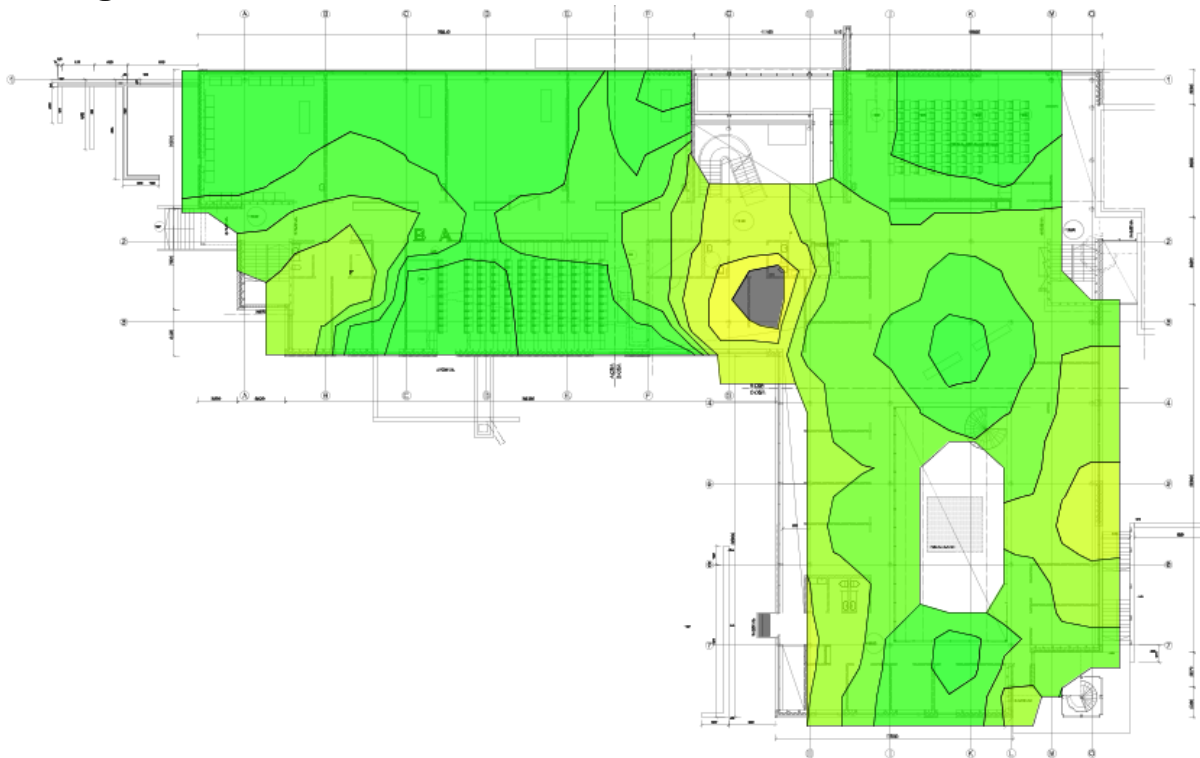
## 5 GHz all access-points



### 3.4.4 Kuuluvuus Signaalin voimakkuus 2.4 GHz

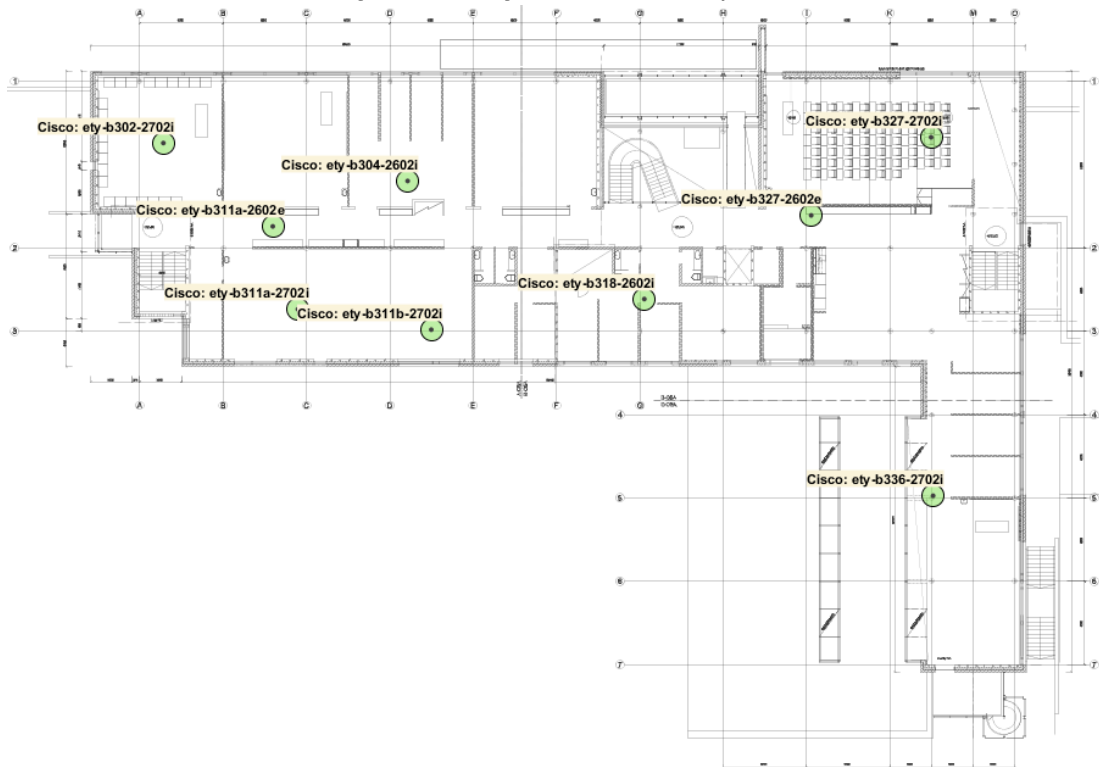


