

# IT-DYNAMON LANGATTOMAN VERKON MIT- TAUS JA OPTIMOINTI

Joonas Kaksonen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014

Tietotekniikan koulutusohjelma

Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Kaksonen, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 07.04.2014
	Sivumäärä 54+30	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi IT-DYNAMON LANGATTOMAN VERKON MITTAUS JA OPTIMOINTI		
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Häkkinen, Antti; Saharinen, Karo		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulun tietohallinto		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa langattoman lähiverkon kuuluvuus- ja suorituskykymittauksia Jyväskylän ammattikorkeakoulun IT-Dynamo rakennuksessa sekä esittää korjausehdotuksia mitaustulosten perusteella. Työn toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulun tietohallinto.</p> <p>Työn teoriaosa käsittelee perusteita langattomista lähiverkoista, 802.11-standardeja sekä langattomien verkkojen suunnittelua. Lisäksi käsitellään langattomien verkkojen peruskomponentteja tukiasemia ja antennejä.</p> <p>Kuuluvuusmittauksissa määritettiin kuuluvuuskartta koko 5-kerroksiselle IT-Dynamo rakennukselle. Kuuluvuusmittaukset toteutettiin Ekahau Site Survey-ohjelmistolla. Heikon kuuluvuuden alueilla tehtiin suorituskykymittauksia Speedtest.net-palvelun avulla. Lisäksi langattomalle verkolle suoritettiin reaaliaika- ja viivemittauksia sekä selvitettiin verkon ongelmia käyttäjähaastattelulla.</p> <p>Työn tavoitteisiin päästiin ja tulosten pohjalta esitettiin korjausehdotuksina tukiasemien lisäämistä rakennuksen toiseen ja viidenteen kerrokseen. Lisäksi korjausehdotukset simuloitiin Ekahau Site Survey-ohjelmistolla.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Langaton lähiverkko, Site Survey, Wi-Fi, 802.11		
Muut tiedot		



Author(s) Kaksonen, Joonas	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 07042014
	Pages 54+30	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title IT-DYNAMO WIRELESS NETWORK MEASUREMENTS AND OPTIMISATION		
Degree Programme Information Technology		
Tutor(s) Häkkinen, Antti; Saharinen, Karo		
Assigned by IT Management of JAMK University of Applied Sciences		
Abstract <p>The objective of the thesis was to measure coverage and performance of wireless local area network in JAMK University of Applied Sciences IT-Dynamo building and present the improvement propositions to IT Management of JAMK University of Applied Sciences.</p> <p>The theoretical part of thesis consists of fundamentals of WLAN, 802.11-standards and planning of the WLAN. In addition, the theoretical part also consists of information about basic components of wireless networks such as base stations and antennas.</p> <p>The coverage map of the entire five-storeyed IT-Dynamo building was determined in coverage measurements carried out with Ekahau Site Survey software. Some areas with especially weak coverage were also measured with performance measurements carried out with Speedtest.net service. In addition user interviews, real-time measurements and latency measurements were used as methods.</p> <p>The objective of the thesis was achieved and the improvement propositions proposed installing new base stations to the second and fifth floor based on measured results. The improvement propositions were also simulated with Ekahau Site Survey software.</p>		
Keywords Wireless local area network, Site Survey, Wi-Fi, 802.11		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>LANGATTOMIEN LÄHIVERKKOJEN PERUSTEET.....</b>	<b>8</b>
2.1	Taajuusalueet.....	8
2.2	Antennit.....	9
2.3	IEEE 802.11 standardit.....	10
2.4	Topologiat.....	12
2.5	IEEE 802.11 -standardi.....	15
2.6	802.11b.....	19
2.7	802.11a.....	20
2.8	802.11g.....	22
2.9	802.11n.....	23
2.10	802.11ac.....	26
<b>3</b>	<b>LANGATTOMIEN VERKKOJEN SUUNNITTELU .....</b>	<b>27</b>
3.1	Radiosignaalin eteneminen.....	27
3.2	Radiotien häiriöt.....	30
3.3	Tukiasemat.....	30
3.4	Tukiasemien kanavasunnittelu.....	31
<b>4</b>	<b>IT-DYNAMON WLAN-VERKKO .....</b>	<b>33</b>
4.1	WLAN-tukiasemat IT-Dynamossa.....	33
4.2	Apple Airport Express.....	33
4.3	Apple Airport Extreme.....	34
<b>5</b>	<b>MITTAUSMENETELMÄT.....</b>	<b>36</b>

5.1	Kuuluvuusmittaus ja simuloinnit .....	36
5.2	Suorituskykymittaus.....	37
5.3	Reaaliaika- ja viivemittaus .....	38
6	MITTAUKSET .....	38
6.1	Kuuluvuusmittaus.....	38
6.2	Käyttjähaastattelut.....	40
6.3	Suorituskykymittaus.....	40
6.4	Reaaliaika- ja viivemittaus .....	41
6.5	Simuloinnit .....	41
7	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	42
7.1	Kuuluvuusmittaus.....	42
7.2	Suorituskykymittaus.....	44
7.3	Reaaliaika- ja viivemittaus .....	45
8	KORJausehdotukset .....	47
9	POHDINTA .....	48
	LÄHTEET .....	50
	LIITTEET .....	52
9.1	Liite 1. IT-Dynamon 1. kerroksen pohjapiirros.....	52
9.2	Liite 2. IT-Dynamon 2. kerroksen pohjapiirros.....	53
9.3	Liite 3. IT-Dynamon 3. kerroksen pohjapiirros.....	54
9.4	Liite 4. IT-Dynamon 4. kerroksen pohjapiirros.....	55
9.5	Liite 5. IT-Dynamon 5. kerroksen pohjapiirros.....	56
9.6	Liite 6. Ensimmäisen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti .....	57

9.7	Liite 7. Toisen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti .....	58
9.8	Liite 8. Kolmannen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti.....	59
9.9	Liite 9. Neljännen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti .....	60
9.10	Liite 10. Viidennen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti.....	61
9.11	Liite 11. Ensimmäisen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta .....	62
9.12	Liite 12. Toisen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta .....	63
9.13	Liite 13. Kolmannen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta.....	64
9.14	Liite 14. Neljännen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta.....	65
9.15	Liite 15. Viidennen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta.....	66
9.16	Liite 16. Ensimmäisen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat.....	67
9.17	Liite 17. Toisen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat .....	68
9.18	Liite 18. Kolmannen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat .....	69
9.19	Liite 19. Neljännen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat .....	70
9.20	Liite 20. Viidennen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat .....	71
9.21	Liite 21. Toisen kerroksen simuloitu kuuluvuuskartta tukiseman lisäyksen jälkeen .....	72
9.22	Liite 22. Viidennen kerroksen simuloitu kuuluvuuskartta tukiaseman lisäyksen jälkeen .....	73
9.23	Liite 23. Suorituskykymittauksen tulokset.....	74
9.24	Liite 24. Reaaliaika- ja viivemittauksessa kuljettu reitti kolmannessa kerroksessa .....	75
9.25	Liite 25. Reaaliaika- ja viivemittauksessa kuljettu reitti viidennessä kerroksessa .....	76
9.26	Liite 26. Viivemittauksen tulokset kolmannessa kerroksessa .....	77
9.27	Liite 27. Viivemittauksen tulokset viidennessä kerroksessa.....	78

<b>9.28 Liite 28. Käyttäjähaastatteluissa ilmenneet ongelmalliset tilat ensimmäisessä kerroksessa.....</b>	<b>79</b>
<b>9.29 Liite 29. Käyttäjähaastatteluissa ilmenneet ongelmalliset tilat toisessa kerroksessa .....</b>	<b>80</b>
<b>9.30 Liite 30. Käyttäjähaastatteluissa ilmenneet ongelmalliset tilat viidennessä kerroksessa .....</b>	<b>81</b>

## KUVIOT

Kuvio 1. ISM taajuusalueet sähkömagneettisen säteilyn spektrissä .....	8
Kuvio 2. Dipoliantennin säteilykuvio .....	9
Kuvio 3. 802.11-standardien kehitys .....	11
Kuvio 4. OSI-malli.....	12
Kuvio 5. Independent Basic Service Set.....	13
Kuvio 6. Basic Service Set.....	14
Kuvio 7. Extended Service Set.....	15
Kuvio 8. FHSS Taajuushyppelytekniikka (Frequency Hopping Spread Spectrum).....	17
Kuvio 9. DSSS Suorasekvenssitekniikka (Direct Sequence Spread Spectrum) .....	18
Kuvio 10. OFDM alikanavien modulaatio verrattuna yhden kanta-aallon modulaatioon .....	21
Kuvio 11. MIMO Transmit Beamforming usealla lähettimellä.....	24
Kuvio 12. Spastial Multiplexin neljällä lähetin-vastaanotin parilla .....	25
Kuvio 13. 802.11ac kanavien yhdistäminen 5 GHz:n taajuusalueella.....	26
Kuvio 14. 2,4 GHz:n signaalin vaimeneminen 100 metrin etäisyydellä .....	28
Kuvio 15. Monitie-eteneminen.....	29
Kuvio 16. Vaimennus signaalin edetessä väliseinän lävitse.....	29
Kuvio 17. Ei-päällekkäiset 20 MHz:n kanavat 2,4 GHz:n taajuusalueella .....	31
Kuvio 18. 2,4 GHz:n taajuusalueen oikea kanavasunnittelu usean kerroksen rakennuksessa .....	32
Kuvio 19. Apple Airport Express ensimmäisen sukupolven tukiasema .....	34
Kuvio 20. Apple Airport Extreme viidennen sukupolven tukiasema .....	35



**LYHENTEET**

BSS	Basic Service Set
CCK	Complementary Code Keying
DBPSK	Differential Bipolar Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	Extended Service Set
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
HR/DSSS	High Rate / Direct Sequence Spread Spectrum
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Organization for Standardization
IR	Infrared
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
VoIP	Voice over Internet Protocol
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

# 1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitata ja optimoid Jyväskylän ammattikorkeakoulun Dynamo rakennuksen WLAN-verkon kantamaa ja sitä kautta myös toimivuutta. Lisäksi haastateltiin käyttäjiä langattoman verkon toimintaan liittyen. Näiden pohjalta tehtiin vielä tarkempia pistemittauksia havaituissa ongelmakohteissa ja pyrittiin esittämään toimeksiantajalle korjausehdotuksia. Työn toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulun tietohallinto.

Työssä käytettiin Ekahau Site Survey-ohjelmistoa verkon kuuluvuusmittauksiin. Työssä tehtiin myös suorituskykymittauksia heikon kuuluvuuden alueella. Nämä mittaukset toteutettiin kannettavalla tietokoneella ja speedtest.net-palvelulla. Lisäksi tehtiin reaaliaika- ja viivemittauksia, joissa testattiin, mitä vaikutusta tukiasemalta toiselle siirtymisellä on reaaliaikasovelluksen toimintaan ja sen viiveeseen. Reaaliaikamittaukset toteutettiin tutkimalla Skype-puhelun laatua ja viivemittaukset tarkkailemalla viivettä ping-komennolla.

Työn mittausten tuloksista raportoitii tietohallintoon ja esitettiin korjausehdotuksia verkon toiminnan kehittämiseksi. Korjausehdotukset simuloitiin käyttäen Ekahau Site Survey -ohjelmistoa.

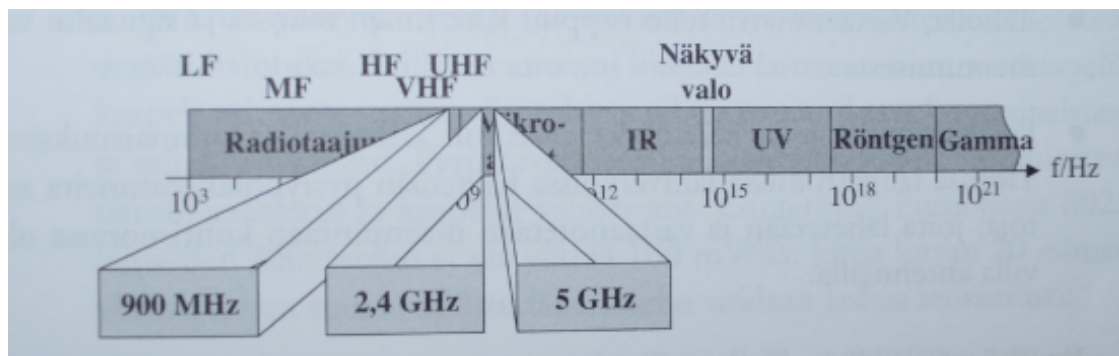
Edellisestä IT-Dynamo-rakennuksen WLAN-verkon mittauksista on kulunut noin viisi vuotta. Tässä ajassa rakennukseen on tehty useita rakennemuutoksia ja myös langattoman verkon käyttäjämäärät ja päätelaitemäärät ovat kasvaneet moninkertaisiksi. Nämä seikat tekivät työn aiheesta ajankohtaisen ja kiinnostavan.

## 2 LANGATTOMIEN LÄHIVERKKOJEN PERUSTEET

### 2.1 Taajuusalueet

Langattomien lähiverkkojen tiedonsiirto perustuu useimmiten sähkömagneettiseen säteilyyn radio- ja mikroaaltotaajuusalueilla. Lisäksi löytyy langattomia lähiverkkoja joissa tiedonsiirtoon käytetään infrapunavaloa, mutta näiden ratkaisujen vähäisen määrän takia niitä ei juurikaan käsitellä tässä työssä.

WLAN-verkkojen (Wireless Local Area Network) radioliikenne 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuusalueilla (ks. Kuvio 1) sijoittuu vapaasti käytössä olevalle taajuusalueelle, josta käytetään nimitystä ISM (Industrial Scientific Medical) (Granlund 2007, 298.).



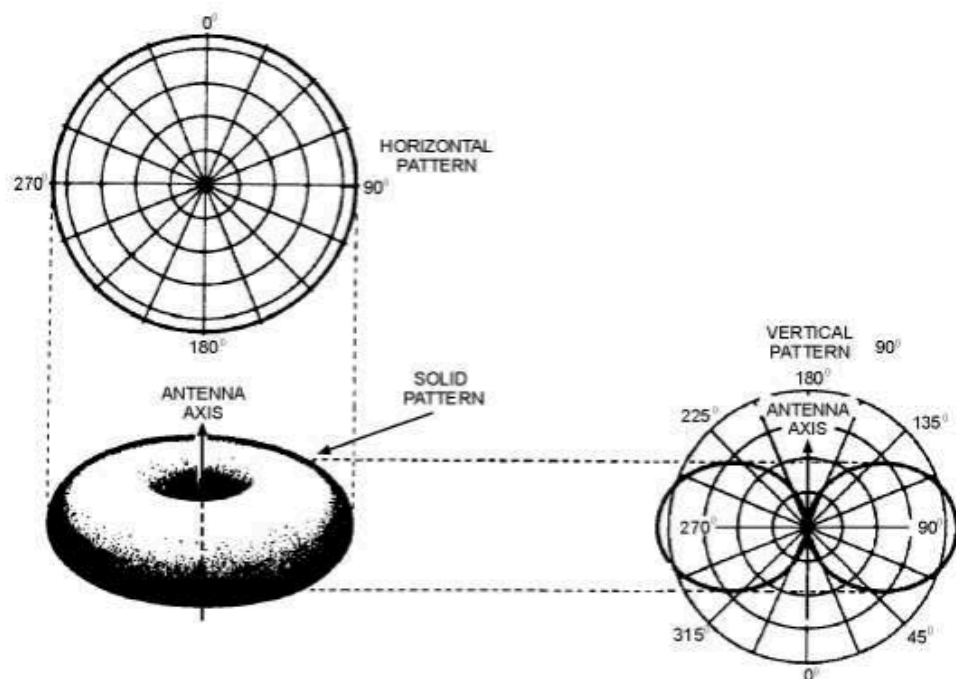
Kuvio 1. ISM taajuusalueet sähkömagneettisen säteilyn spektrissä (Puska 2005, 53)

Suomessa radio- ja mikroaaltotaajuuksilla toimivien laitteiden käyttö vaatii yleensä luvan Viestintävirastolta. Näillä taajuuksilla on myös radiotaajuuksien käyttösuunnitelman mukaan luvasta vapaita kaistoja, joiden käyttö ei vaadi lupaa tai etukäteisilmoitusta, mikäli käytettävien laitteiden ominaisuudet ovat määräysten mukaiset. Langattomat lähiverkot toimivat 80 MHz:n kaistalla 2,4 GHz:n alueella ja kolmella 100 MHz:n kaistalla 5 GHz:n alueella. Samoilla taajuuksilla toimii myös monia muitakin laitteita, ja niiden toiminta voi vaikuttaa WLAN-verkkojen (*Wireless Local Area Network*) toimintaan ja toisinpäin. (Puska 2005, 53.)

## 2.2 Antennit

Antennit säteilevät WLAN-tukiaseman radiolähettimen signaalin siirtotielle, mutta toimivat myös toisinpäin eli siirtävät vastaanotetun signaalin radiovastaanottimeen. Antennit ovat siis tärkeässä osassa langattomien lähiverkkojen toiminnassa. Verkon tukiasemia valittaessa olisikin hyvä ottaa huomioon niiden antennien ominaisuudet. Verkon joustavuuden kannalta kannattaa valita tukiasemat, joiden antennin voi tarvittaessa vaihtaa. Näin voidaan muokata verkon kuuluvuusalueita esimerkiksi suunnattavalla antennilla. (Geier 2010, 72.)

Antenneja valmistettaessa ne optimoidaan tietyille taajuuksialueelle. Langattomissa lähiverkoissa tulisi käyttää antenneja, jotka on optimoitu 2,4 GHz:n tai 5 GHz:n taajuuksialueille. Tukiasemien antennit ovat yleensä ympärisäteileviä dipoliantenneja, (ks. Kuvio 2) joiden antennivahvistus käytetyllä taajuuksialueella on 2,2 dBi. Antenni valitaan sen säteilykuvion ja antennivahvistuksen perusteella. (Puska 2005, 63.)



Kuvio 2. Dipoliantennin säteilykuvio (Electriciantraining Radiation Pattern of a Dipole, n.d.)