### Signaalin voimakkuus 5 GHz

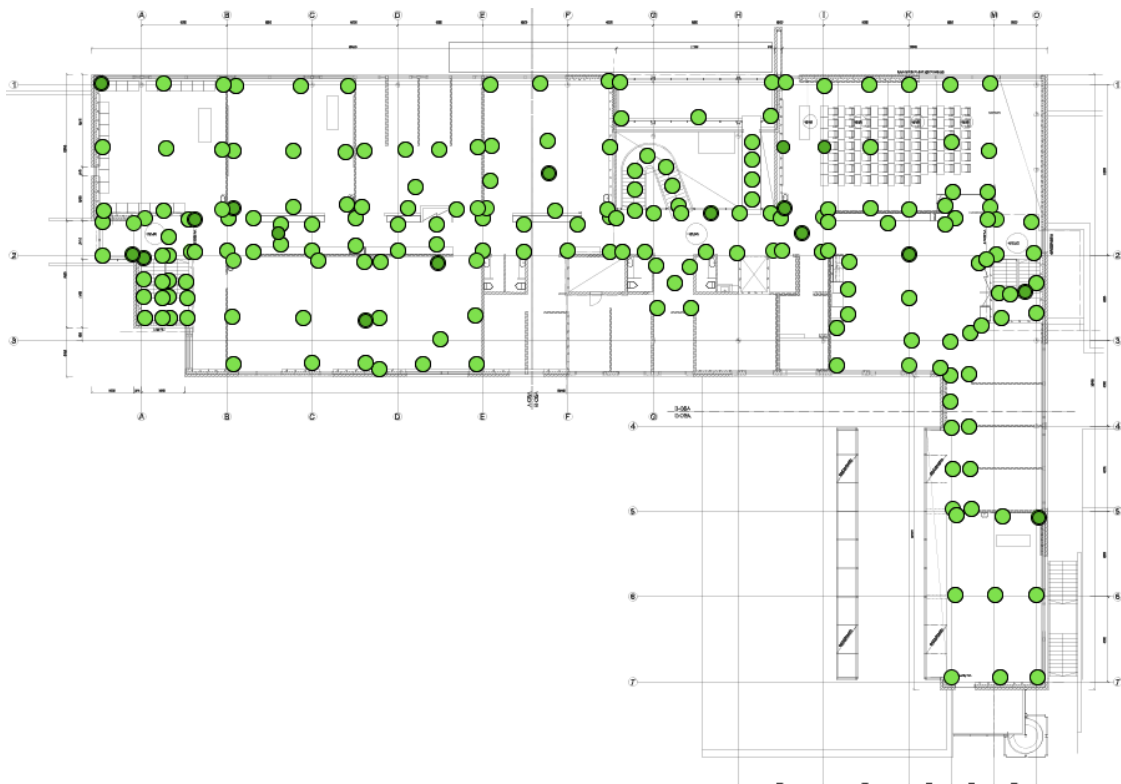


## 3.5 Pohjakartta 3krs

### 3.5.1 Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet

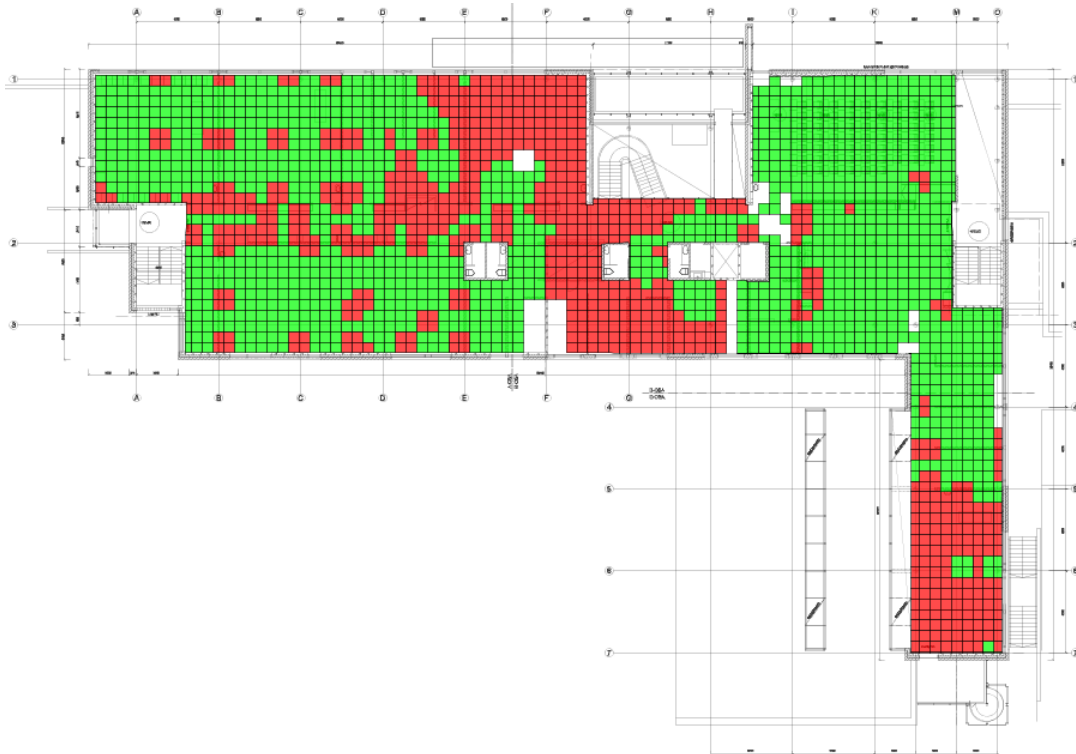


### Mittaukset

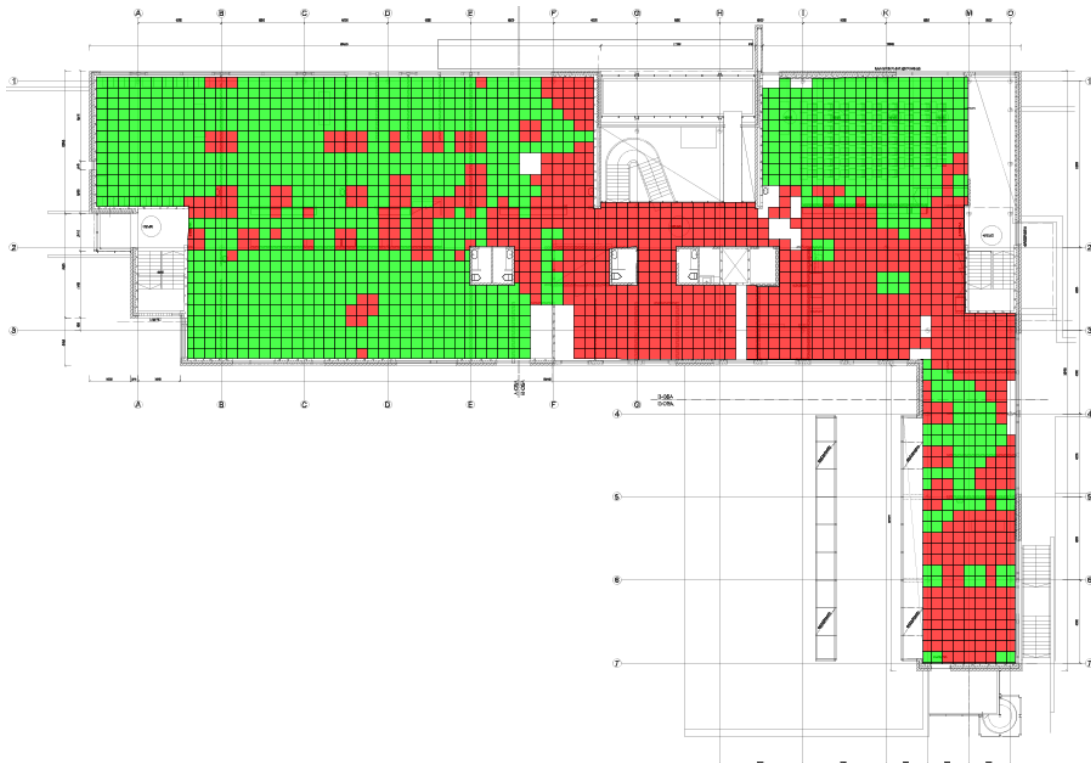


Mittauksen kokonaisaika: 17m 28s

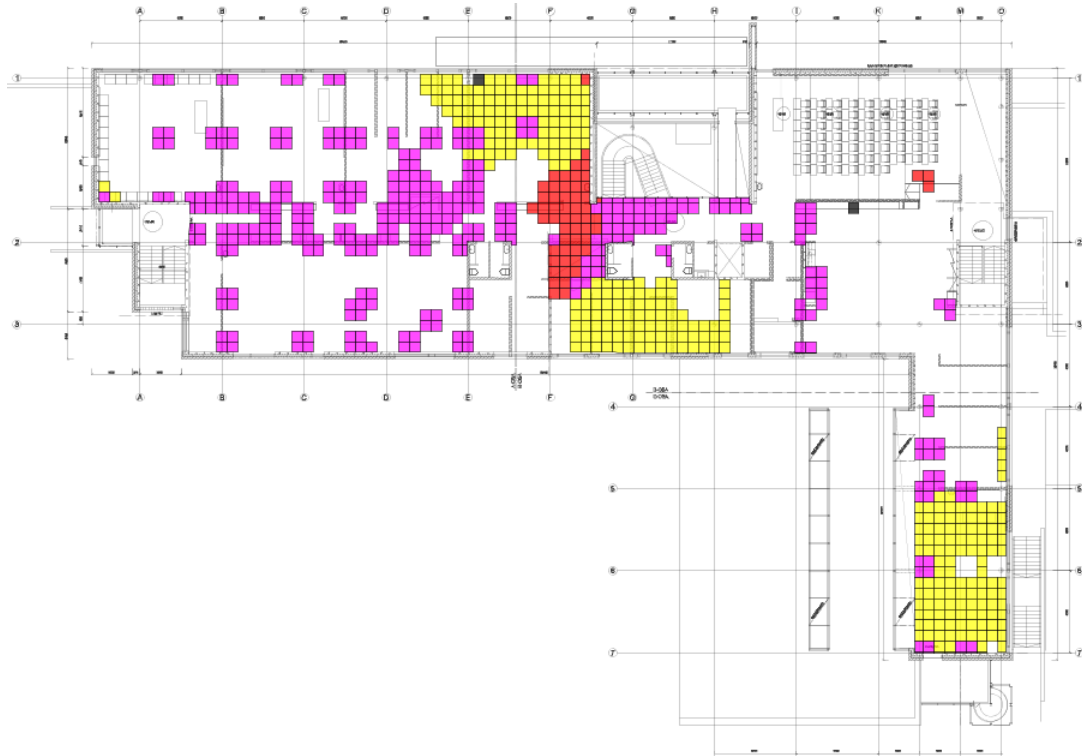