Antennivahvistus kertoo desibeleinä (dBi) kuinka paljon suunnattava antenni vahvistaa signaalin tehoa verrattuna isotrooppisen ympärisäteilevään antennaan. Isotrooppinen antenni tarkoittaa sellaista antennaa, jonka säteilykuvio on täysin symmetrisen pyöreä eli antenni säteilee samalla voimakkuudella kaikkiin suuntiin. Isotrooppisia antennia ei kuitenkaan käytännössä ole olemassa, sillä kaikkien antennien säteilykuvio on epäsymmetrinen. Tiettyyn suuntaan suunnattavan antennin teho on siis pois muista säteilysuunnista. (Geier 2010, 73.)

### **2.3 IEEE 802.11 standardit**

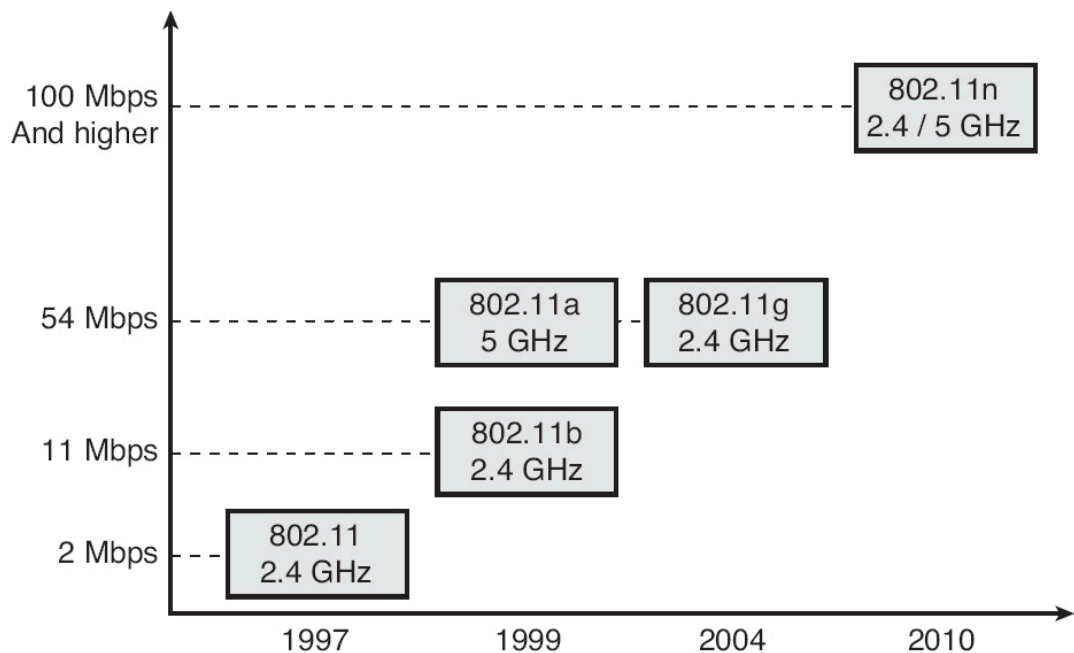
IEEE on sähkötekniisiä standardeja valmisteleva ja julkaiseva kansainvälinen organisaatio. Kyseisellä organisaatiolla ei kuitenkaan ole oikeutta julkaista virallisia standardeja. Sen sijaan virallisista standardeista vastaavat maakohtaiset standardointiorganisaatiot sekä suuret kansainväliset organisaatiot kuten ISO (International Standardization Organisation). Nämä toimijat julkaisevat IEEE:n määritelmät omilla standardinumeroillaan. (Puska 2005, 26.)

IEEE 802.11 langattomat tietoverkkostandardit ovat vieneet tietoliikenteen uudelle tasolle. Tämä tietoliikenneteknologia on yhdistelmä LAN-verkkotekniikkaa ja radioaajuustekniikkaa. Yhdistämällä nämä kaksi teknologiaa tietokoneiden käyttäjillä on mahdollisuus päästä käsiksi ja jakaa tietoa tavalla, joka tuntui saavuttamattomalta vielä 20 vuotta sitten. Siitä lähtien kun IEEE julkaisi 802.11-standardin vuonna 1997, on WLAN-tekniikka jatkanut kehitystään ja tullut merkittäväksi osaksi jokapäiväistä tietoliikennettä. (Bartz 2012.)

IEEE 802.11 on kokoelma suosituksia, joiden avulla määritetään langattomien lähiverkkojen toiminta. Kyseisestä kokoelmasta käytetään myös lyhennettä WiFi (Wireless Fidelity), joka on WiFi Alliance yhteisön tuotemerkki. Wifi Alliancen toiminnan tarkoitus on sertifioida lähiverkkotuotteita, jotka perustuvat IEEE 802.11-suositukseen. Koska IEEE 802.11 suositukset eivät ota kantaa langattomien laitteiden yhteensopi-

vuuteen, varmistetaan tämä WiFi-sertifikaatilla. Lisäksi varmistetaan, että laitteet täyttävät WiFi Alliancen asettamat minimivaatimukset. (Granlund 2007, 293.)

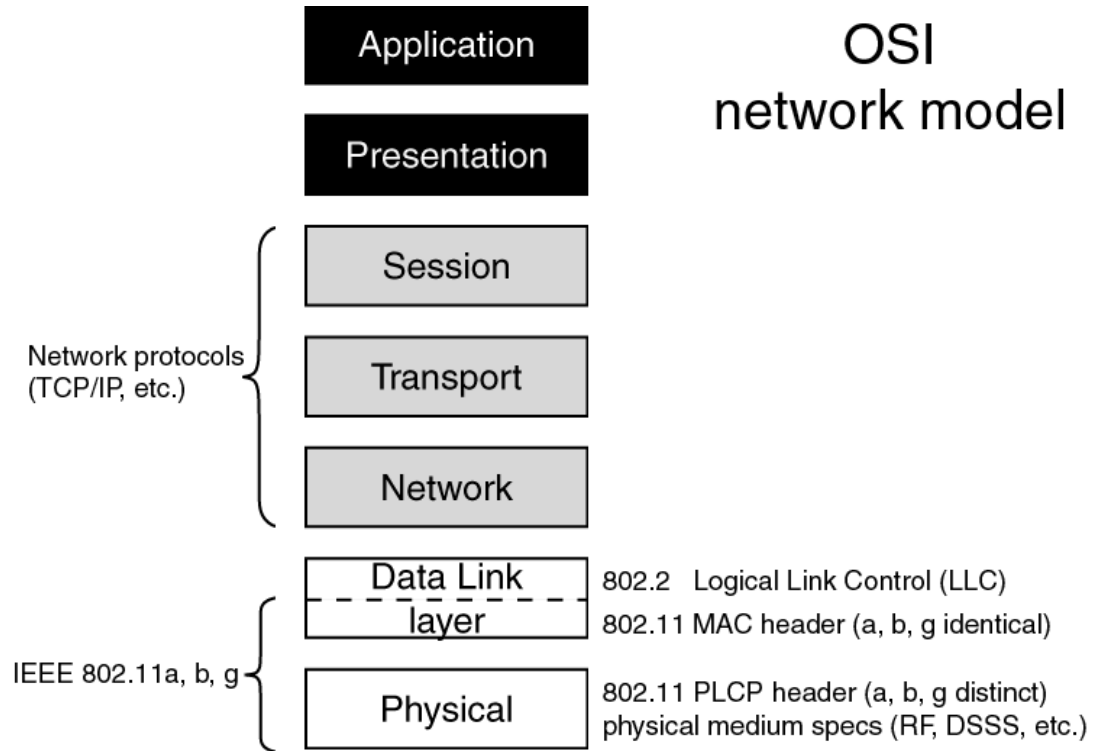
Vuonna 1997 julkaistu alkuperäinen 802.11-standardi ei yleistynyt johtuen laitteiden kalliista hinnoista ja pienistä siirtonopeuksista. Vasta 2000-luvun alussa langattomat lähiverkot alkoivat yleistyä niiden hintojen pudottua. Uusia laajennuksia standardiin kehitetään edelleen IEEE:n 802.11-työryhmän johdolla (ks. Kuvio 3). (Geier 2005, 118.)



Kuvio 3. 802.11-standardin kehitys (Geier 2010, 21.)

802.11-standardi antaa määritykset langattomien lähiverkkojen siirtoyhteyserroksen alemmalle puoliskolle eli MAC-kerrokselle (Media Access Control) sekä määrittelee myös fyysisen kerroksen (Geier 2005, 118).

Työssä keskitytään 802.11-standardin OSI-mallin (ks. Kuvio 4) fyysiselle kerrokselle sijoittuviin määrityksiin, koska mittaukset ja työn muu aineisto tarkastelee juuri fyysisen kerroksen toimintaa. Siirtoyhteyserros jakautuu kahteen alikerrokseen (sub-layer), joista alempi eli MAC-kerros toimii rajapintana fyysiselle kerrokselle.



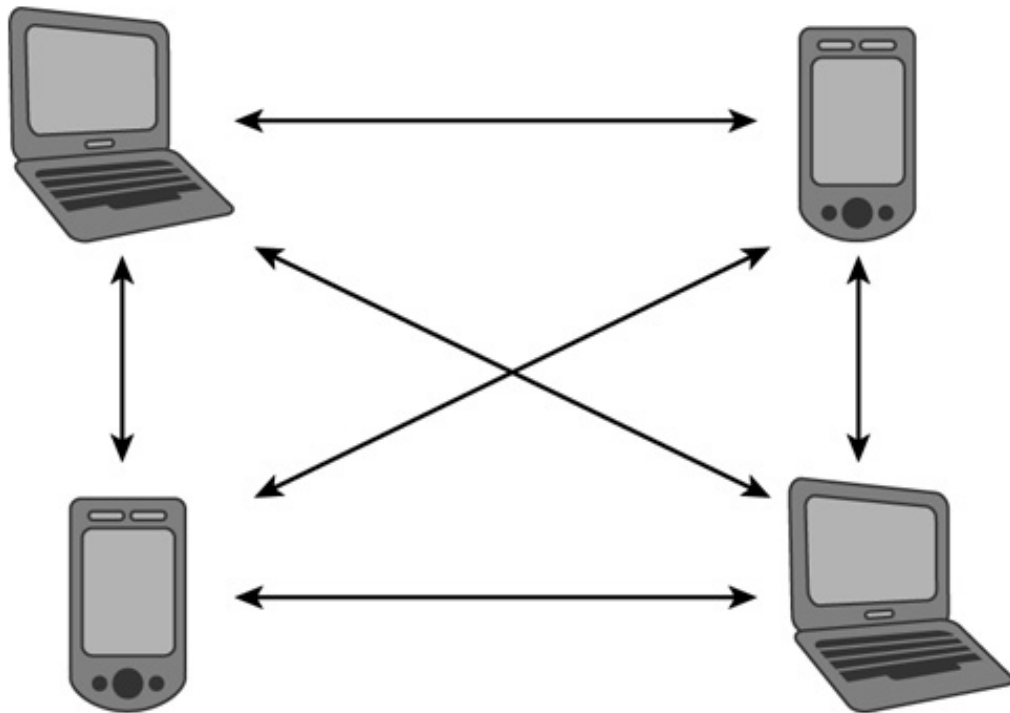
Kuvio 4. OSI-malli (802.11 WLAN Packets and Protocols n.d.)

Fyysinen (physical) kerros sijaitsee OSI-mallissa alimpana, ja IEEE 802.11-standardissa fyysisen kerroksen tehtävänä on yhdistää MAC-kerros radiotielle. Tämä tehtävä toteutetaan fyysisellä kerroksella varmistamalla sanomien välitys MAC-kerroksen ja fyysisen siirtotien välillä sekä moduloimalla ja levittämällä dataa siirtotielle valitun siirtotekniikan mukaisesti. Lisäksi fyysinen kerros välittää kuulostelutiedot (carrier sense) MAC-kerrokselle. (Granlund 2007, 298.)

## 2.4 Topologiat

Alkuperäisessä IEEE 802.11-standardissa on määritetty kolme laitteiden kytkentätapaa eli topologiaa. Nämä topologiat ovat IBSS (Independent Basic Service Set), BSS (Basic Service Set) ja ESS (Extended Service Set). (Granlund 2007, 294.)

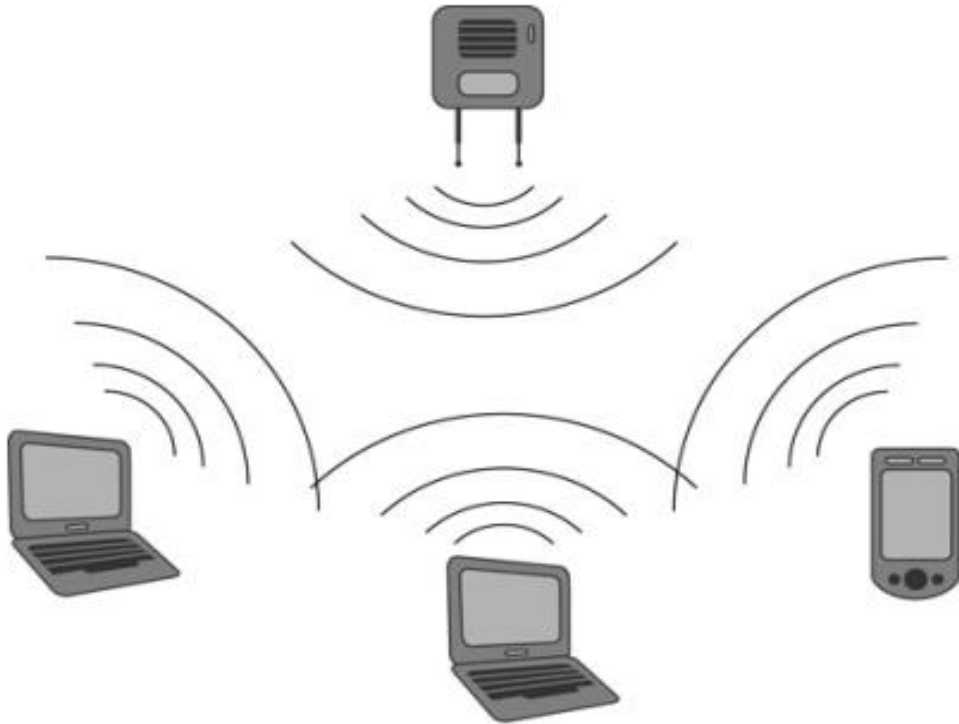
IBSS (ks. Kuvio 5) on langattomien laitteiden muodostama verkko, joka ei ole yhteydessä kiinteään verkkoon, esimerkiksi Ethernet-verkkoon. Nämä toteutukset tehdään yleensä väliaikaiseen ja lyhytikäiseen käyttöön. IBSS-verkossa mikään laite ei voi toimia kytkimenä tai siltana toisten välillä, vaan kaikki laitteet keskustelevat keskenään tasavertaisesti. IBSS-verkkoa kutsutaan myös nimellä Ad-Hoc-verkko. (Granlund 2007, 294.)



Kuvio 5. Independent Basic Service Set (Coleman & Westcott 2009.)

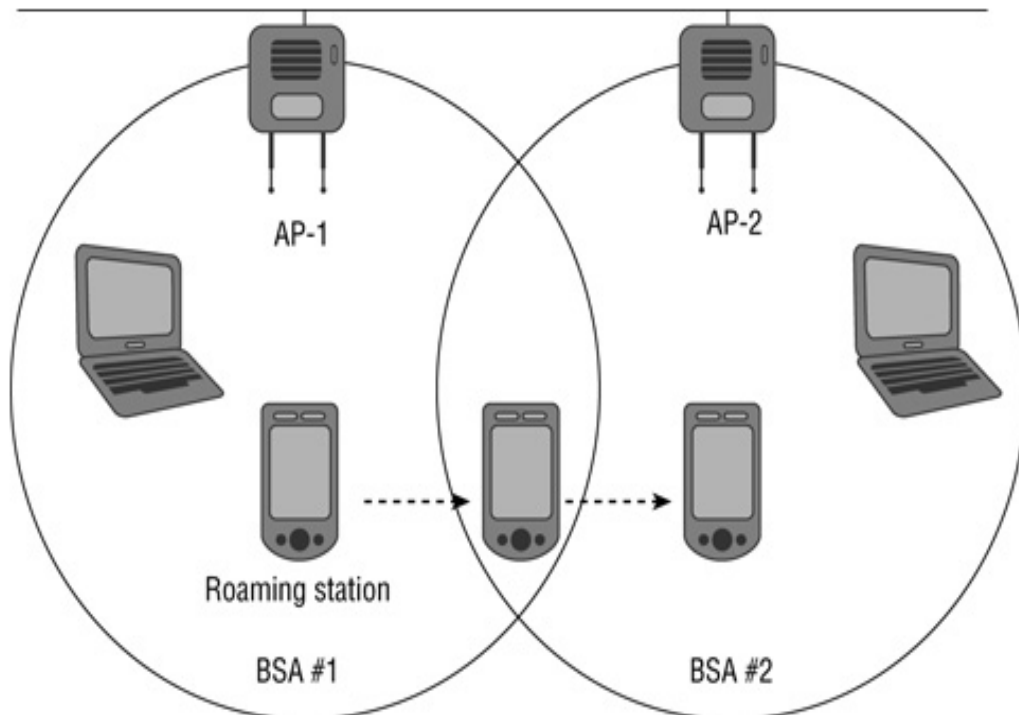
BSS-verkko (ks. Kuvio 6) sisältää laitteita, jotka on kytketty langattomasti tukiasemaan, joka taas on kytketty kiinteään verkkoon. Verkon kaikki tiedonsiirto tapahtuu tukiaseman kautta. Mikäli tukiasema rikkoutuu, muut verkon laitteet menettävät yhteyden toisiinsa ja kiinteään verkkoon. Muut laitteet voivat määrittää oman IBSS-verkon, mutta yhteys kiinteään verkkoon menetetään. (Granlund 2007, 295.)





Kuvio 6. Basic Service Set (Coleman & Westcott 2009.)

ESS-verkko on laajennettu BSS-verkko, jossa on useampia tukiasemia, jotka ovat kytkettynä kiinteään verkkoon. ESS on yleisin tapa toteuttaa langattomia lähiverkkoja. Oikein toteutettuna ESS-verkko sallii päätelaitteiden liikkumisen eri tukiasemien kuuluvuusalueiden eli solujen välillä, ilman että käyttäjät huomaavat mitään eroa verkon tai päätelaitteen toiminnassa. Päätelaitteen liikkumista eri solujen välillä kutsutaan myös termillä roaming. (Granlund 2007, 296.)