### 3.5.2 WLAN verkon tila 2,4 GHz



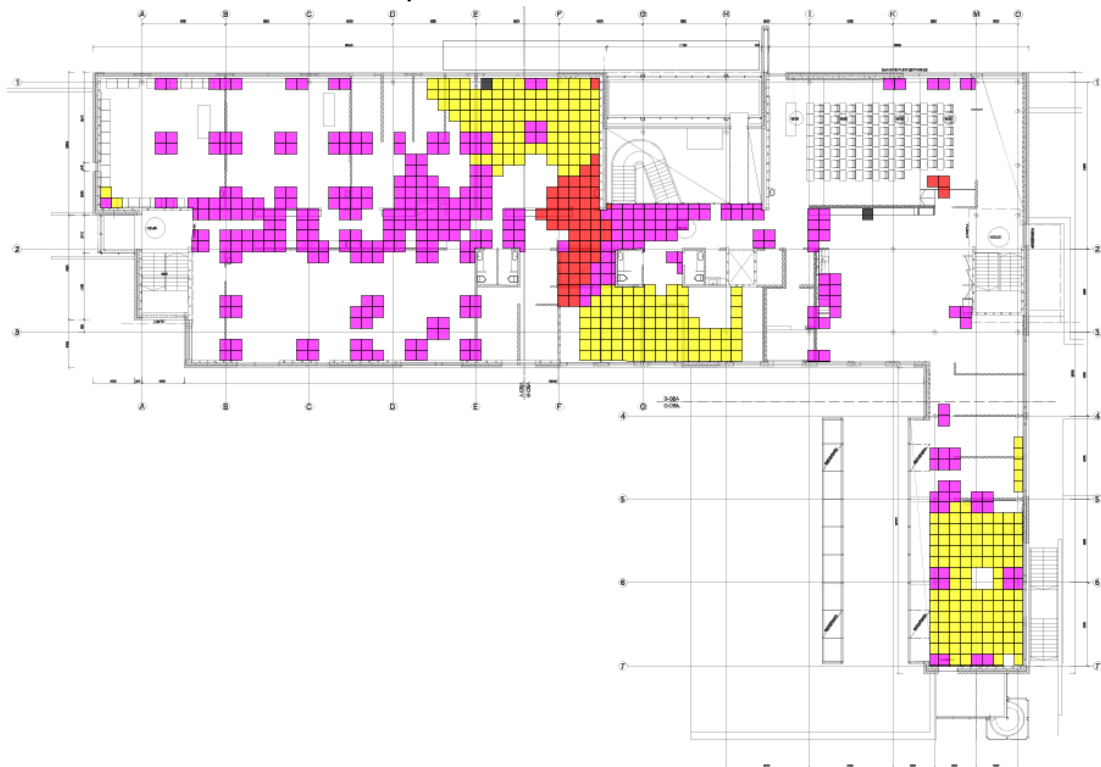
### 5 GHz



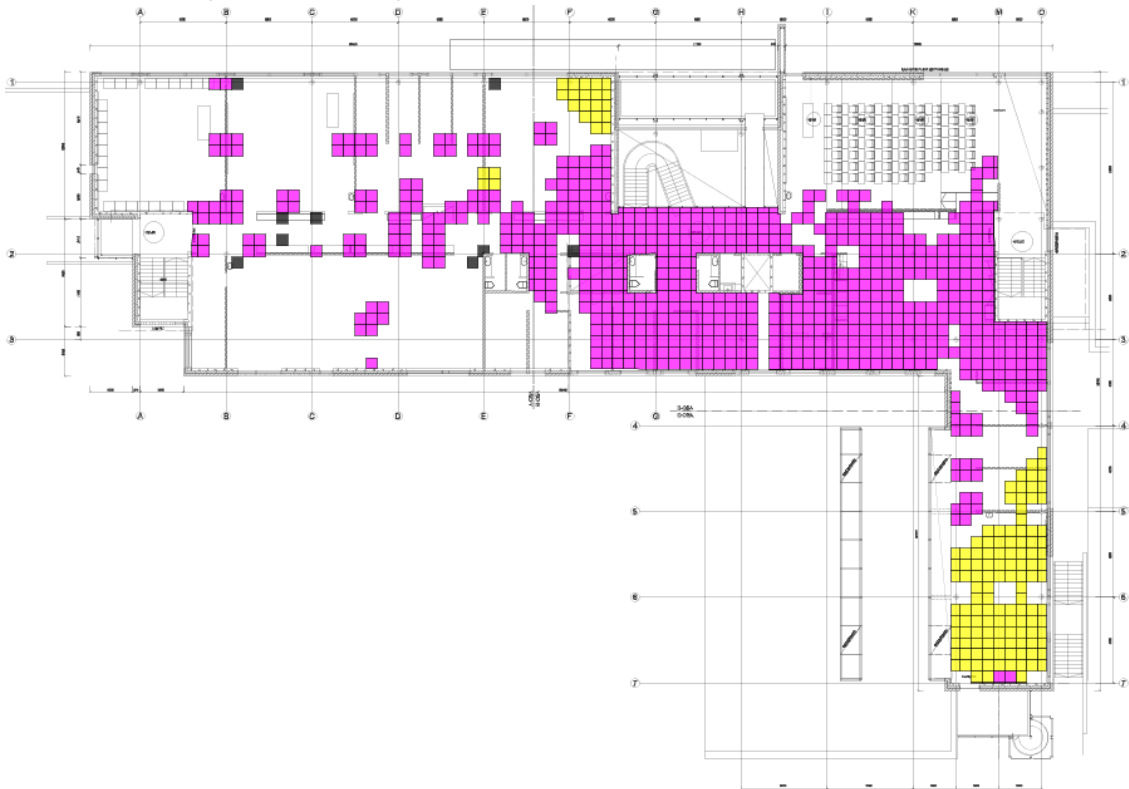
### 3.5.3 WLAN verkon ongelmat 2,4 GHz my Access-Points