Kuvio 7. Extended Service Set (Coleman & Westcott 2009.)

## 2.5 IEEE 802.11 -standardi

Vuonna 1997 julkaistu alkuperäinen 802.11-standardi sisältää kaksi fyysisen kerroksen hajaspektritekniikkaa: taajuushyppelyn FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ja suorasekvenssitekniikan DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Molemmat tekniikat käyttävät 2,4 GHz:n taajuuskaistaa ja yltyvät enimmillään 2 Mbps:n tiedonsiirtonopeuteen. (Geier 2005, 124.)

Hajaspektritekniikassa radiolähetys hajautetaan kantaallon molemmin puolin leveämmin kuin bittinopeuden vuoksi olisi tarpeen. Näin saadaan aikaan parempi häiriönkesto, sillä pistemäinen häiriötaajuus ei vaikuta koko lähetyspektriin. (Puska 2005, 36.)

Alkuperäisessä 802.11-standardissa määriteltiin myös fyysinen kerros, jossa tiedonsiirto perustui infrapunavalolähetykseen. 802.11 IR (Infrared) fyysisen kerroksen tuki kuitenkin lopetettiin 802.11-työryhmän toimesta, sillä sen avulla ei pystytty yhtä kor-

keaan suorituskykyyn kuin radioaalloilla. Lisäksi tämän siirtotien heikkoutena oli se, että lähettävät laitteet vaativat näköyhteyden, sillä infrapunavalon ei etene esteiden lävitse. (Geier 2010, 185.)

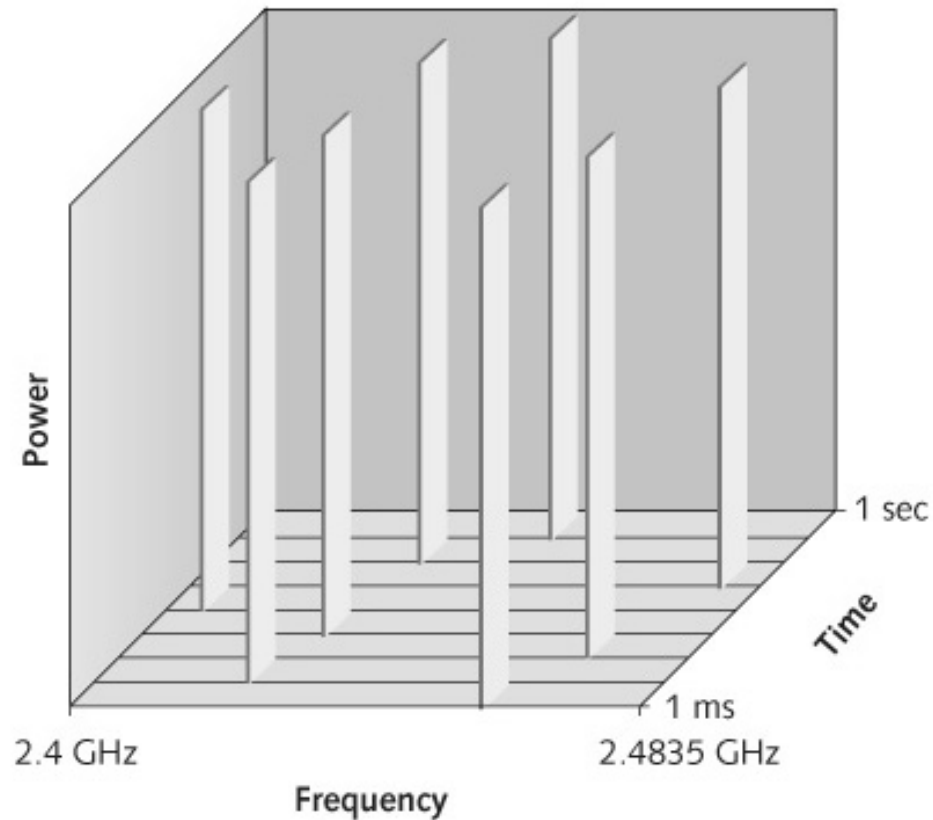
Nykyään FHSS taajuushyppelytekniikkaa käyttävää laitteistoa on käytössä erittäin vähän. Olemassa olevia toteutuksia löytää mahdollisesti esimerkiksi sairaalaympäristöissä, missä langattomalta lähiverkolta vaaditaan hyvää häiriönkestoa. (Geier 2010, 180.)

FHSS lähettää laajakaistasignaalia, joka levittäytyy tasaisesti 79 kanavalle ja kattaa koko 2,4 GHz:n taajuuskaistan. Kanavien määrä on maakohtainen, mutta Yhdysvalloissa ja Euroopassa on käytössä 79 kanavan jako. (Geier 2010, 181.)

FHSS-taajuushyppely tarjoaa hyvän häiriönkeston, joka perustuu siihen, että sillä voidaan keskiarvoistaa häiriöt hyppimällä taajuudelta toiselle, koska radiotiellä esiintyvät häiriöt ovat sidottuja aikaan ja taajuuteen, eli häiriö esiintyy jollakin tietyllä taajuudella vain hetkellisesti. (Granlund 2007, 116.)

FHSS-taajuushyppelyä käyttävä WLAN-tukiasema voidaan määrittää toimimaan 15 erilaisen hyppelykuvion mukaisesti. Tämä mahdollistaa 15 tukiaseman toiminnan samalla alueella. (Geier 2005, 124.)

Taajuushyppelyssä käytettävissä oleva siirtokaista jaetaan kiinteisiin alikanaviin ja siirtoaika jaetaan kiinteänmittaisiin aikaväleihin (ks. Kuvio 8). Tämän jälkeen lähettäjä sekä vastaanottaja sopivat näennäissatunnaisesta hyppelyjärjestyksestä, jota molemmat noudattavat. (Granlund 2007, 116.)

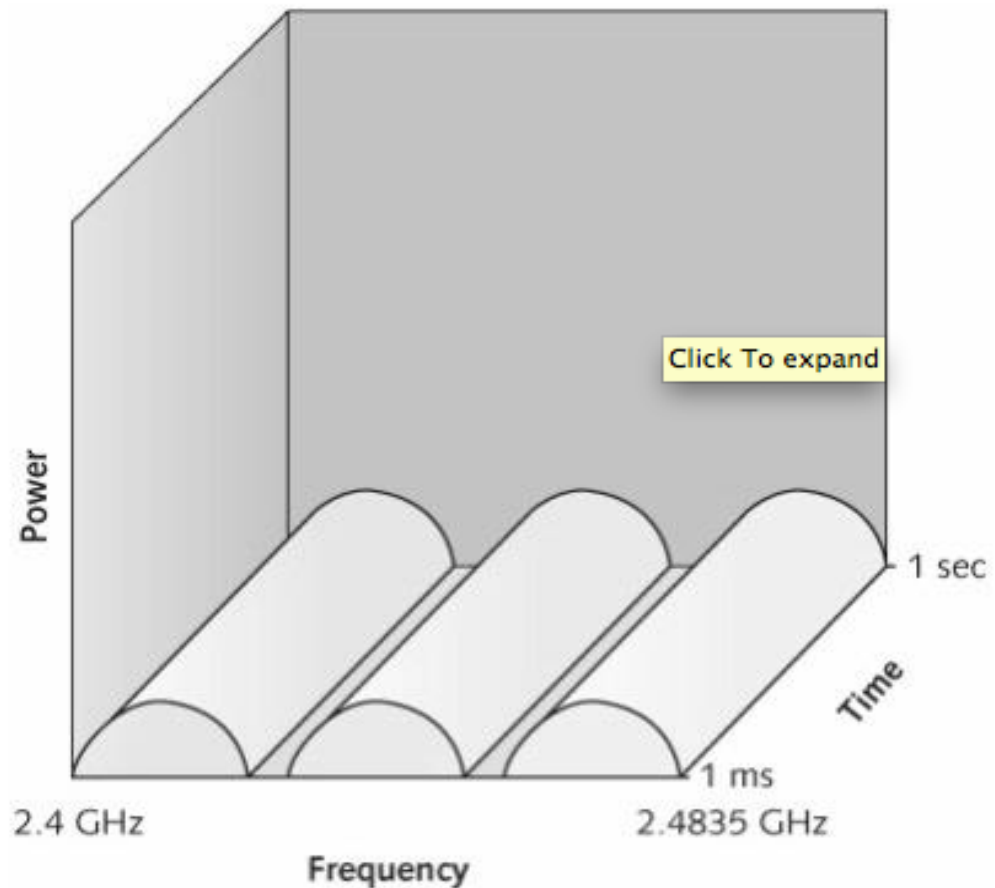


© Cengage Learning 2013

Kuvio 8. FHSS-Taajuushyppelytekniikka (Frequency Hopping Spread Spectrum) (Dean 2013.)

DSSS-suorasekvenssitekniikalla toteutettu fyysinen kerros julkaistiin myös osana alkuperäistä 802.11-standardia. Suorasekvenssitekniikkaa on vielä käytössä WLAN-toteutuksissa ja myös monet nykyiset WLAN-verkkolaitteet ovat taaksepäin yhteensopivia tämän tekniikan kanssa. (Geier 2010, 182.)

Suorasekvenssitekniikassa lähetys hajautetaan laajemmalle taajuuskaistalle ja lähetetään samanaikaisesti (ks. Kuvio 9). Vastaanottajalle lähetetään myös hajautusavain, jonka avulla vastaanottaja muuttaa hajautetun lähetyksen takaisin alkuperäiseen muotoonsa. (Granlund 2007, 117.)



© Cengage Learning 2013

Kuvio 9. DSSS Suorasekvensitekniikka (Direct Sequence Spread Spectrum) (Dean 2013.)

Suorasekvensitekniikan hajautusavain sisältää redundantista tietoa jolla voidaan toistaa alkuperäinen lähetys, vaikka puolet alikanavien tiedosta muuttuisi häiriön vaikutuksesta. 802.11-standardin suorasekvensitekniikka käyttää hajautusavaimena Barker-koodia, joka lasketaan binäärisesti yhteen lähetettävien ja vastaanotettavien bittien kanssa. Tällä tekniikalla ja DQPSK-modulaatiolla (Differential Quadrature Phase Shift Keying) päästään parhaimmillaan 2 Mbps:n tiedonsiirtonopeuteen. Yksinkertaisempaa DBPSK-modulaatiota (Differential Bipolar Phase Shift Keying) käytetään 1 Mb/s:n nopeudessa. (Puska 2005, 36.)

## 2.6 802.11b

Vuonna 1999 julkaistiin ensimmäinen laajennus 802.11-standardiin. 802.11b nosti nopeuden 11 Mb/s:n ja määritteli ainoaksi siirtotieksi 2.4 GHz:n radiotaajuudet DSSS-suorasekvenssitekniikalla. Alkuperäisessä standardissa olleet FHSS-taajuushyppely ja infrapunavalot poistettiin suurempaa nopeutta tavoiteltaessa. Nopeuden nousun myötä uudesta standardista tuli huomattavasti edeltäjänsä suosituampi. (Puska 2005, 15.)

Uudesta tekniikasta, joka nosti nopeuden 11 Mb/s:n asti käytetään nimitystä HR/DSSS (High Rate / Direct Sequence Spread Spectrum). Uusi standardi myös määritteli mahdollisuuden tiputtaa nopeus huonoissa olosuhteissa edellisen standardin nopeusluokkiin 1 tai 2 Mb/s. Näin saatiin aikaan myös yhteensopivuutta alkuperäisen 802.11-standardin kanssa. (Granlund 2001, 240.)

HR/DSSS-tekniikassa hajautuksessa käytetään Barker-koodauksen sijasta komplementaarikoodausta CCK (Complementary Code Keying). Modulaationa käytetään DQPSK-modulaatiota. (Puska 2005, 37.)

Monet alkuperäisen 802.11-standardin DSSS-tekniikkaa käyttäneet laitteet oli helppo päivittää käyttämään HR/DSSS-tekniikkaa ohjelmisto päivityksellä. Tämä teki uudesta standardista suosituin ja 802.11b olikin usean vuoden ajan käytetyin WLAN-standardi. (Geier 2010, 21.)

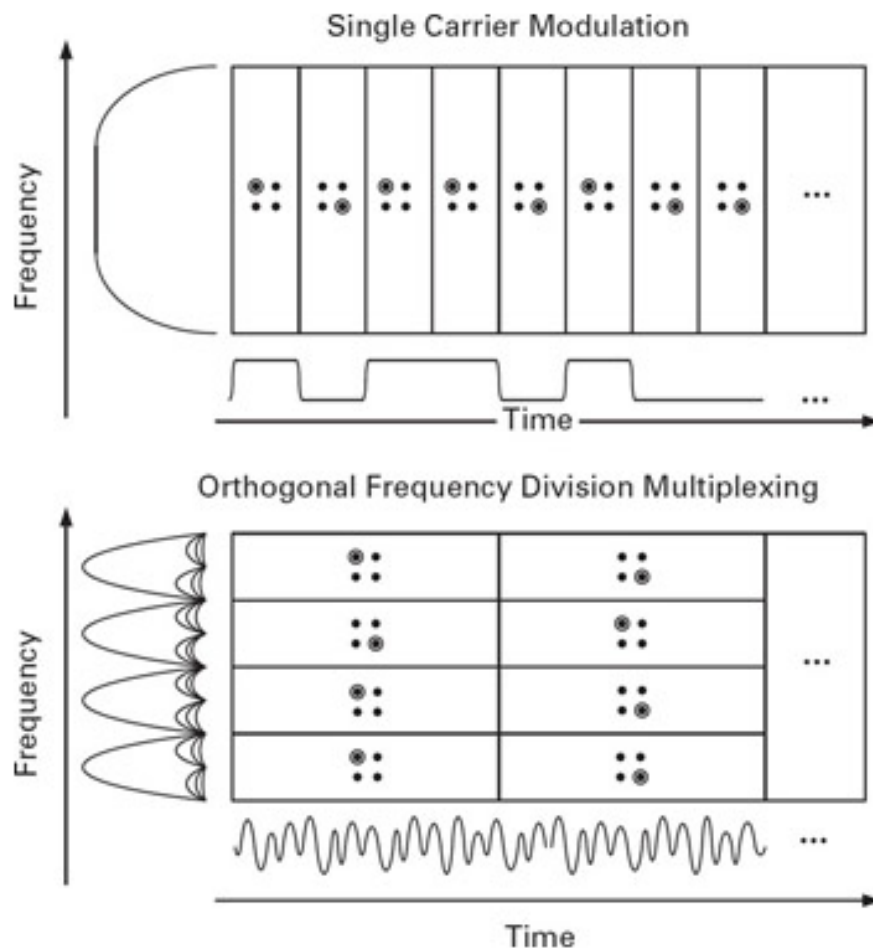
2,4 GHz:n taajuusalueen suuri häiriömäärä aiheuttaa jonkin verran ongelmia 802.11b-standardin laitteiden käytössä. Suurimmat häiriölähteet ovat mikroaaltouunit ja toiset 802.11b-verkkolaitteet. Lisäksi 2,4 GHz:n taajuusalueen pieni kaistanleveys, noin 90 MHz heikentää suorituskykyä suurten käyttäjämäärien kanssa. (Geier 2010, 22.)

802.11b sai vielä laajennuksen 802.11b+ $n$ , jolla nopeus nostettiin 22 Mb/s:n . Tämän laajennuksen suosio jäi kuitenkin hyvin vähäiseksi. (Puska 2005, 15.)

## **2.7 802.11a**

Vuonna 1999 julkaistiin myös 802.11a-standardi, joka erosi edellisistä standardeista merkittävästi fyysisellä tasolla uuden 5 GHz:n taajuusalueen ja OFDM-monikantaaltomoduloinin (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) takia. 802.11a-standardi tarjosi myös jopa 54 Mb/s:n tiedonsiirtonopeuden. (Geier 2010, 21.)

OFDM on monikaistatekniikka, jossa käytössä oleva taajuuskaista jaetaan itsenäisesti toimiviin alikanaviin (ks. Kuvio 10). Jokaiselle alikanavalle valitaan yhteyden osapuolten kättelyvaiheessa modulointimenetelmä. Modulointimenetelmä päätetään siirtotien signaali-kohina-suhteen perusteella. Mikäli jokin taajuus huomataan käyttökelvottomaksi se voidaan sulkea kokonaan pois lähetyksestä. (Granlund 2007, 112.)



Kuvio 10. OFDM alikanavien modulaatio verrattuna yhden kanta-aallon modulaatioon. (Perahia & Stacey 2013.)

Alikanavien modulointitekniikkana käytetään hitaammilla 6-18 Mb/s siirtonopeuksilla BPSK- tai QPSK-modulaatiota. 24 - 54 Mb/s siirtonopeudet käyttävät joko 16-QAM- (Quadrature Amplitude Modulation) tai 64-QAM-modulaatiota. (Geier 2010, 188.)

OFDM käyttää 52 rinnakkaista kanta-aaltoa, joista 48 käytetään lähetykseen. Loput neljä kanta-aaltoa käytetään yhteyden tarkasteluun ja käyttökelvottomien taajuuksiin tai vaiheiden poissulkemiseen. (Geier 2010, 188.)

802.11a-standardin etuina ovat 5 GHz:n taajuusalueen suurempi kapasiteetti ja vähäisemmät häiriöt verrattuna 2,4 GHz:n taajuusalueeseen. Suurempi kapasiteetti saavutetaan suuremmalla taajuusalueella, jonne mahtuu enemmän ei-päällekkäisiä



kanavia kuin pienemmälle 2,4 GHz:n taajuusalueelle. Häiriöiden pienempi määrä taas johtuu siitä, että suurin osa häiriöitä aiheuttavista laitteista toimii 2,4 GHz:n taajuusalueella. (Geier 2005, 125.)

5 GHz:n taajuusalueella on myös heikkoutensa sillä korkeampi taajuus vaimenee nopeammin ja vaatisi korkeampia lähetystehoja päästäkseen samaan kantamaan kuin 2,4 GHz:n signaalit. Esimerkiksi 54 Mb/s nopeudella kantama jää useimmissa tiloissa alle 30 metrin. Tämän takia 802.11a-standardin tukiasemia tarvitaan enemmän saman alueen peittämiseen kuin 802.11b-standardin tukiasemia. (Geier 2005, 125.)