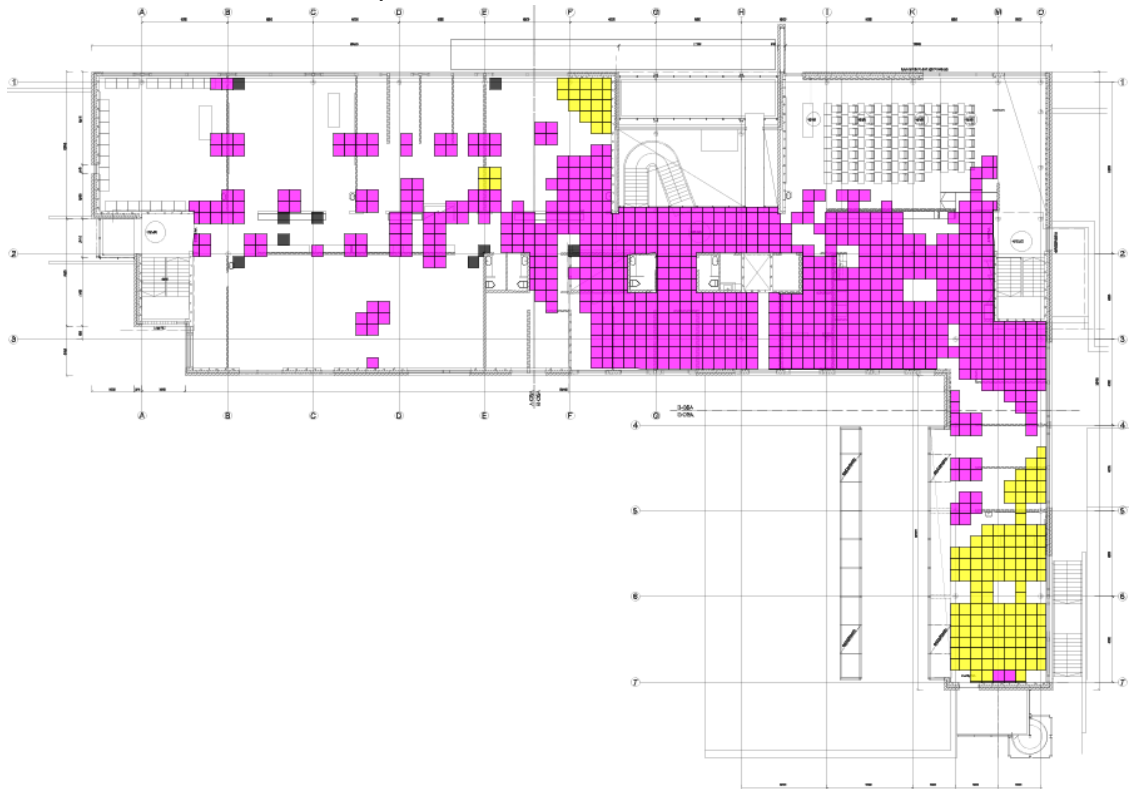
### 2,4 GHz all access-points



### 5 GHz my access-points

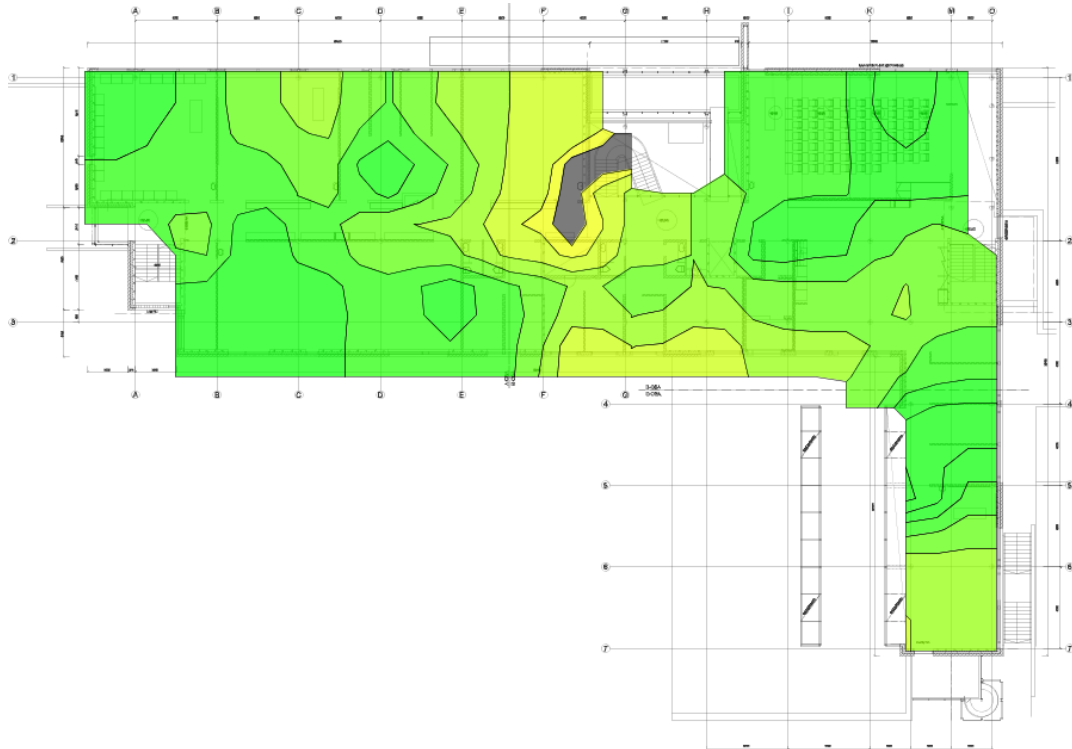


### 5 GHz all access-points

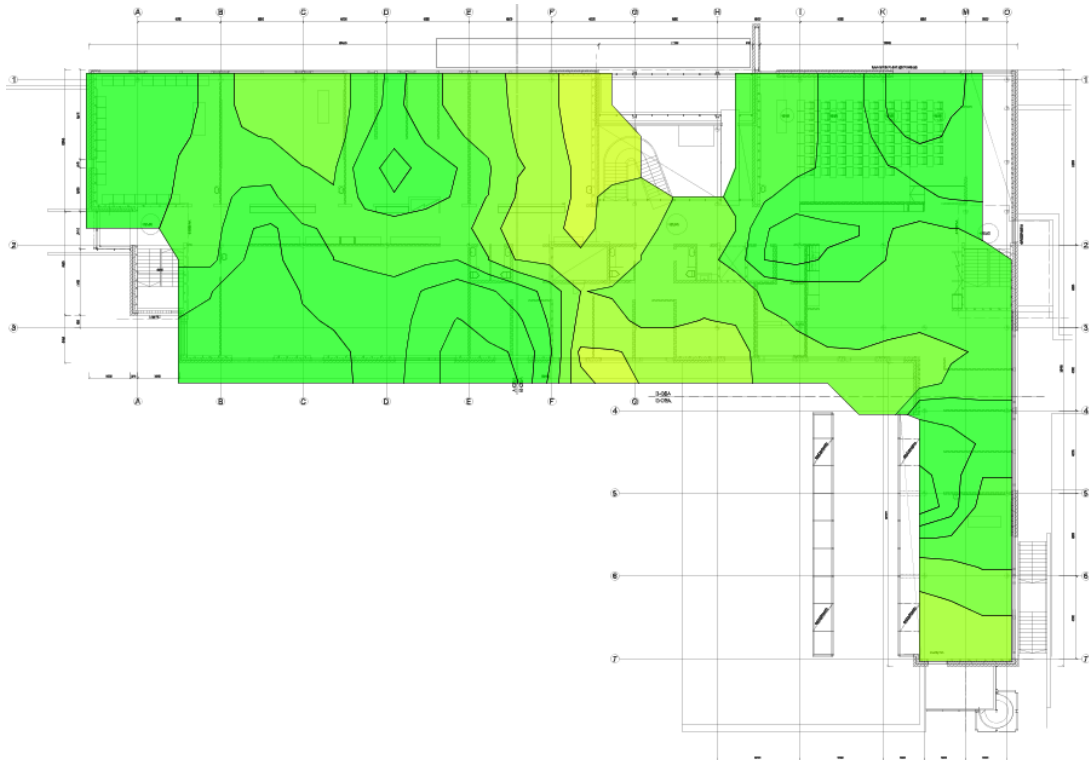


### 3.5.4 Kuuluvuus

#### Signaalin voimakkuus 2.4 GHz



#### Signaalin voimakkuus 5 GHz



**WLAN MITTAUSRAPORTTI**  
**Metropolia Leppävaara Kampus A-puoli**  
**Kevät 2016**  
**Metropolia AMK**  
**Leppävaara Kampus**

**Eetu Oksman**  
**Tietotekniikka**



# Sisällysluettelo

1.	Yleistä.....	3
2.	Mittaukset .....	4
3.	Mittaustulokset.....	5
3.1	Verkon vaatimukset .....	5
3.2	Karttapohjat kerroksista .....	6
3.3	Pohjakartta ETYA 0krs.....	7
3.3.1	Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet .....	7
3.3.2	WLAN verkon tila .....	8
3.3.3	WLAN verkon ongelmat .....	9
3.3.4	Kuuluvuus .....	11
3.4	Pohjakartta ETYA 1krs.....	12
3.4.1	Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet .....	12
3.4.2	WLAN verkon tila .....	13
3.4.3	WLAN verkon ongelmat .....	14
3.4.4	Kuuluvuus.....	16
3.5	Pohjakartta ETYA 2krs.....	17
3.5.1	Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet .....	17
3.5.2	WLAN verkon tila .....	18
3.5.3	WLAN verkon ongelmat .....	19
3.5.4	Kuuluvuus.....	21

## 1. Yleistä

Mittaukset suoritettiin Leppävaaran kampuksella 02.06.-09.06.2016 välisenä aikana ja tarkemmin alla olevan aikataulun mukaisesti. Mittaukset tehtiin käyttäen 50 kontrolleri-pohjaista mittaustukiasemaa.

0krs 2016-06-02-17:01 - 2016-06-06-18:32  
1krs 2016-06-03-19:20 - 2016-06-09-16:34  
2krs 2016-06-03-18:42 - 2016-06-03-19:15

Mittauksessa käytettiin seuraavaa kalustoa:

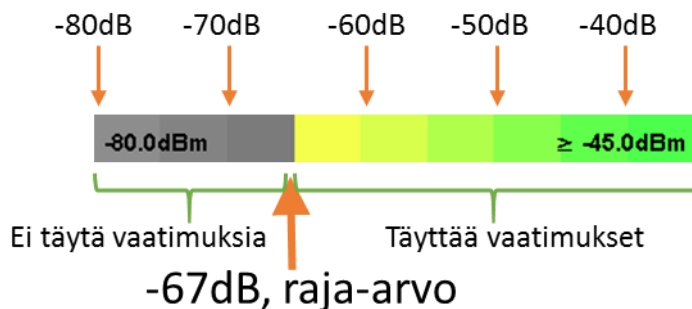
Tukiasemat: AIR-CAP2702i-E-K9, AIR-CAP2602i-E-K9, AIR-CAP3502i-E-K9, AIR-AP1142N-A-K9  
Ohjelmisto: Ekahau SiteSurvey 8.5.2  
Mittalaite: Asus UX303L Notebook  
Verkkokortti: Ekahau NIC-300

Mittaus suoritettiin Metropolian Ammattikorkeakoulun Leppävaaran kampuksella, jossa keskityttiin oppilaiden vapaasti käytössä oleviin tiloihin ja luokkahuoneisiin. Mittaus suoritettiin kun koulussa oli hiljaista, jotta päätelaitteet eivät häirinneet mittausta.

## 2. Mittaukset

Tässä kappaleessa esitetään mittaustulokset Site Survey mittauksista. Kuvissa esitetään lämpökarttoina langattoman verkon tila ja ongelmakohtat, WLAN signaalin voimakkuus, SNR ja interferenssi mitatuissa kohteissa 2,4 GHz ja 5 GHz taajuusalueilla.

”WLAN verkon kuuluvuus” ja ”SNR” lämpökartoissa käytettävä raja-arvo näkyy värikoodauksina siten, että väreillä esitetty alue täyttää WLAN –verkolle asetetut vaatimukset. Mustavalkoisella esitetty alue ei täytä vaatimuksia, mutta värikoodauksesta voidaan silti määrittää alueella oleva signaalin voimakkuus tai SNR. Esimerkkinä signaalin voimakkuus.



Tässä raportissa käytettävät raja-arvot on taulukoitu kohdassa 3.1. Verkon vaatimukset.

WLAN verkon ongelmia esittävässä pohjakuvassa ongelmat värikoodataan karttapohjaan. Alueilla WLAN verkolle asetetut kynnyksisarvot (requirements) alittuvat. Tietty väri esittää WLAN verkossa olevaa ongelmaa seuraavasti:

S.Str	#APs	Data	SNR	RTT	Loss	Ch.O
-------	------	------	-----	-----	------	------

**S.Str.** Signaalin voimakkuus heikompi kuin kynnyksisarvo.

**#APs.** Vähemmän mittauspisteeseen kuuluvia tukiasemia kuin kynnyksisarvo määrää.

**Data.** Siirtonopeus WLAN verkossa on vähemmän, kuin asetettu kynnyksisarvo.

**SNR.** Signaali-kohinasuhde heikompi kuin asetettu kynnyksisarvo.

**RTT.** Edestakainen paketin viive pidempi kuin asetettu kynnyksisarvo.

**Loss.** Pakettihävikki suurempi kuin asetettu kynnyksisarvo.

**Ch.O.** Samalla kanavalla lähetettävien tukiasemien määrä ja kuuluvuus mittauspisteessä on suurempi kuin asetettu kynnyksisarvo.