802.11a on määritelty käyttämään Pohjois-Amerikassa vapaassa käytössä olevaa U-NII-taajuusalueita (Unlicensed National Information Infrastructure) 5,15-5,825 GHz. 802.11a-standardin laitteita voi käyttää ilman käyttö lupaa useissa Euroopan maissa ja myös Suomessa. Sallitut taajuusalueet ja lähetystehot vaihtelevat maakohtaisesti. Suomessa sallittu taajuusalue on 5,15-5,35 GHz ja suurin sallittu lähetysteho näillä taajuusalueilla on 200mw. (Puska 2005, 45.)

## **2.8 802.11g**

Myös vuonna 2004 julkaistu 802.11g-standardi käyttää OFDM-monikantoaalto modulaatiota ja on suorituskyvyltään samaa nopeusluokkaa 802.11a-standardin kanssa eli maksimisiirtonopeus on 54 Mb/s. Taajuusalueena standardilla on 2,4 GHz:n ISM taajuudet. (Geier 2005, 127.)

Useimmat 802.11b-standardin laitteet saadaan yhteensopivaksi 802.11g-standardin kanssa ohjelmistopäivityksillä. Ongelmia saattavat kuitenkin aiheuttaa poikkeavat modulaatiomenetelmät. Yhteensopivuuden varmistamiseksi onkin molempien standardien laitteiden käytettävä samaa molempien ymmärtämää modulaatiota. (Geier 2005, 127.)

802.11g-standardin ongelmat ovat samat kuin 802.11b-standardilla. 2,4 GHz:n taajuusalueella esiintyy runsaasti ulkoisia häiriöitä ja taajuuskaistan kapeus rajoittaa käytettävien kanavien määrää. (Geier 2005, 127.)

## **2.9 802.11n**

Vuonna 2009 julkaistu 802.11n-standardi korjasi paljon edellisten standardien ongelmia ottamalla käyttöön yhtäaikaaisesti molemmat 2,4 GHz:n sekä 5 GHz:n taajuusalueet ja tarjoamalla uusia ratkaisuja kuten MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) ja kanavien yhdistämien (Channel Bonding). (Geier 2010, 23.)

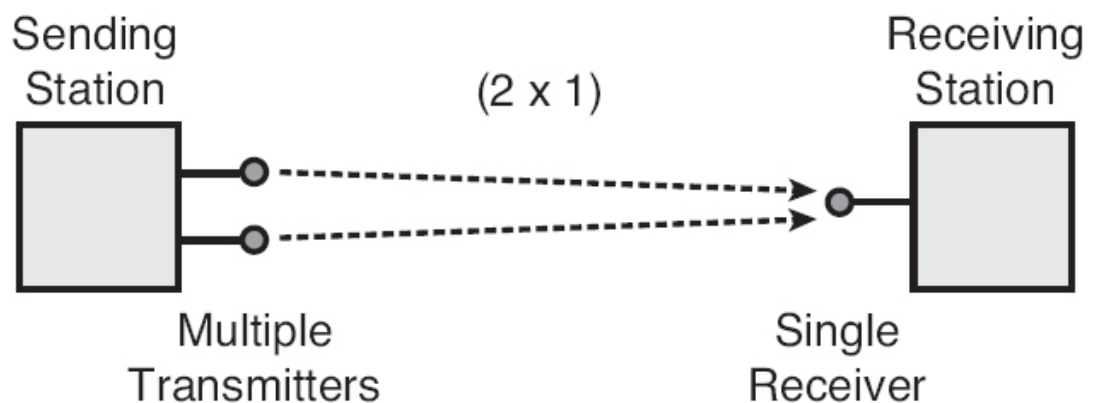
Ennen varsinaista 802.11n-standardin julkaisemista markkinoilla oli jo jonkin verran ilman WiFi-sertifikaattia olevia pre-802.11n-laitteita sekä WiFi Alliancen vuodesta 2008 alkaen sertifioimia Draft-802.11n-laitteita. Pre-802.11n-laitteet ovat laitevalmistajien määrittämiä ja eivät siksi ole yhteensopivia keskenään. Pre-802.11n-laitteita ei myöskään pysty päivittämään vastaamaan varsinaista 802.11n-standardia. Draft-802.11n-laitteet sen sijaan ovat täysin yhteensopivia varsinaisen 802.11n-standardin kanssa. (Geier 2010, 23.)

802.11n-standardin laitteet käyttävät samaa OFDM-monikanavamodulaatiota kuin aiemmat 802.11a- ja 802.11g-standardit. Myös alikanavien modulaatioon käytetään samoja BPSK-, QPSK- ja QAM-modulaatioita. (Geier 2010, 194.)

MIMO-tekniikalla 802.11n-standardin nopeudet saadaan nousemaan jopa satoihin megabitteihin sekunnissa. Yhteensopivuus vanhempien 802.11a- ja 802.11b/g- standardien kanssa on säilytetty, mutta suuri ero standardien kapasiteetissa ja joustavuudessa on johtanut siihen että suurin osa nykyisistä WLAN-toteutuksista tehdään 802.11n-standardilla. (Geier 2010, 190.)

MIMO-tekniikat perustuvat useamman antennin ja lähettimen tai vastaanottimen käyttöön signaalin lähetyksessä ja vastaanotossa. Nämä tekniikat ovat Transmit Beamforming ja Spatial Multiplexin. (Geier 2010, 190.)

Transmit Beamforming tapahtuu kun lähettävä laite lähettää signaalia useammalla kuin yhdellä lähettimellä ja toisessa päässä signaali vastaanotetaan vain yhdellä vastaanottimella (ks. Kuvio 11) (Geier 2010, 190).



Kuvio 11. MIMO Transmit Beamforming usealla lähettimellä (Geier 2010, 190.)

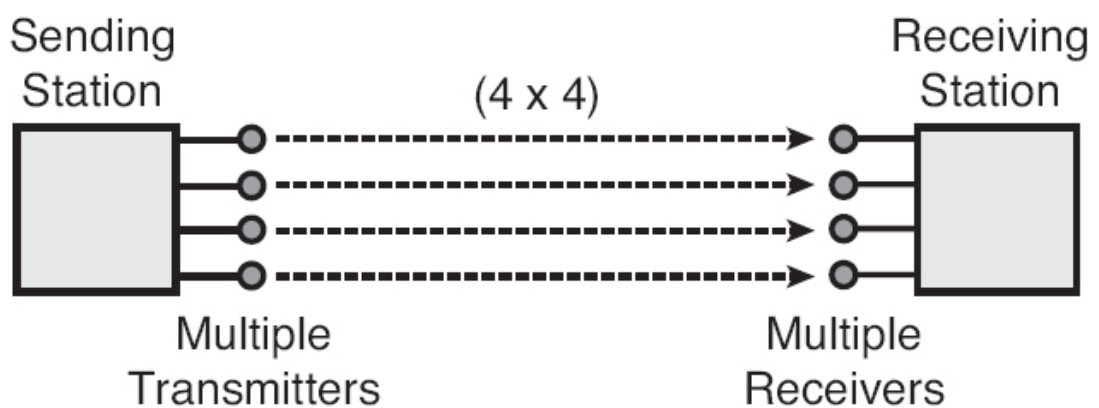
Kun signaalit lähetetään useammalla lähettimellä ja antennilla, ne saapuvat vastaanottajalle eri vaiheissa ja tämä vaikuttaa signaalin voimakkuuteen vastaanottajalla. Näin saadaan palautetta vastaanottajalta signaalin laadusta. Tämän palautteen perusteella lähettäjä voi suunnata lähetysantennien vaihe ja amplitudimuutoksilla lähetysten paremmin kohti vastaanottajaa. Näin Transmit Beamforming tekniikalla voidaan parantaa häiriökohinasuhdetta ja siirtonopeutta. Tämän tekniikan toimiminen vaatii palautteen antoa vastaanottajalta lähettäjälle ja siksi tekniikka toimii vain kahden 802.11n-standardin laitteen välillä. Vanhempien 802.11-standardien laitteilla tämä ei onnistu. (Geier 2010, 191)

Ongelmia tässä tekniikassa esiintyy, mikäli vastaanotin liikkuu. Tällöin tarvitaan palautetta vastaanottajalta jatkuvasti ja lähettäjä joutuu jatkuvasti suuntaamaan lähetystään. Lisäksi ymmärrettävästi Transmit Beamforming toimii vain unicast-

lähetyksissä, eikä usealle vastaanottajalle lähetettävissä broadcast- tai multicast-lähetyksissä. (Geier 2010, 191.)

MIMO-tekniikka toimii myös toisinpäin eli mikäli käytössä on useampi vastaanotin ja vain yksi lähetin. Tällöin vastaanottimet kohdistavat itseään paremman signaalin saamiseksi. Koska vanhemmissa 802.11-standardien laitteissa on vain yksi lähetin tämä tekniikka toimii myös niiden kanssa. Vanhempien 802.11-standardien laitteiden suorituskyky saattaa nousta jopa 30 prosenttia, toimiessaan useampaa vastaanotinta käyttävän 802.11n-standardin tukiaseman kanssa. (Geier 2010, 191.)

Spatial Multiplexin nostaa dramaattisesti 802.11n-verkon suorituskykyä. Tämä tekniikka vaatii useamman kuin yhden lähettimen ja vastaanottimen yhtäaikaista käyttöä (ks. Kuvio 12). Siirrettävä data jaetaan erillisiin datavirtoihin, joista käytetään nimitystä spatiaaliset datavirrat (spatial stream). Nämä datavirrat lähetetään usealla lähettimellä samanaikaisesti ja vastaanotetaan yhtä monella vastaanottimella. Tekniikalla voidaan käyttää yhtäaikaaisesti maksimissaan neljää lähetin-vastaanotin-paria. Neljän parin ollessa käytössä maksimisiirtonopeudeksi saadaan 540 Mb/s. (Geier 2010, 191.)



Kuvio 12. Spatial Multiplexin neljällä lähetin-vastaanotin parilla (Geier 2010, 191.)

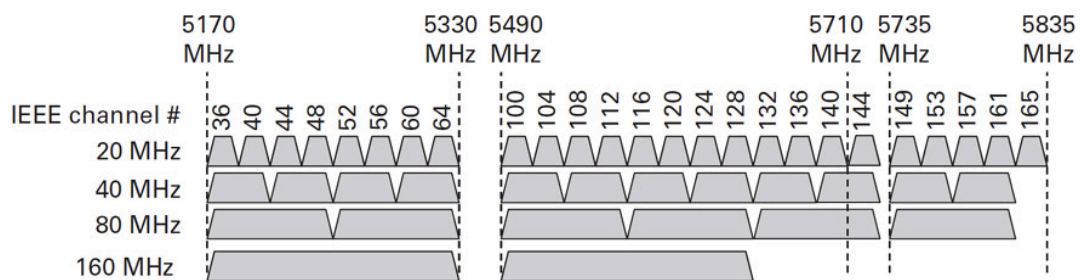
Vanhemmat 802.11-standardit käyttivät 20 MHz:n kanavia. 802.11n-standardi voi käyttää joko 20 MHz:n tai 40 MHz:n kanavia. Kanavien yhdistämisellä voidaan tehdä

kahdesta 20 MHz:n kanavasta yksi 40 MHz:n kanava ja näin saadaan aikaan teoreettisesti tuplattu siirtonopeus. Käytännössä kaksinkertaiseen nopeuteen ei kuitenkaan päästä. Kanavien yhdistäminen toimii käytännössä vain 5 GHz:n taajuusalueella sillä 2,4 GHz:n taajuusalue on tähän käyttöön liian pieni. (Geier 2010, 191.)

## 2.10 802.11ac

802.11ac-standardissa käytetään jo edellisestä standardista tuttuja tekniikoita. Käytössä ovat kanavien yhdistäminen, MIMO ja spatiaaliset datavirrat, mutta myös modulaatiota ja koodausta on päivitetty. (Perahia & Stacey 2013.)

Kanavien yhdistäminen on viety edellistä 802.11n-standardia pidemmälle ja nyt alkuperäisiä 20 MHz:n kanavia yhdistetään 80 MHz:n ja jopa 160MHz:n kanaviksi(ks. Kuvio 13). 80 MHz:n kanavilla ja neljällä spatiaalisella datavirralla saadaan aikaan 1733,3 Mb/s:n tiedonsiirtonopeus ja kun käytössä 160 MHz:n kanavat tiedonsiirtonopeus nousee jopa 3466,7 Mb/s:n. Lisäksi spatiaalisten datavirtojen maksimimäärää on nostettu neljästä kahdeksaan. Joten 160 MHz:n kanavilla ja kahdeksalla spatiaalisella datavirralla saadaan maksimitiedonsiirtonopeus kaksinkertaitettua 6933,3 Mb/s:n. Nämä nopeudet vaativat myös uuden alikanavien modulointitekniikan, joka on QAM-256. (Perahia & Stacey 2013.)



Kuvio 13. 802.11ac-standardin mukaisten kanavien yhdistäminen 5 GHz:n taajuusalueella (Perahia & Stacey 2013.)

802.11ac-standardissa käytetty kanavien yhdistäminen onnistuu vain 5 GHz:n taajuusalueella. Maakohtaisista kanavasäännöksistä riippuen 5 GHz:n taajuusalueelle saadaan luotua kolmesta viiteen ei-päällekkäistä 80 MHz:n kanavaa tai korkeintaan kaksi 160 MHz:n kanavaa. (Coleman & Westcott 2012.)

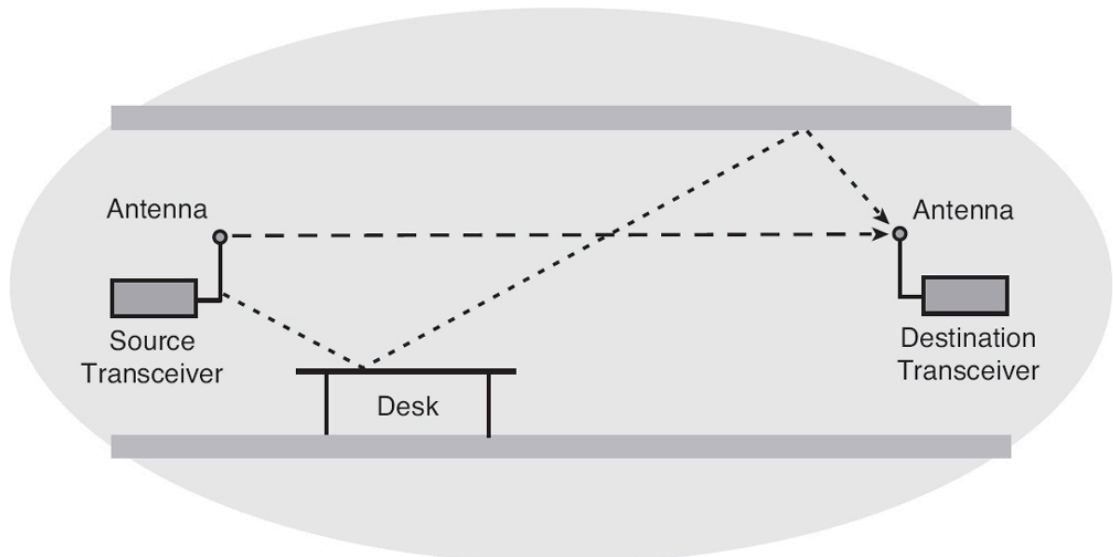
## **3 LANGATTOMIEN VERKKOJEN SUUNNITTELU**

### **3.1 Radiosignaalin eteneminen**

Radiosignaalin etenemistä vaikeuttavat kolme perusilmiötä: vaimeneminen, heijastuminen ja taittuminen. Näitä ilmiöitä aiheuttavat väliaine eli siirtotie, joka on useimmiten ilma, sekä fyysiset esteet eli rakenteet ja huonekalut. Rakennusten rakenteet ja huonekalut aiheuttavat ongelmia langattomien lähiverkkojen kuuluvuudelle, joten nämä asiat tulisi ottaa huomioon myös langattomien lähiverkkojen suunnittelussa.

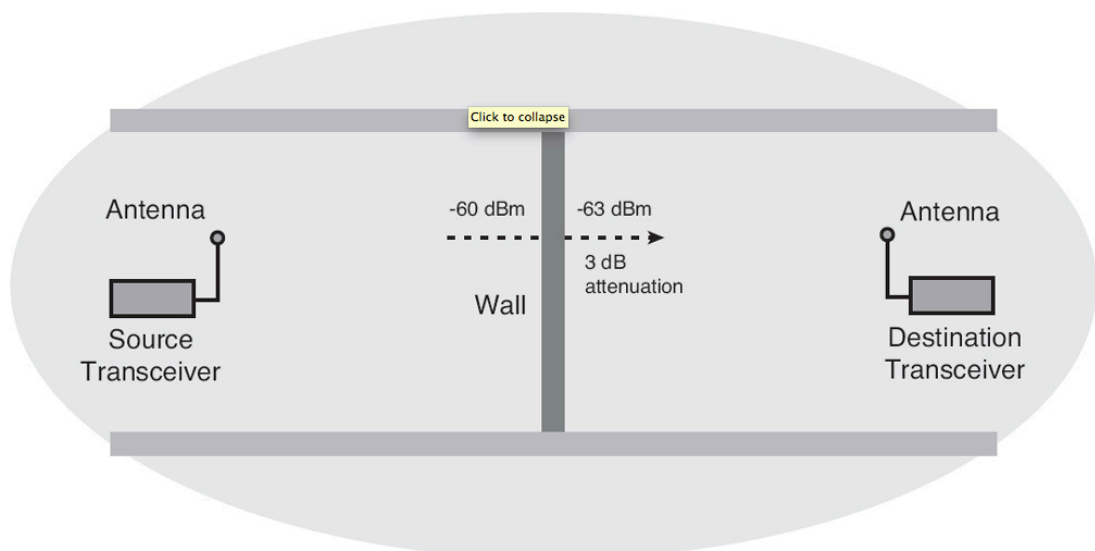
Kun radiosignaali etenee väliaineessa, sen amplitudi heikkenee eli tapahtuu vaimenemista. Vaimenemiseen vaikuttavat lähetysteho, väliaine, etäisyys sekä taajuus. Esimerkiksi 802.11g-standardin mukaisen langattoman verkon 2,4 GHz:n signaali vaimenee 100 metrin etäisyydellä -20 dBm:ä (ks. Kuvio 14).





Kuvio 15. Monitie-eteneminen (Geier 2010, 51.)