### 3. Mittaustulokset

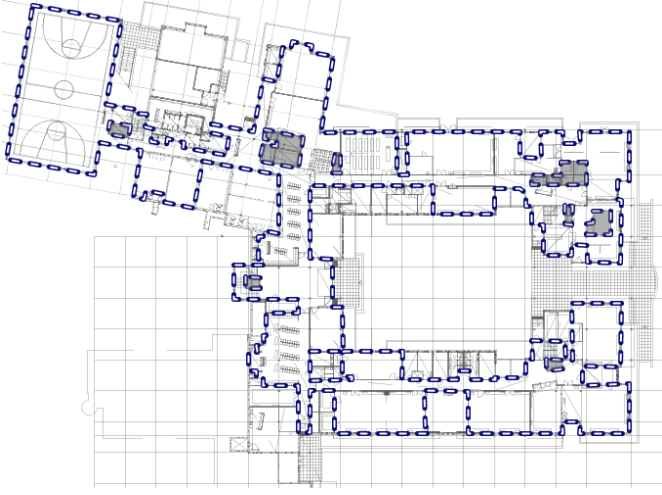
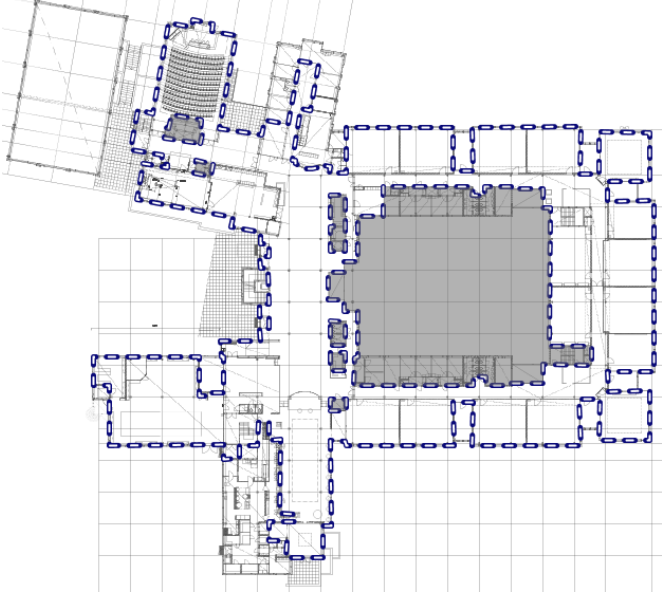
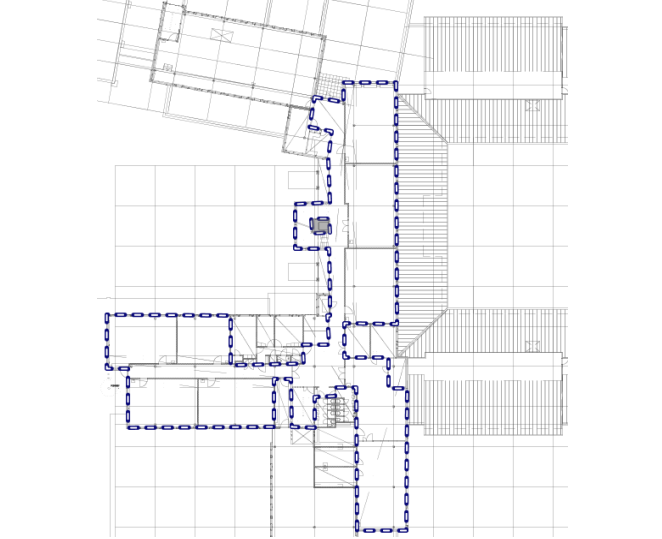
#### Signal Strength – signaalin voimakkuus

Signaalin voimakkuus (tai kuuluvuus) on perusvaatimus toimivalle WLAN verkolle. Hieman yksinkertaistaen heikko signaali johtaa alhaisiin datanopeuksiin ja epävarmasti toimivaan verkkoon. Suositeltava WLAN signaalin voimakkuus on vähintään -67dBm.

#### 3.1 Verkon vaatimukset

Signal Strength Min	-67.0 dBm	
Signal-to-noise Ratio Min	20.0 dB	
Data rate Min	54 Mbps	
Number of Access Points Min	2	at min. -73.0 dBm
Channel Overlap Max	2	at min. -80.0 dBm
Round Trip Time (RTT) Max	500ms	
Packet Loss Max	10.0 %	

### 3.2 Karttapohjat kerroksista

Kartta	Nimi	Tukiasemien lukumäärä
	ETYA 0krs	16 kpl
	ETYA 1krs	25 kpl
	ETYA 2krs	9 kpl