Kun radioaallot etenevät fyysisten esteiden, kuten esimerkiksi seinän läpi, ne vaimenevat paljon enemmän verrattuna siihen, että ne etenisivät ilmassa. Vaimennuksen määrä riippuu merkittävästi materiaalista, mutta esimerkiksi tyypillinen WLAN-verkossa esiintyvä radioaalto amplitudilla  $-60$  dBm vaimenee  $-3$  dBm edetessään rakennuksen väliseinän lävitse (ks. Kuvio 16). Lisäksi muut esteet kuten ikkunat, kirjahyllyt, ovet, hissikuilut ja ilmastointikanavat aiheuttavat vaimennusta. (Geier 2010, 50.)



Kuvio 16. Vaimennus signaalin edetessä väliseinän lävitse (Geier 2010, 50.)



### 3.2 Radiotien häiriöt

Radiosignaalien etenemiseen vaikuttavat myös erilaiset häiriöt, joita tuottavat luonnonilmiöt tai samoilla taajuusalueilla toimivat muut sähkölaitteet. Samoilla taajuusalueilla toimii esimerkiksi mikroaaltouuni, joka saattaa aiheuttaa häiriöitä WLAN-verkkojen toiminnalle 2,4 GHz:n taajuusalueella. (Granlund 2007, 293.)

Muita 2,4 GHz:n alueella häiriöitä aiheuttavia laitteita ovat muun muassa Bluetooth-laitteet ja langattomat puhelimet. Lisäksi häiriöitä aiheuttavat muut alueella kuuluvat WLAN-verkot. 5 GHz:n taajuusalueen etuna on huomattavasti pienempi määrä häiriöitä verrattuna 2,4 GHz:n taajuusalueeseen. (Geier 2010, 21.)

Lyhytaikaiset häiriöt saattavat aiheuttaa vain yksittäisiä bittivirheitä ja uudelleenlähettyksiä, mutta pitempi kestoisten häiriöiden alueella joudutaan lähetyksessä käyttämään enemmän bittejä virheenkorjaukseen ja tämä laskee tiedonsiirtonopeutta (Puska 2005, 108).

### 3.3 Tukiasemat

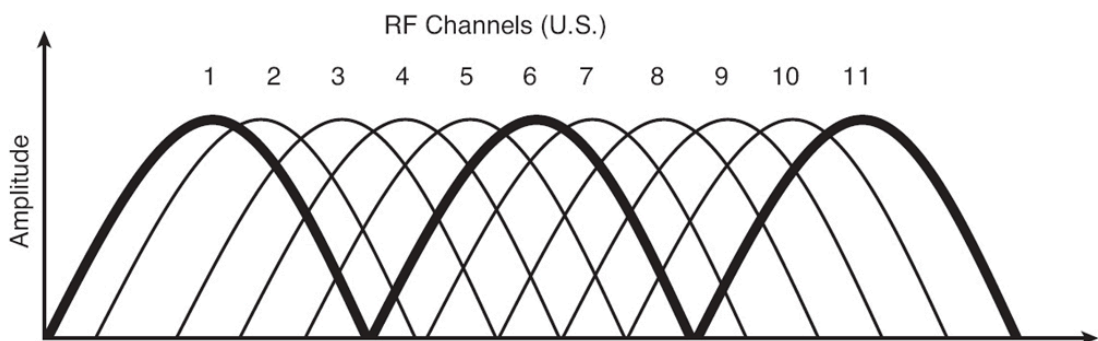
Langattoman verkonperuskomponentit ovat tukiasemat ja päätelaitteiden langattomat verkkokortit. Verkkokorttien toiminta sekä asetukset ovat yleensä jo valmistajan toimesta määritetty kuntoon ja näin ollen verkkokorttien käyttöön ei juurikaan tarvita suunnittelua tai asiantuntijan apua. Tukiasemiin sen sijaan täytyy perehtyä, jotta saadaan suunniteltua ja toteutettua toimiva langaton lähiverkko.

Tukiasemat ovat langattoman lähiverkon keskeisimmät laitteet. Ne valitaan yleensä ensisijaisesti WLAN-standardien perusteella. Tukiasemien hinnat ovat melko edullisia ja siksi on järkevää vaihtaa ennemmin tukiasemat vastaamaan päätelaitteiden WLAN-standardeja, kuin uusia päätelaitteita tai niiden verkkokortteja. (Hakala & Vainio 2005, 158.)

### 3.4 Tukiasemien kanvasuunnittelu

Toimivan langattoman lähiverkon suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon kanvasuunnittelu. Kanvasuunnittelulla pyritään estämään samalla kuuluvuusalueella toimivien tukiasemien kanavien päällekkäisyys. Kanavien päällekkäisyys aiheuttaa häiriösignaaleja ja laskee verkonsuorituskykyä. (Geier 2010, 328.)

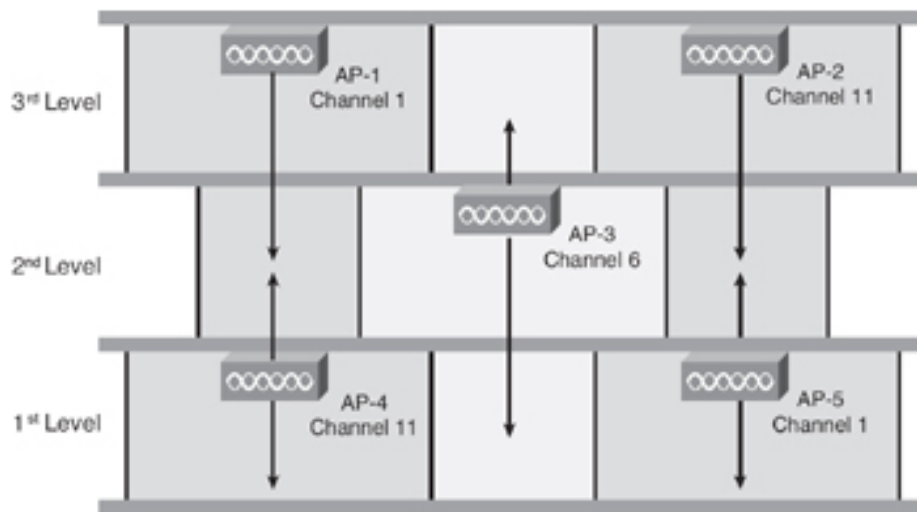
2,4 GHz:n taajuusalueella toimivissa ratkaisussa tulee kanvasuunnitteluun kiinnittää erityistä huomiota, sillä taajuusalueella on käytössä vain kolme ei-päällekkäistä 20 MHz:n kanavaan. Nämä kanavat ovat 1,6 ja 11(ks. Kuvio 17). 5 GHz:n taajuusalueella kanavien määrä on huomattavasti suurempi, joten ei-päällekkäisten kanavien valitsemien kanvasuunnittelussa on tällä taajuusalueella huomattavasti helpompaa. Lisäksi 5 GHz:n taajuusalueella voidaan käyttää 802.11n-standardin määrittelemää kanavien yhdistämistä. (Geier 2010, 328.)



Kuvio 17. Ei-päällekkäiset 20 MHz:n kanavat 2,4 GHz:n taajuusalueella (Geier 2010, 329.)

Kanvasuunnittelussa tulisi valita kanavat niin että ne menevät mahdollisimman vähän päällekkäin, joten vierekkäin olevien tukiasemien tulisi aina käyttää eri kanavia (ks. Kuvio 18). Useamman kerroksen rakennuksissa tulee muistaa, että säteily leviää myös pystysuunnassa kerrosten välillä. Säteilyn leviämiseen vaikuttavat huomattavasti rakennusten rakenteet. Jokainen rakennus on erilainen ja siksi tulisi testata molempien taajuusalueiden säteilyn etenemistä, ennen langattoman lähiverkon toteu-

tusta. Lisäksi kanvasuunnittelussa on otettava huomioon myös oman verkon ulkopuolisista langattomista laitteista tuleva säteily ja näiden kanavat (Geier 2010, 330.)



Kuvio 18. 2,4 GHz:n taajuusalueen oikea kanvasuunnittelu usean kerroksen rakennuksessa (Geier 2010, 332.)

## **4 IT-DYNAMON WLAN-VERKKO**

### **4.1 WLAN-tukiasemat IT-Dynamossa**

Jyväskylän ammattikorkeakoulun IT-Dynamo on Jyväskylän Lutakossa sijaitseva viisi-kerroksinen rakennus. Dynamon WLAN-verkko on toteutettu Applen Airport Express-tukiasemilla. Lisäksi rakennuksen auditoriosta löytyy yksi Applen Airport Extreme -tukiasema. Yhteensä kyseisen WLAN-verkon tukiasemia löytyy rakennuksesta 28 kappaletta. Nämä tukiasemat on aseteltu rakennukseen lähinnä tilojen käyttötarkoituksen perusteella. IT-Dynamossa WLAN-verkolla on pyritty kattamaan parhaiten luokkahuoneet sekä toimisto- ja neuvottelutilat.

Tukiasemien sijainnit sekä niiden käyttämät kanavat on merkitty liitteisiin 18-22. Verkon tukiasemista neljä toimii 5 GHz:n taajuusalueella. Lisäksi auditorion Airport Extreme tukiasemassa on kaksi erillistä lähetintä, joista toinen on 5 GHz:n taajuusalueella. Nämä kaksi lähetintä näkyvät liitteissä erillisinä tukiasemina. Eri taajuusalueella toimivat tukiasemat tunnistaa niiden kanavien perusteella. 5 GHz:n taajuusalueella toimivat tukiasemat käyttävät kanavia 36-40 tai 100-104. 2,4 GHz:n taajuusalueella käytössä on kanavat 1,6 ja 11.

### **4.2 Apple Airport Express**

Kaikki IT-Dynamossa olevat Apple Airport Express-tukiasemat ovat ensimmäisen sukupolven (1st Generation) laitteita, jotka Apple julkisti vuonna 2008. Tukiasemat tukevat draft-802.11n-standardia sekä aiempia 802.11a/b/g standardeja. Joten ne ovat täysin yhteensopivia myös 802.11n-standardin laitteiden kanssa. Näiden tukiasemien ohjelmistoversio on 7.6.1.

Apple Airport Express 1st Generation -tukiasemassa (ks. Kuvio 19) on Ethernet RJ45-liitäntä ja USB-liitäntä. Ethernet-liitännällä tukiasema liitetään kiinteään verkkoon ja

USB-liitännällä voidaan kytkeä tulostin langatonta tulostusta varten. Lisäksi laiteessa on 3.5mm audioliitäntä, johon voidaan kytkeä kaiuttimet langatonta musiikinsiirtoa varten. Tukiasema toimii sekä 2,4 GHz:n että 5GHz:n taajuusalueilla ja sen lähetysteho on 20 dBm. (Apple Airport Express 802.11n (1st Generation) – Technical Specifications, 2011.)



Kuvio 19. Apple Airport Express ensimmäisen sukupolven tukiasema (Apple Airport Express 802.11n (1st Generation) – Technical Specifications, 2011.)

### 4.3 Apple Airport Extreme

IT-Dynamon auditoriossa oleva Apple Airport Extreme-tukiasema on viidennen sukupolven (5th Generation) laite, jonka Apple julkisti vuonna 2011. Tukiasema tukee 802.11n-standardia sekä aiempia 802.11a/b/g-standardeja. Tukiaseman ohjelmistoversio on 7.6.1.

Apple Airport Extreme 5th Generation-tukiasemassa (ks. Kuvio 20) on neljä Ethernet-liitaintä ja USB-liitaintä. Kolme Ethernet-liitaintä on tarkoitettu laitteiden langallista kytkemistä varten ja yhdellä liitännällä tukiasema kytketään kiinteään verkkoon. USB-liitaintään voi kytkeä tulostimen tai ulkoisen kovalevyn, niiden langatonta jakamista varten. Tukiasema toimii sekä 2,4 GHz:n että 5GHz:n taajuualueilla ja sen lähetysteho on 23 dBm. (Apple Airport Extreme (5th Generation) – Setup Guide, 2011)



Kuvio 20. Apple Airport Extreme viidennen sukupolven tukiasema (Apple Airport Extreme (5th Generation) – Setup Guide, 2011.)

## 5 MITTAUSMENETELMÄT

### 5.1 Kuuluvuusmittaus ja simuloinnit

Kuuluvuusmittaus ja simuloinnit suoritettiin käyttäen Ekahau Site Survey 5.5.18-ohjelmistoa, Ekahau NIC-300 WLAN-adapteria ja Lenovo Thinkpad X61 kannettavaa tietokonetta.

Ekahau Site Survey ohjelmisto on Ekahau-nimisen yrityksen kehittämä monipuolinen työkalu langattomien lähiverkkojen mittaukseen. Ekahau on vuonna 2000 perustettu yritys, joka kehittää työkaluja WiFi-verkkojen suunnitteluun, käyttöönottoon ja hallintaan. Ekahau on alan edelläkävijä, joka kehitti ensimmäisen yritystason käyttöön tarkoitetun Site Survey-työkalun. Ekahau kehittää myös WiFi-verkkoihin perustuvia paikannusjärjestelmiä terveydenhuolto- ja koulutusosalalle. (Ekahau About Ekahau Wi-Fi Design Tools n.d.)

Tämän työn mittauksissa ja simuloinneissa käytettiin Ekahau Site Surveyn versiota 5.5.18. Uusin versio on tällä hetkellä juuri ilmestynyt Ekahau Site Survey 7.0.

Ensimmäinen Ekahau Site Survey (versio 1.0) ilmestyi vuonna 2003. Tuolloin uudessa työkalussa oli mukana 802.11b-standardin kanssa yhteensopiva kuuluvuus kartoitus ja tukiasemien paikannus. Vuonna 2004 julkaistu 2.1 versio oli yhteensopiva 802.11a/b/g standardien kanssa. Ekahau Site Surveyn versiossa 4.4 mukaan tuli 802.11n-standardi ja 6.0 versiosta lähtien mukana on ollut yhteensopivuus 802.11ac-standardin kanssa. (Ekahau The history of Ekahau Site Survey 2002-2013 n.d.)

Ekahau Site Survey vaatii toimiakseen oman langattoman verkkokortin, joka toimii myös lisenssiavaimena, jota ilman ohjelmisto ei käynnisty. Työn mittauksissa ja simuloinneissa käytössä ollut verkkokortti oli Ekahau ECR2 NIC-300, joka on yhteensopiva

802.11a/b/g/n-standardien kanssa. Kortti liitetään kannettavan tietokoneen PCMCIA-väylään. Uudemmissa Site Survey versioissa PCMCIA-väylän kortit on korvattu USB-porttiin liitettävällä verkkokortilla.

Kuuluvuusmittauksissa sekä simuloinneissa käytetty kannettavatietokone oli kosketusnäytöllä, Stylus-kynällä ja kääntyvällä näytöllä varustettu Lenovo Think Pad X61 Tablet PC.

## 5.2 Suorituskykymittaus

Suorituskykymittaukset toteutettiin mittaamalla WLAN-verkon suorituskykyä Speedtest.net-palvelulla. Palvelua ajettiin Applen MacBook Pro kannettavalla tietokoneella.

Ookla Speedtest.net on kaikille avoin verkkoyhteyden nopeustesti, joka mittaa viiveen (latency), latausnopeuden (download) sekä lähetysnopeuden (upload) päätelaitteen ja valitun palvelimen välillä. Näillä kolmen muuttujan avulla eri yhteyksien nopeuden vertailu on helppoa.

Speedtest.net-palvelusta löytyy satoja palvelimia ympäri maailmaa, joten kuka tahansa voi testata verkkoyhteytensä nopeuden missä tahansa. Käyttäjät voivat myös tallentaa mittaustuloksiaan ja jakaa niitä muiden käyttäjien kanssa. Palvelulla tehdään joka kuukausi yli 50 miljoonaa testiä. (Speedtest.net About Ookla Speedtest n.d.)

Käytössä ollut MacBook Pro kannettavatietokone on vuoden 2012 puolivälin mallia ja sen käyttöjärjestelmän versio on 10.8.5. Koneen langaton AirPort Extreme -verkkokortti tukee 802.11a/b/g/n-standardeja.



### 5.3 Reaaliaika- ja viivemittaus

Reaaliaikamittaus toteutettiin testaamalla Skype-videopuhelun toimivuutta liikuttaessa rakennuksessa. Tämän lisäksi tehtiin viivemittaus, jossa viivettä mitattiin ping-komennolla. Mittauksessa käytettiin samaa MacBook Pro kannettavaa tietokonetta kuin suorituskykymittauksissa.

Skype on Microsoftin VoIP-ohjelmisto (Voice over Internet Protocol), jolla voidaan soittaa äänipuheluita ja videopuheluita sekä käyttää pikaviestiohjelmana. Puhelut Skype-käyttäjien välillä ovat maksuttomia. Skypen maksuttomuus ja ohjelmiston helppokäyttöisyys ovat tehneet todella suosituksen ohjelman jolla on satoja miljoonia käyttäjiä.

Ping-komennolla voidaan tutkia yhteys haluttuun kohteeseen, lähettämällä kohteen IP-osoitteeseen ICMP echo kutsu. Ping-komennolla saadaan selville vastaako kohde ja millaisella viiveellä vastaus saadaan. (Microsoft TechNet Using Ping Command, 2006.)

## 6 MITTAUKSET

### 6.1 Kuuluvuusmittaus

Uusissa mittauksissa Ekahau Site Survey-ohjelmistolla tulisi esivalmisteluina ohjelmaan määrittää rakennuksen pohjakuvat sekä rakenteiden materiaalit. Koska IT-Dynamossa oli aiemmin tehty vastaava mittaus löytyi mittauskoneelta valmiiksi ohjelmaan määritetty pohjakuva, johon oli merkitty myös rakenteiden materiaalit. Näin ollen mittauksen esivalmisteluiksi riitti päivittää remontoitujen tilojen muutokset karttapohjaan sekä määrittää rakenteissa käytetyt materiaalit. Lisäksi pohjakuvaan lisättiin joitakin suurempia huonekaluja, kuten kirjahyllyjä, siirrettäviä väliseiniä sekä laitekehikkoja.