### 3.3 Pohjakartta ETYA Okrs

#### 3.3.1 Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet

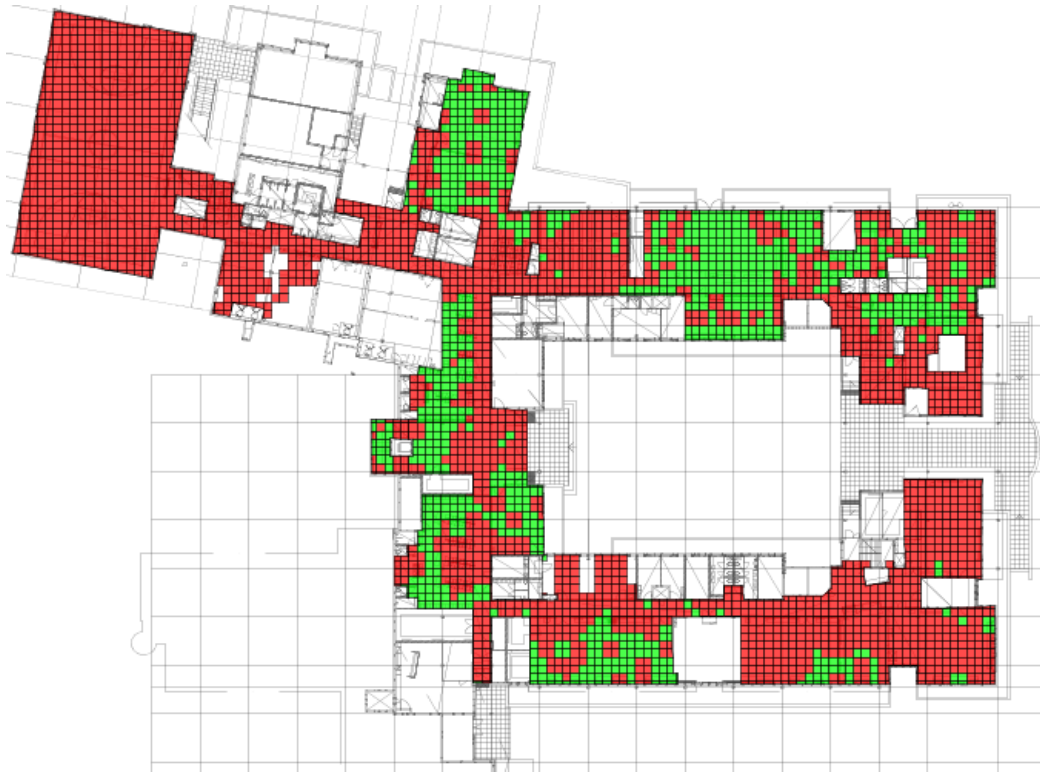


#### Mittaukset



Mittauksen kokonaisaika: 53m 59s

### 3.3.2 WLAN verkon tila 2,4 GHz



### 5 GHz



Fail

Pass

### 3.3.3 WLAN verkon ongelmat 2,4 GHz my Access-Points



### 2,4 GHz all access-points





### 5 GHz my access-points



### 5 GHz all access-points



### 3.3.4 Kuuluvuus

#### Signaalin voimakkuus 2.4 GHz

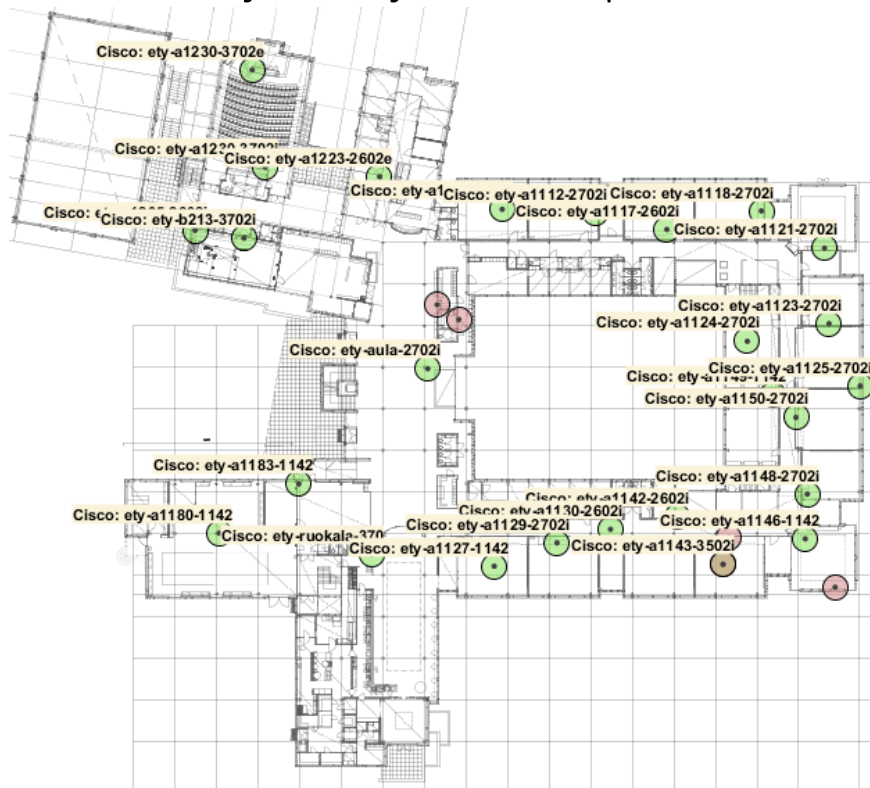


#### Signaalin voimakkuus 5 GHz



### 3.4 Pohjakartta ETYA 1krs

#### 3.4.1 Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet



#### Mittaukset



Mittauksen kokonaisaika: 1h 8m 53s

### 3.4.2 WLAN verkon tila 2,4 GHz



### 5 GHz



### 3.4.3 WLAN verkon ongelmat 2,4 GHz my Access-Points



### 2,4 GHz all access-points



### 5 GHz my access-points



### 5 GHz all access-points



### 3.4.4 Kuuluvuus Signaalin voimakkuus 2.4 GHz



### Signaalin voimakkuus 5 GHz



-80.0dBm

≥ -45.0dBm

### 3.5 Pohjakartta ETYA 2krs

#### 3.5.1 Tukiasemien sijainnit ja mittauspisteet



#### Mittaukset



Mittauksen kokonaisaika: 15m 40s



### 3.5.2 WLAN verkon tila 2,4 GHz



### 5 GHz



### 3.5.3 WLAN verkon ongelmat 2,4 GHz my Access-Points



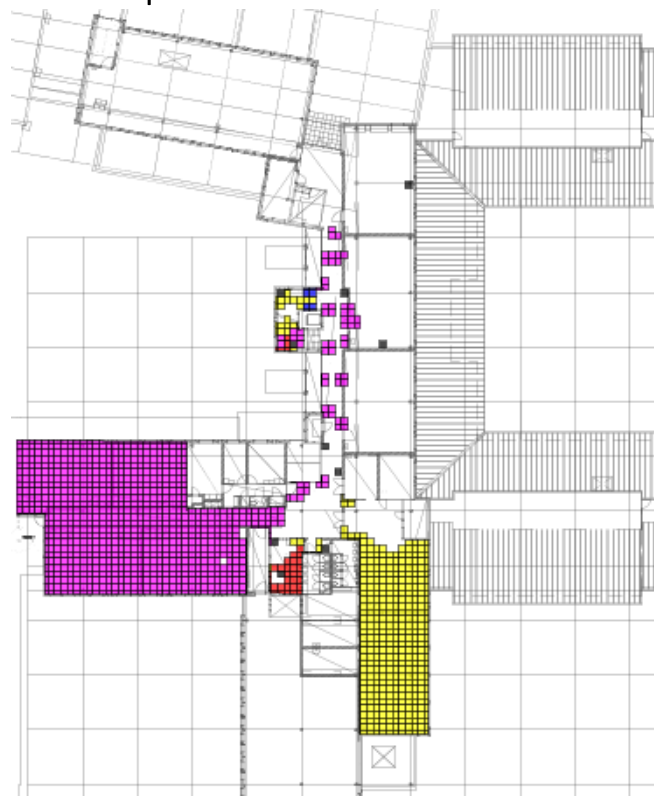
### 2,4 GHz all access-points



### 5 GHz my access-points



### 5 GHz all access-points



### 3.5.4 Kuuluvuus Signaalin voimakkuus 2.4 GHz



### Signaalin voimakkuus 5 GHz