Kuuluvuusmittaukset ajoitettiin hiihtolomaviikolle 24 - 28 päivä helmikuuta, jolloin lähes koko rakennus oli tyhjillään ja miltei kaikkiin tiloihin oli esteetön kulku. Mittauksista jouduttiin jättämään pois 3.kerroksen JYVSECTEC:n tilat 320-322, koska näihin tiloihin ei saatu kulkulupaa niiden turvaluokituksen takia. Myös joidenkin 1.kerroksen varastotilojen mittaus jäi puutteelliseksi, koska varastojen suuret tavara määrät estivät tiloissa liikkumisen. Lisäksi mittauksesta jätettiin pois WC-tilat ja rakennuksen päätyjen porraskäytävät. Näissä tiloissa ei ole tarvetta WLAN-verkolle, joten tämä ei estänyt mittaustavoitteisiin pääsyä.

IT-Dynamon auditorio ulottuu rakennuksen ensimmäiseen ja toiseen kerrokseen. Siksi tila jaettiin myös mittauksissa kahtia ja mitattiin kahdessa osassa. Tilan ylempien tukipilarien alapuolella olevat seitsemän penkkiriviä sekä lattiataso mitattiin 1.kerroksen mittauksissa ja tukipilarien yläpuolella olevat neljä penkkiriviä, ylätasanne, tarkkaamo sekä varastotilat mitattiin toisen kerroksen mittauksissa.

Kuuluvuusmittaus toteutettiin kulkemalla rakennuksessa mittauskannettavan kanssa liitteissä 6 - 10 esitetyt reitit. Ekahau Site Survey-ohjelmistolle annettiin reaaliaikaista paikkatietoa reitistä piirtämällä reittiä karttapohjaan kosketusnäytön ja Stylus-kynän avulla. Näin mittaohjelmisto sai paikkatiedon ja pystyi määrittämään rakennuksen WLAN-verkon kuuluvuusalueet sekä tukiasemat paikoilleen. Reiteillä pyrittiin kulkemaan mahdollisimman kattavasti kaikki tilat jättämättä aukoja, jotka mittalaitteisto olisi joutunut simuloimaan.

Kun rakennuksen kuuluvuusmittaus oli toteutettu poistettiin Ekahau Site Survey -ohjelmistosta ylimääräiset rakennuksen ulkopuoliset tukiasemat. Nämä tukiasemat kuuluvat lähistöllä olevista muista rakennuksista. Yhteensä ohjelmisto löysi yli sata tukiasemaa lähialueilta. Jotta mittaushjelmiston tuottamista kuuluvuuskartoista voitiin saada luotettavat poistettiin ylimääräiset löydetyt tukiasemat ja mukaan otettiin vain IT-Dynamossa toimivat 27 Apple Airport Express-tukiasemaa ja auditoriossa sijaitseva Apple Airport Extreme -tukiasema. Näin saatiin luotettavat kuuluvuuskartat analysoitavaksi. Kuuluvuuskartat on esitetty liitteissä 11 - 15.

Lisäksi Ekahau Site Survey -ohjelmistolla saatiin selville tukiasemien käyttämät kanavat sekä tukiasemien sijainnit. Tosin mittausohjelmisto saattoi asettaa tukiasemia väärin tiloihin tai jopa väärin kerroksiin, joten niiden sijainteja jouduttiin korjaamaan tietohallinnosta saatujen paikkatietojen perusteella. Näiden paikka- ja kanavatietojen perusteella voidaan analysoida WLAN-verkon kanavasunnittelua. Tukiasemien paikat ja kanavat on esitetty liitteissä 16 - 20.

## 6.2 Käyttäjähaastattelut

Mittausten aikana tehtiin suullisia käyttäjähaastatteluja WLAN-verkon toiminnasta IT-Dynamon rakennuksesta. Näissä haastatteluissa etsittiin tiloja, joissa WLAN-verkon heikko suorituskyky haittaa työskentelyä. Haastatteluissa ilmeni ongelmia verkon suorituskyvyssä ainakin ruokalassa, 5-kerroksen huoneissa 563 - 566 sekä käytävällä ja 2-kerroksen huoneissa 212 ja 213. Käyttäjähaastattelujen perusteella havaitut ongelmalliset tilat on esitetty liitteissä 27 - 29. Liitteissä ongelmalliset tilat on merkitty punaisella värillä.

## 6.3 Suorituskykymittaus

Kuuluvuusmittauksessa sekä käyttäjähaastatteluissa ilmenneillä heikon suorituskyvyn alueilla tehtiin pistemäisiä suorituskykymittauksia. Mittaukset toteutettiin Speedtest.net-palvelulla. Mittauksissa käytettiin MacBook Pro -tietokonetta, jossa on yhteensopivuus 802.11n-standardin käyttöön.

Mittaukset tehtiin kuudessa pisteessä eri puolilla rakennusta. Neljässä näistä pisteistä epäiltiin heikkoa WLAN-verkon suorituskykyä joko kuuluvuusmittausten ja käyttäjäkyselyjen perusteella. Lisäksi mukaan otettiin kaksi hyvän kuuluvuuden pistettä, jotta mittaustuloksille saatiin vertailupohjaa.

Mittauksissa mitattiin jokaisessa kuudessa pisteessä verkon suorituskykyä Speedtest.net palvelulla. Mittaus toteutettiin kymmenen kertaa. Suorituskyvyn mitareina palvelussa ovat viive (latency) millisekunteina, latausnopeus (download) muodossa Mb/s ja lähetysnopeus (upload) muodossa Mb/s. Kymmenestä mittauksesta laskettiin keskiarvot, joiden perusteella suorituskykyä analysoidaan.

Mittaukset suoritettiin normaalina työpäivänä kello 13-16 välillä, jolloin verkonkuorituksen pitäisi olla runsasta. Kaikkien mittausten kohdepalvelimena käytettiin Nebula Oy:n palvelinta Helsingissä. Suorituskykymittausten tulokset on esitetty liitteessä 23.

#### **6.4 Reaaliaika- ja viivemittaus**

Reaaliaikamittaukset suoritettiin tutkimalla tukiaseman vaihdon vaikutusta Skype-puhelun laatuun. Samalla mitattiin viivettä lähettämällä ICMP Echo kutsu Ping-komennolla Skype-palvelimelle IP-osoitteessa 91.190.216.21. Reaaliaika- ja viivemittaukset tehtiin kolmannessa kerroksessa ja viidennessä kerroksessa. Kolmannessa kerroksessa kuljettiin mittaustietokoneen kanssa edestakaisin liitteessä 24 esitetty reitti. Viidennessä kerroksessa kuljettiin mittaustietokoneen kanssa kaksi liitteessä 25 esitettyä reittiä.

#### **6.5 Simuloinnit**

Kuuluvuus- ja suorituskykymittausten perusteella tehtiin kaksi simulointia tukiaseman lisäämisestä valmiisiin kuuluvuuskarttoihin rakennuksen toiseen ja viidenteen kerrokseen. Simuloinnit toteutettiin Ekahau Site Survey-ohjelmalla lisäämällä mitattuihin kuuluvuuskarttoihin kaksi 100 mw:n lähetysteholla toimivaa 802.11n-standardin geneeristä tukiasemaa. Näiden simulointien perusteella tehtiin korjaus ehdotukset tukiasemien lisäämistä koskien. Simuloinnit on esitetty liitteissä 21 ja 22.

## 7 TULOSTEN ANALYSOINTI

### 7.1 Kuuluvuusmittaus

Ekahau Site Survey mittausohjelmiston tuottamat kuuluvuuskartat on esitetty liitteissä 11-15. Näiden kuuluvuuskarttojen eri värialueet ilmaisevat signaalinvoimakkuuden yksikkönä dBm, joka on desibelien määrä suhteessa milliwattiin.

Signaalin voimakkuuksien tulisi olla vähintään -75 dBm normaaliin toimisto käyttöön ja vähintään -67 dBm VoIP-puheluille. Näin ollen kaikkien tilojen, joissa WLAN-verkkoa on tarkoitus käyttää tulisi signaalin voimakkuuden olla vähintään -75 dBm. (Ekahau Wi-Fi Infographic: Best Practices for WLAN Design n.d.).

Ensimmäinen kerros eroaa rakennuksen muista kerroksista sillä siinä ei ole ollenkaan luokkatiloja ja hyvin vähän toimistotiloja. Kuuluvuuden kannalta tärkeimpiä tiloja ovat auditorio, neuvottelutila Waneri, kirjasto sekä ruokala. Ensimmäisen kerroksen mittaustulosten perusteella tärkeimmissä tiloissa signaalin voimakkuus on vähintään -55 dBm, mikä riittää hyvin työskentelyyn. Myös aulatiloissa signaalinvoimakkuus on vähintään -70 dBm. Heikko signaalin voimakkuus on ainoastaan ruokala- ja siivoushenkilökunnan sosiaalityötiloissa sekä varastotiloissa. Näissä tiloissa ei kuitenkaan ole tarvetta WLAN-verkolle. Muilta osin ensimmäisen kerroksen signaalinvoimakkuudet ovat hyvällä tasolla.

Toisen kerroksen luokkatilojen signaalinvoimakkuus on vähintään -55 dBm, joka on hyvää tasoa. Myös aula ja käytävätilojen signaalin voimakkuus on vähintään -70 dBm. Poikkeuksen toisen kerroksen hyvään signaalinvoimakkuuteen kuitenkin tekevät opettajien työtilat huoneissa 212 ja 213. Näissä tiloissa signaalinvoimakkuudet laskevat lähelle -75 dbm, joka vaikuttaa jo huomattavasti verkon suorituskykyyn alueella.

Kolmannessa kerroksessa luokkatilat, käytävät ja aulatilat on suurelta osin katettu vähintään -60 dBm:n signaalivoimakkuudella. Poikkeuksen tähän tekevät JYVSEC-TEC-tilat 320 - 322. Näiden tilojen heikko kuuluvuus johtuu luultavasti siitä, että tiloihin ei päästy tekemään mittauksia ja siksi mittaushjelmisto joutui simuloimaan tilojen kuuluvuuden. Lisäksi tilojen 330 ja 331 aivan ikkunallisen seinän vierustoilla esiintyy heikkoa -75 dBm:n signaalin voimakkuutta. Nämä alueet ovat kuitenkin niin pieniä, että niillä ei ole kokonaisuuden kannalta merkitystä.

Neljännessä kerroksessa verkko on kuuluvuuden kannalta toteutettu parhaiten koko rakennuksessa. Lähes koko kerroksessa signaalivoimakkuus on vähintään -60 dBm:n luokkaa. Ainoat tilat, jossa signaalivoimakkuus laskee alle -65 dBm:n ovat sähkötekniikan laboratoriotilat 433. Vaikka tukiasema onkin lähellä, vaimentaa useampi väliseinä tukiaseman ja tilan välissä signaalivoimakkuutta huomattavasti. Lisäksi tiloissa on suuria mittauspöytiä, jotka myös omalta osaltaan estävät säteilyn kulkua.

Viidennen kerroksen langattoman verkon toteutus vaikuttaa hieman vajavaiselta. Vaikka suurin osa kerroksesta on katettu hyvällä vähintään -60 dBm:n signaalivoimakkuudella, jää noin kolmasosa opettajien työhuoneista ja yksi neuvottelutila alle -70 dBm:n signaalivoimakkuuden. Nämä tilat ovat opettajien työhuoneet 551 - 555 ja työhuoneet 560 - 566 sekä neuvottelutila 550. Muuten viidennen kerroksen verkon toteutus on kuuluvuuden kannalta hyvällä tasolla.

Lisäksi Ekahau Site Survey -ohjelmistolla tuotettiin liitteet 16 - 20, joista selviää tukiasemien sijainti rakennuksessa sekä tukiasemien käyttämät kanavat. Näillä tiedoilla voidaan analysoida WLAN verkon kanvasuunnittelua.

Suurelta osin IT-Dynamon WLAN verkko on myös kanvasuunnittelun kannalta kunnossa. Ainoat vierekkäiset ja päällekkäin olevat kanavat löytyvät 3.kerroksesta. Vierekkäisissä tiloissa 304 ja 306 on molemmissa tukiasema joka on määritetty toimimaan 2,4 GHz:n taajuusalueella ja kanavalla 11. Lisäksi samanlainen tilanne on tiloissa 310 ja 311, joissa molemmissa on tukiasemat määritelty toimimaan 2,4 GHz:n taa-

juusalueella ja kanavalla 6. Näissä tapauksissa on mahdollista, että samalla kanavalla toimivien tukiasemien liikenne aiheuttaa häiriöitä toisilleen.

## 7.2 Suorituskykymittaus

Suorituskykymittauksissa mitattiin WLAN-verkon suorituskykyä kuudessa eri pisteessä IT-Dynamon rakennuksessa. Mittauksiin pyrittiin valitsemaan heikon suorituskyvyn pisteitä kuuluvuusmittauksien ja käyttäjähaastattelujen pohjalta. Lisäksi mukaan otettiin kaksi hyvän suorituskyvyn pistettä vertailupohjaksi. Nämä kaksi hyvän suorituskyvyn pistettä on analysoitu ensimmäiseksi.

Parhaan suorituskyvyn piste oli toisen kerroksen neuvottelutila Visa eli huone 210. Tässä mittauksessa oltiin noin 1,5 metrin etäisyydellä näkyvässä olevasta tukiasemasta. Kymmenen mittauksen keskiarvotulokset tässä mittauskohteessa olivat latausnopeus 41,44 Mb/s ja lähetysnopeus 69,46 Mb/s sekä viive 6,6 ms. Tulokset olivat erinomaisia ja tällä suorituskyvyllä työskentely onnistuu ongelmitta.

Muissa mittauspisteissä tukiasemat ovat huomattavasti kauempana mittauspaikasta, eikä suoraa näköyhteyttä tukiasemaan ole. Näin ollen muilta mittauspaikoilta ei voitu odottaa vastaavia tuloksia.

Toinen hyvän suorituskyvyn mittauspiste oli neljännen kerroksen käytävä tilan 421 edustalla. Tästä pisteestä lähin tukiasema on noin 5 metrin etäisyydellä ja yhden väliseinän takana. Pisteeseen kymmenen mittauksen keskiarvotuloksissa päästiin puoleen siitä mitä parhaan suorituskyvyn pisteessä saavutettiin. Arvioin tuloksen puolittumisen johtuvan signaalin vaimentumisesta etäisyyden ja väliseinän vuoksi. Tässäkin pisteessä suorituskyky riittää työskentelyyn, mutta lataus- ja lähetysnopeuden suurempi vaihtelu saattaa aiheuttaa ongelmia reaaliaikasovelluksissa.

Kaksi heikomman suorituskyvyn pistettä, jotka oli valittu mukaan käyttäjähaastattelujen perusteella, olivat ruokala ja viidennen kerroksen huoneen 555 edusta. Näissä

pisteissä päästiin kohtuullisiin tuloksiin, jotka olivat noin kolmasosa siitä mitä parhaan suorituskyvyn pisteessä saavutettiin. Ruokalassa mittaus suoritettiin aivan ulkoseinän vieressä hätäpoistumistien kohdalla. Etäisyys tukiasemaan oli noin 10 metriä ja välissä on useita kerroksia kevytrakenteista väliseinää. Tältä osin ruokalan tulokset olivat odotettua paremmat. Myös viidennen kerroksen huoneen 555 edustalla päästiin odotettua parempiin tuloksiin. Vaikka etäisyys lähimpään tukiasemaan olikin lähes 15 metriä. Myös näissä pisteissä suorituskyvyn pitäisi riittää työskentelyyn. Tosin tulosten suuresta vaihteluvälisestä voidaan huomata, että ajoittaista hitautta näissä pisteissä esiintyy.

Toiseksi heikoimman suorituskyvyn piste oli viidennen kerroksen huoneen 560 edusta, joka otettiin mukaan kuuluvuusmittausten perusteella. Pisteessä etäisyys tukiasemaan oli noin 15 metriä ja välissä oli useita väliseinärakenteita. Tässä pisteessä suorituskyky tippui lähes kymmenekseen parhaan suorituskyvyn pisteestä. Suorituskyvyn raju pudotus johtuu runsaasta määrästä signaalia vaimentavia rakenteita tukiaseman ja mittauspisteen välissä. Näin alhaisilla suorituskykyarvoilla on jo vaikutusta työskentelyyn, joka saattaa hidastua ajoittain merkittävästi.

Kaikista heikoimman suorituskyvyn piste oli toisen kerroksen tila 213, jossa mittaus tehtiin ulkoseinällä olevan ikkunan vieressä. Lähin tukiasema on yli kymmenen metrin päässä ja välissä on runsaasti rakenteita. Täällä tulokset laskivat yli kymmenekseen parhaan suorituskyvyn pisteen tuloksista. Ajoittain siirtonopeudet olivat alle 1 Mb/s:n molempiin suuntiin. Tällaiset nopeudet tekevät tehokkaasta työskentelystä käytännössä mahdotonta.

### **7.3 Reaaliaika- ja viivemittaus**

3.kerroksessa mittauksessa kävelin mittaustietokoneen kanssa luokan 327 edustalta käytävän toiseen päähän aulatilaa johtavien lasiovien eteen ja takaisin. Reitti on esitetty liitteessä 24 ja viivemittauksen tulokset kaaviomuodossa liitteessä 26. Tällä reitillä on WLAN-verkossa selkeä vaihdos tukiasemasta toiseen luokan 331 edustalla.



Viivemittauksessa on huomattavia piikkejä viiveessä noin 25-30 metrin kohdalla. Nämä suuremmat viiveet luultavasti johtuvat tukiasemasolujen vaihtumisesta tällä kohdalla. Näillä kohdilla viive nousi jopa 500-1000 millisekuntiin. Korkeita viiveitä esiintyi jostakin syystä myös aivan aulatilaan johtavan lasioven edessä.

Reaaliaikasovellus eli Skype-videopuhelu ei suuresti reagoinut viiveen vaihteluun matkan aikana. Skype skaalasi kuvaa heikompi laatuiseksi noin 25-40 metrin kohdilla. Näissä kohdissa kuvassa ja äänessä esiintyi myös jonkin verran pätkimistä. Ongelmien uskon johtuvan tukiasemasolun vaihdoksesta. Muutoin videopuhelu toimi yllättävän hyvin koko reitin ajan ja ääni sekä videokuva välittyivät molempiin suuntiin.

Viidennen kerroksen mittauksissa kuljettiin kaksi reittiä, jotka on esitetty liitteessä 25. Viivemittauksen tulokset on esitetty kaavion muodossa liitteessä 27. Ensimmäinen reitti kulki huoneen 569 edustalta huoneen 560 edustalle. Tällä reitillä todettiin kuuluvuusmittauksissa heikkoa signaalinvoimakkuutta, joten reitillä epäiltiin myös suuria viiveitä ja ongelmia reaaliaikasovelluksessa.

Ensimmäisen reitin viivemittauksessa viiveet alkoivat nousta 15 metrin kohdalla eli noin huoneen 563 edustalla ja pysyivät korkeina huoneen 560 edustalle saakka. Viiveet nousivat useasti yli 2000 millisekuntiin. Muutoin viiveet pysyivät tavanomaisissa 40 - 200 millisekunnin arvoissa.

Ensimmäisen reitin reaaliaikamittauksessa ongelmat alkoivat viiveen nousun yhteydessä 15 metrin kohdalla. Videokuva pysähtyi ja muutaman sekunnin kuluttua koko puhelu katkesi. Mittauksista voidaan todeta, että tällä alueella reaaliaikasovellusten käyttö on mahdotonta heikosta signaalinvoimakkuudesta johtuen.

Toinen reitti viidennessä kerroksessa kulki huoneen 530 edustalta huoneen 539 eteen. Tämän reitin signaalin voimakkuus pitäisi olla huomattavasti ensimmäistä reittiä paremmalla tasolla.

Toisella reitillä viiveet pysyivätkin pitkään alle 200 millisekunnin tasolla. Kunnes reitin lopussa viive nousi yli 1000 millisekunnin ja tämän jälkeen yhteys WLAN-verkkoon ja tukiasemaan katkesi kokonaan.

Sama tapahtui myös reaaliaikamittauksessa. Yhteys katkesi kokonaan noin 22 metrin kohdalla. Epäilen yhteyden katkeamisen johtuvan edessä olevan ilmastoinnin konehuoneen ja paksun tiiliseinän aiheuttamasta suuresta vaimennuksesta.

## **8 KORJausehdotukset**

Ensisijaisena korjausehdotuksena esitän tukiaseman lisäämistä toisen kerroksen huoneeseen 213. Tällä katettaisiin kuuluvuus koko huoneeseen ja lisäksi käytävän varrella olevaan huoneeseen 212. Tukiaseman lisäämisen vaikutusta kuuluvuuteen on simuloitu Ekahau Site Survey -ohjelmalla liitteessä 16. Kanvasuunnittelun perusteella uusi tukiasema tulisi määrittää käyttämään kanavaa 6, koska samassa kerroksessa viereiset tukiasemat käyttävät kanavia 1 ja 11. Kerrosta ylempää kolmannen kerroksen käytävältä löytyy kanavaa 6 käyttävä tukiasema, mutta se on asennettu kerroksen kattoon ja kuuluvuus ei riitä lattian läpi toiseen kerrokseen asti.

Toinen korjausehdotus on tukiaseman lisääminen viidennen kerroksen käytävälle huoneen 551 eteen. Tällä saataisiin riittävä kuuluvuus huoneisiin 550 - 555 ja 560 - 566 sekä käytävälle huoneiden eteen. Tukiaseman lisäämisen vaikutusta kuuluvuuteen on simuloitu Ekahau Site Survey -ohjelmalla liitteessä 17. Kanvasuunnittelun perusteella uusi tukiasema tulisi määrittää käyttämään kanavaa 11, koska samassa kerroksessa viereiset tukiasemat käyttävät kanavia 1 ja 6.

## 9 POHDINTA

Työssä päästiin tavoitteisiin eli saatiin mitattua WLAN-verkon kuuluvuuskartta Dynamo rakennukselle. Lisäksi saatiin palautetta käyttäjiltä verkon toimivuudesta. Näiden tietojen perusteella löydettiin muutamia huonon kuuluvuuden alueita, joista saatiin vielä lisätietoa suorituskykymittauksilla. Näiden perusteella tehtiin myös simulointeja sekä korjausehdotuksia.

Mittauksista ja korjausehdotuksista raporttoitiin toimeksiantajalle eli Jyväskylän ammattikorkeakoulun tietohallinnolle. Näiden raporttien ja korjausehdotusten pohjalta ei kuitenkaan päädytty vielä toimenpiteisiin, eli tässä tapauksessa lisäämään tukiasemia, koska huonoimman kuuluvuuden alueella rakennuksen toisessa kerroksessa on tulossa muutoksia tilojen käyttötarkoitukseen. Nämä suunnitelmat olivat vielä niin keskeneräisiä, että tukiaseman lisäämiseen toiseen kerrokseen ei haluttu ryhtyä.

Kuuluvuusmittausten aloitusta helpotti huomattavasti se, että Ekahau Site Survey -ohjelmistoon oli jo määritelty rakennuksen pohjapiirros. Myös ohjelmiston käyttösujui ongelmitta kosketusnäytön ja Stylus-kynän avulla. Kuuluvuusmittauksissa ongelmia aiheutti lähinnä mittauskannettavan heikko akun kesto. Täydellä latauksella akku kesti aktiivista mittaamista vain noin tunnin ajan. Lisäksi muutaman kerran mittauksen aikana WLAN-verkon radiosignaali katosi kokonaan mittauskoneesta. Tämä ongelma korjaantui koneen uudelleenkäynnistyksellä. Kuuluvuusmittaukset saatiin toteutettua erinomaisena ajankohtana hiihtolomaviikolla, jolloin lähes koko rakennus oli tyhjillään. Näin saatiin pääsy lähes kaikkiin tiloihin häiritsemättä muiden työnte-koa.

Pidän kuuluvuusmittausten tuloksia luotettavina, koska tiedän Ekahau Site Survey -ohjelmiston olevan laajalti käytössä myös alan ammattilaisten parissa. Myös omalla työpaikallani käytetään Ekahau Site Survey -ohjelmistoa WLAN-verkkojen kartoituksissa. Suorituskykymittauksen tuloksia voidaan myös pitää kohtuullisen luotettavina johtuen siitä, että ne toteutettiin yksinkertaisesti tiedonsiirtonopeutta mittaamalla. Työssä suorituskykymittauksissa otettiin keskiarvo kymmenestä mittaustuloksesta.

Monissa mittauspisteissä tuloksissa oli suurta vaihtelua, joten useammalla kuin kymmenellä mittaustuloksella olisi saatu vieläkin luotettavampia tuloksia.

Reaaliaikamittausten tulokset sen sijaan jättivät toivomisen varaa. Tämä johtui siitä, ettei käytetyssä Skype-ohjelmassa ollut mahdollisuutta tarkkailla videopuhelun laadua riittävästi. Mittauksiin sopisi paremmin ohjelma jossa saisi reaaliaikaista tietoa videopuhelun ruudunpäivitysnopeudesta ja kuvanlaadusta.

Mielestäni rakennuksen WLAN-verkko oli toteutettu kuuluvuuden ja suorituskyvyn osalta hyvin. Ongelmakohtia kuitenkin löytyi osasta toisen ja viidennen kerroksen tiloja. Nämä ongelmat voitaisiin korjata tukiasemien lisäämisellä.

## LÄHTEET

802.11 WLAN Packets and Protocols. N.d. Viitattu 12.03.2014.

[http://www.wildpackets.com/resources/compendium/wireless\\_lan/wlan\\_packets](http://www.wildpackets.com/resources/compendium/wireless_lan/wlan_packets)

Apple Airport Express 802.11n (1st Generation) – Technical Specifications. 2011. Viitattu 23.3.2014 <http://support.apple.com/kb/sp1>

Apple Airport Extreme (5th Generation) – Setup Guide, 2011. Viitattu 23.3.2014

[http://manuals.info.apple.com/MANUALS/1000/MA1576/en\\_US/airport\\_extreme\\_5th\\_gen\\_setup.pdf](http://manuals.info.apple.com/MANUALS/1000/MA1576/en_US/airport_extreme_5th_gen_setup.pdf)

Bartz, R. 2012. CWTS- Certified Wireless Technology Specialist Official Study Guide. Sähköinen kirja Books24x7 palvelussa.

Coleman, D. & Westcott, D. 2009. CWNA Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide. Sähköinen kirja Books24x7 palvelussa.

Coleman, D. & Westcott, D. 2012. CWNA Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide, Third Edition. Sähköinen kirja Books24x7 palvelussa.

Dean, T. 2013. CompTIA Network+ N10-005 In Depth. Sähköinen kirja Books24x7 palvelussa.

Ekahau About Ekahau Wi-Fi Design Tools. N.d. Viitattu 8.3.2014

<http://www.ekahau.com/wifidesign/about>

Ekahau The history of Ekahau Site Survey 2002-2013. N.d. Viitattu 8.3.2014

<http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-site-survey#!overview-0>

Ekahau Wi-Fi Infographic: Best Practices for WLAN Design. N.d. Viitattu 26.3.2014

<http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-site-survey>

Electriciantraining Radiation Pattern of a Dipole. N.d. Viitattu 15.3.2014

[http://electriciantraining.tpub.com/14182/css/14182\\_186.htm](http://electriciantraining.tpub.com/14182/css/14182_186.htm)

Geier, J. 2010. Designing and Deploying 802.11n Wireless Networks. Indianapolis: Cisco Press.

Geier, J. 2005. Langattomat verkot perusteet. Helsinki: Edita Prima.

Granlund, K. 2001. Langaton Tiedonsiirto. Porvoo: WSOY.

Granlund, K. 2007. Tietoliikenne. Porvoo: WSOY.

Hakala, M. & Vainio, M. 2005. Tietoverkon rakentaminen. Porvoo: WSOY.

Microsoft TechNet Using Ping Command, 2006. Viitattu 25.3.2014  
[http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc737478\(v=ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc737478(v=ws.10).aspx)

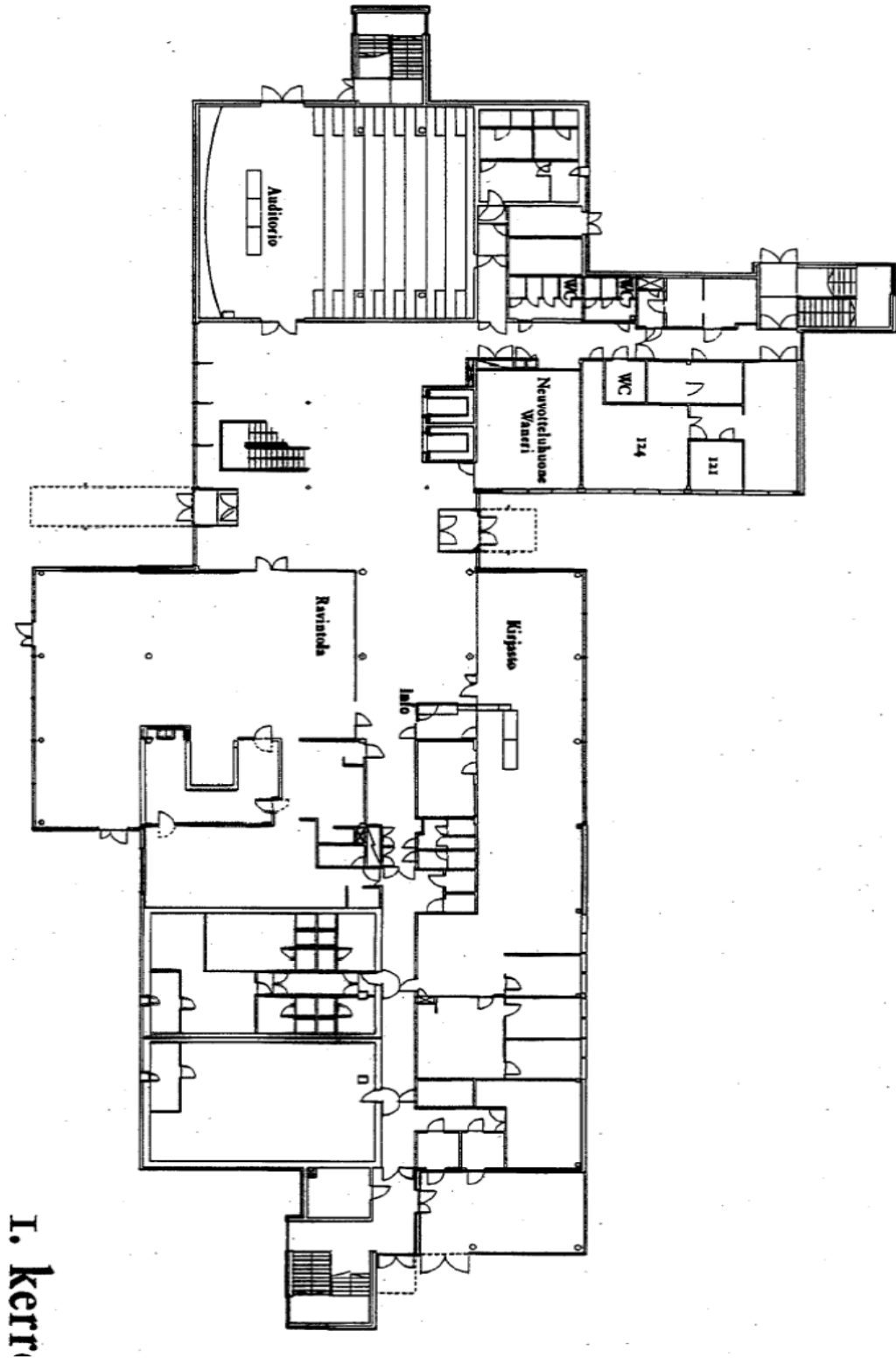
Perahia, E. & Stacey, R. 2013. Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac, Second Edition. Sähköinen kirja Books24x7 palvelussa.

Puska, M. 2005. Langattomat lähiverkot. Helsinki: Talentum.

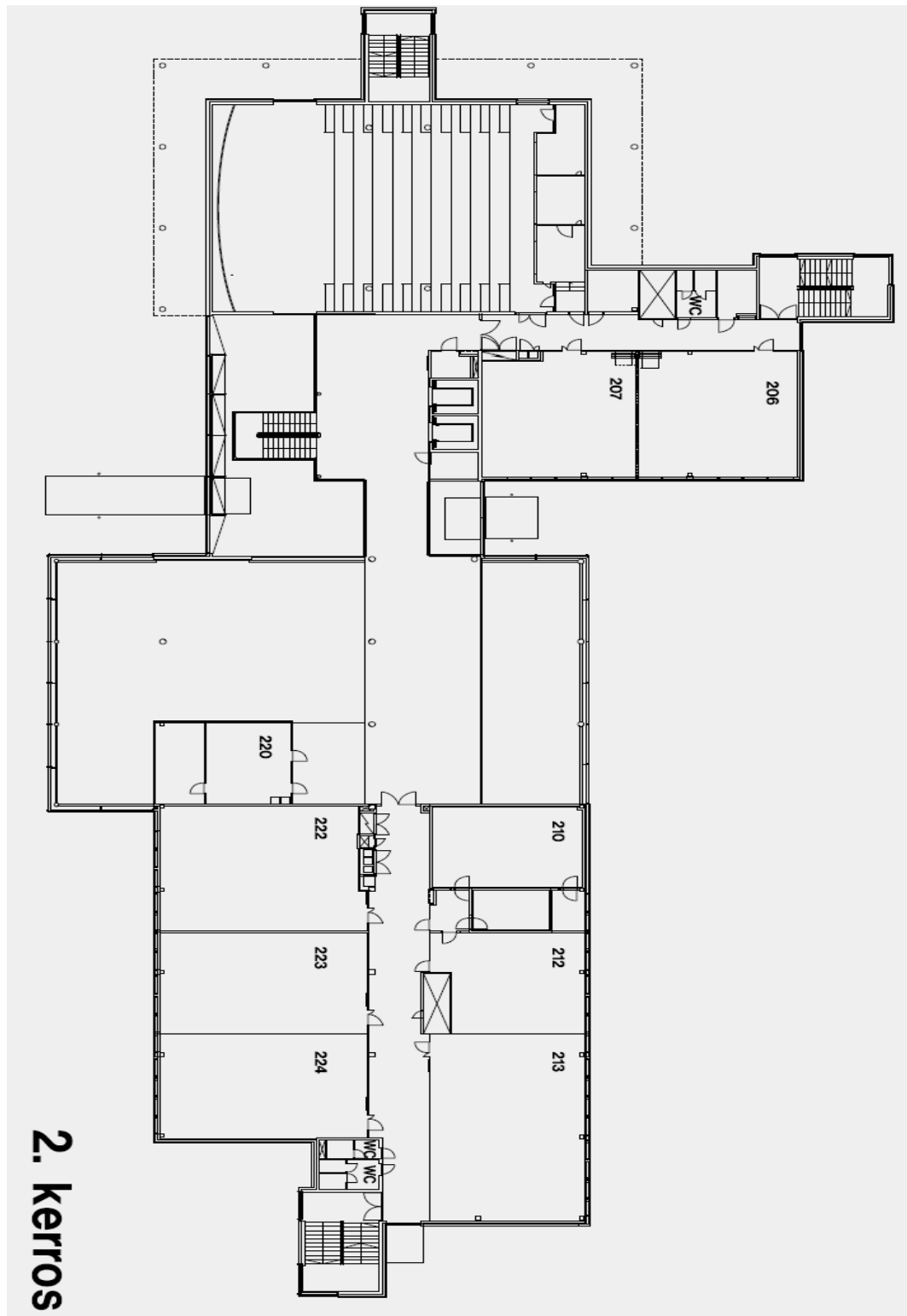
Speedtest.net About Ookla Speedtest. N.d. Viitattu 13.03.2014  
<http://www.speedtest.net/about.php>

## LIITTEET

## 9.1 Liite 1. IT-Dynamon 1. kerroksen pohjapiirros

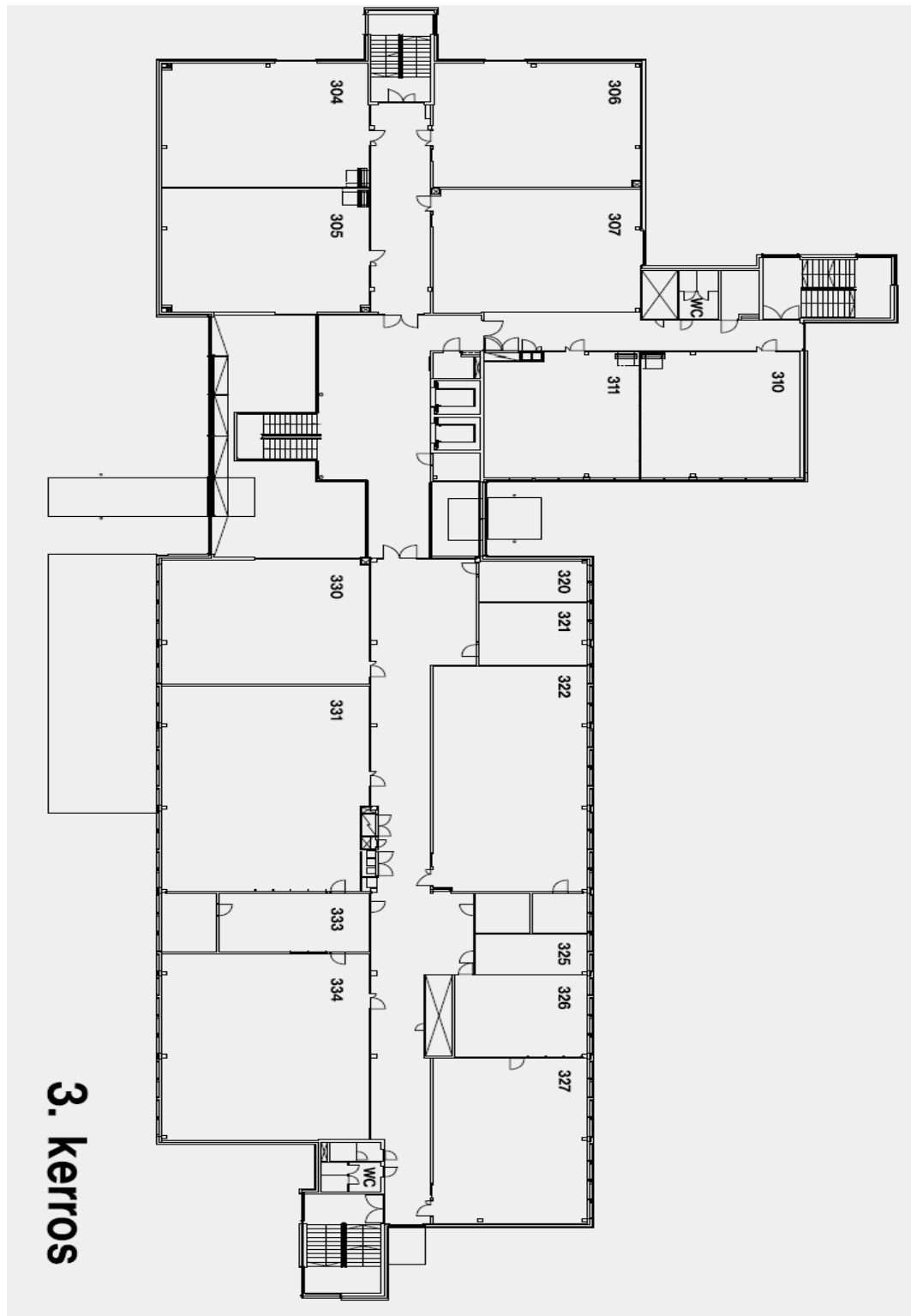


## 9.2 Liite 2. IT-Dynamon 2. kerroksen pohjapiirros

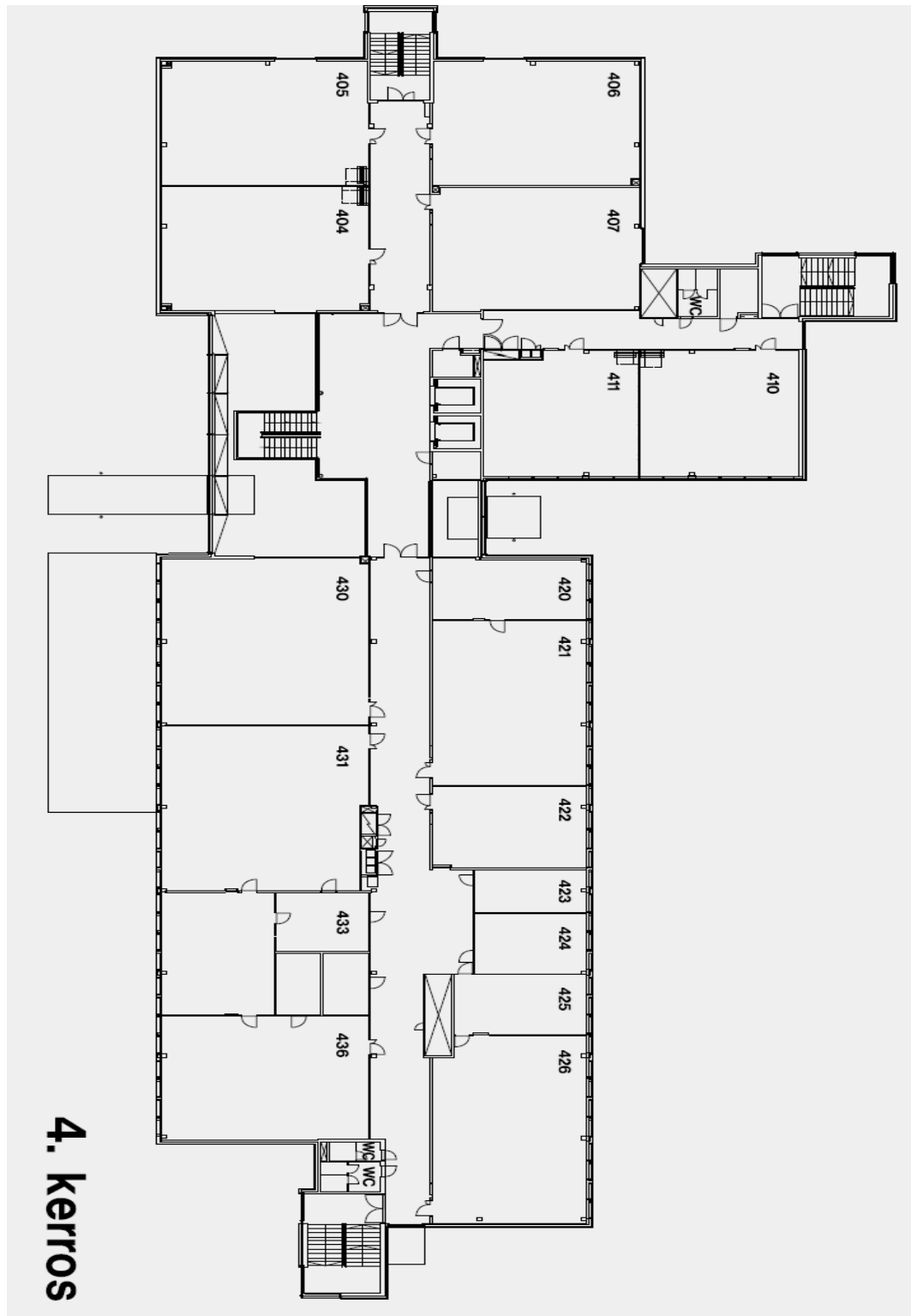




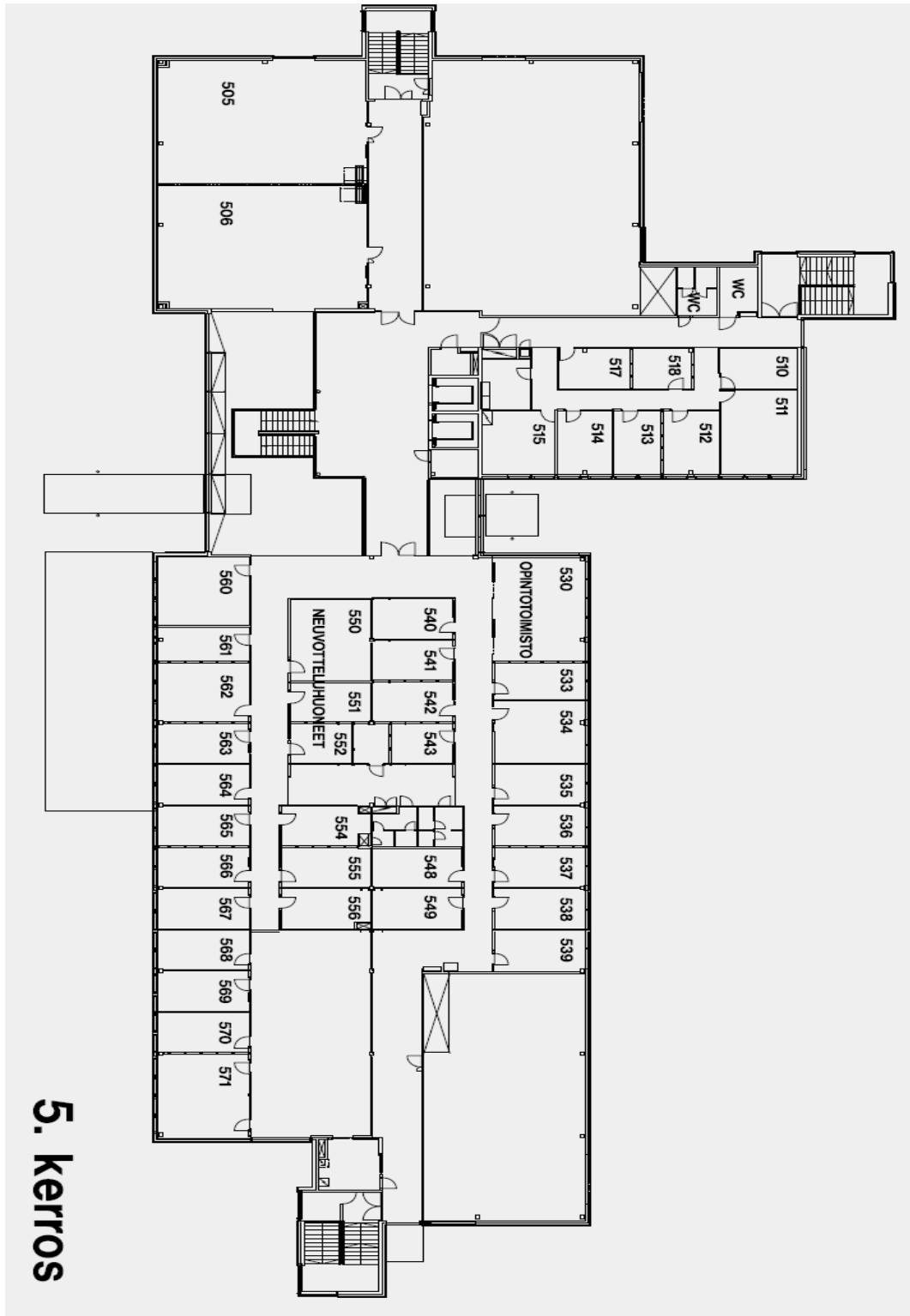
## 9.3 Liite 3. IT-Dynamon 3. kerroksen pohjapiirros



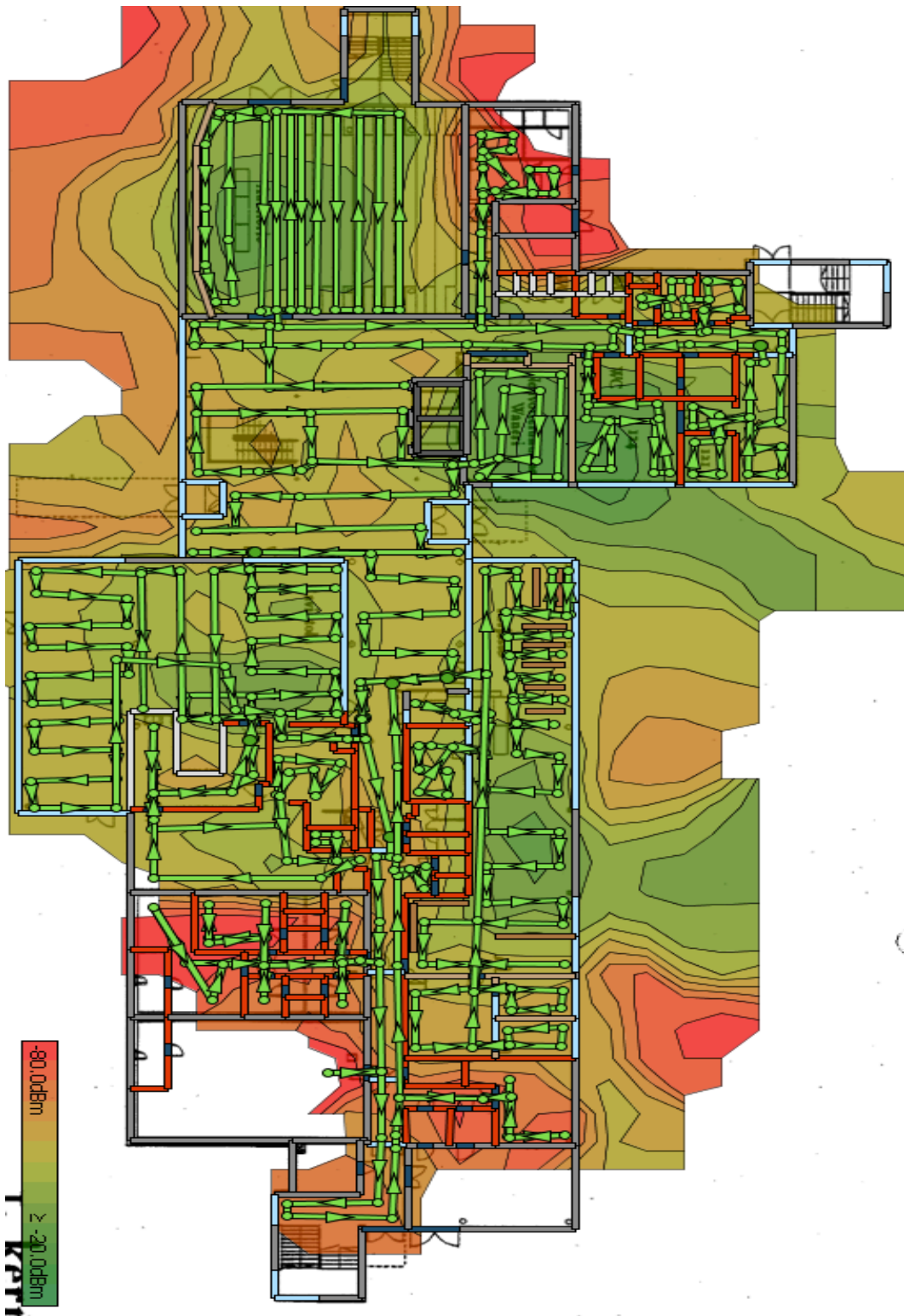
## 9.4 Liite 4. IT-Dynamon 4. kerroksen pohjapiirros



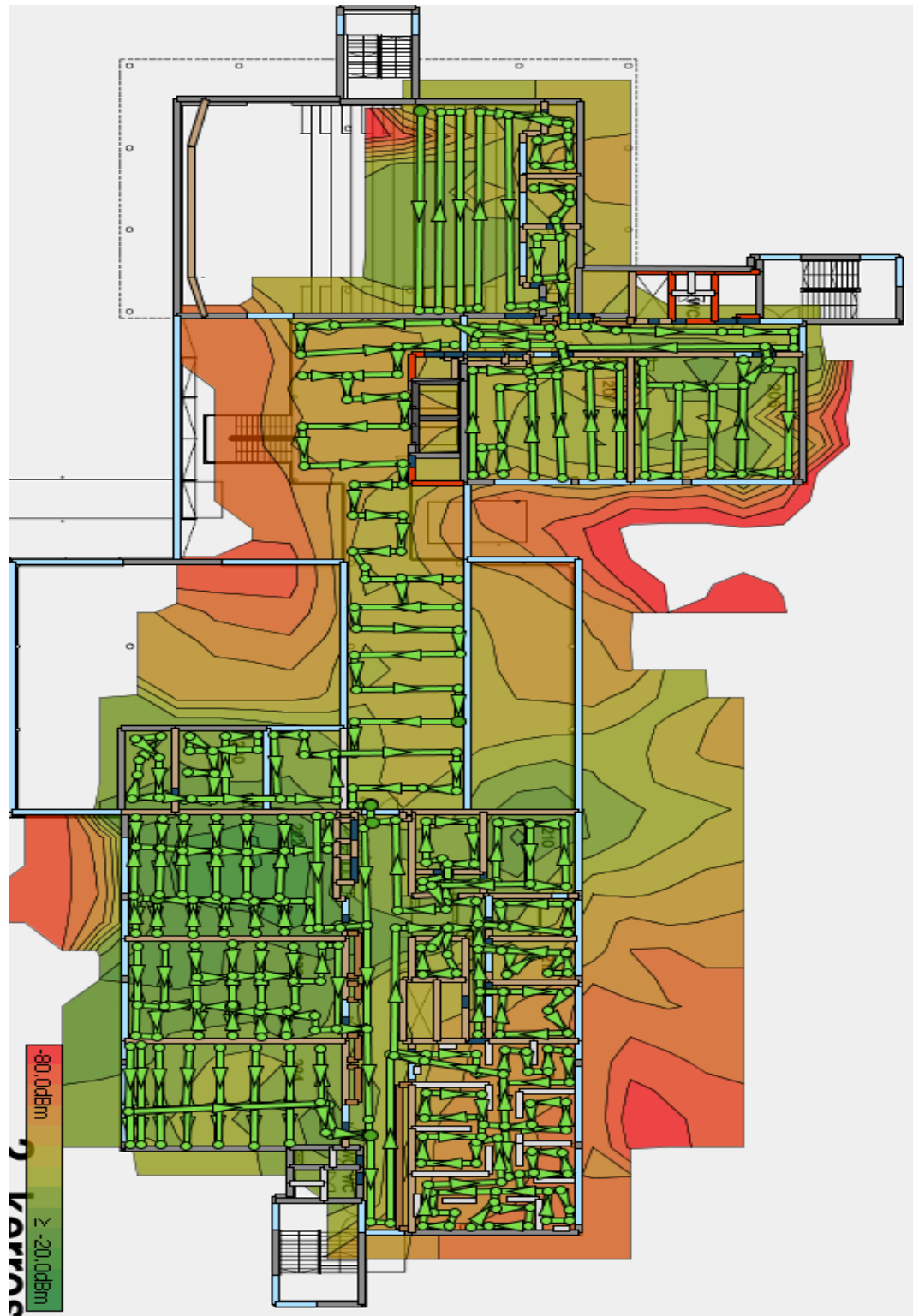
## 9.5 Liite 5. IT-Dynamon 5. kerroksen pohjapiirros



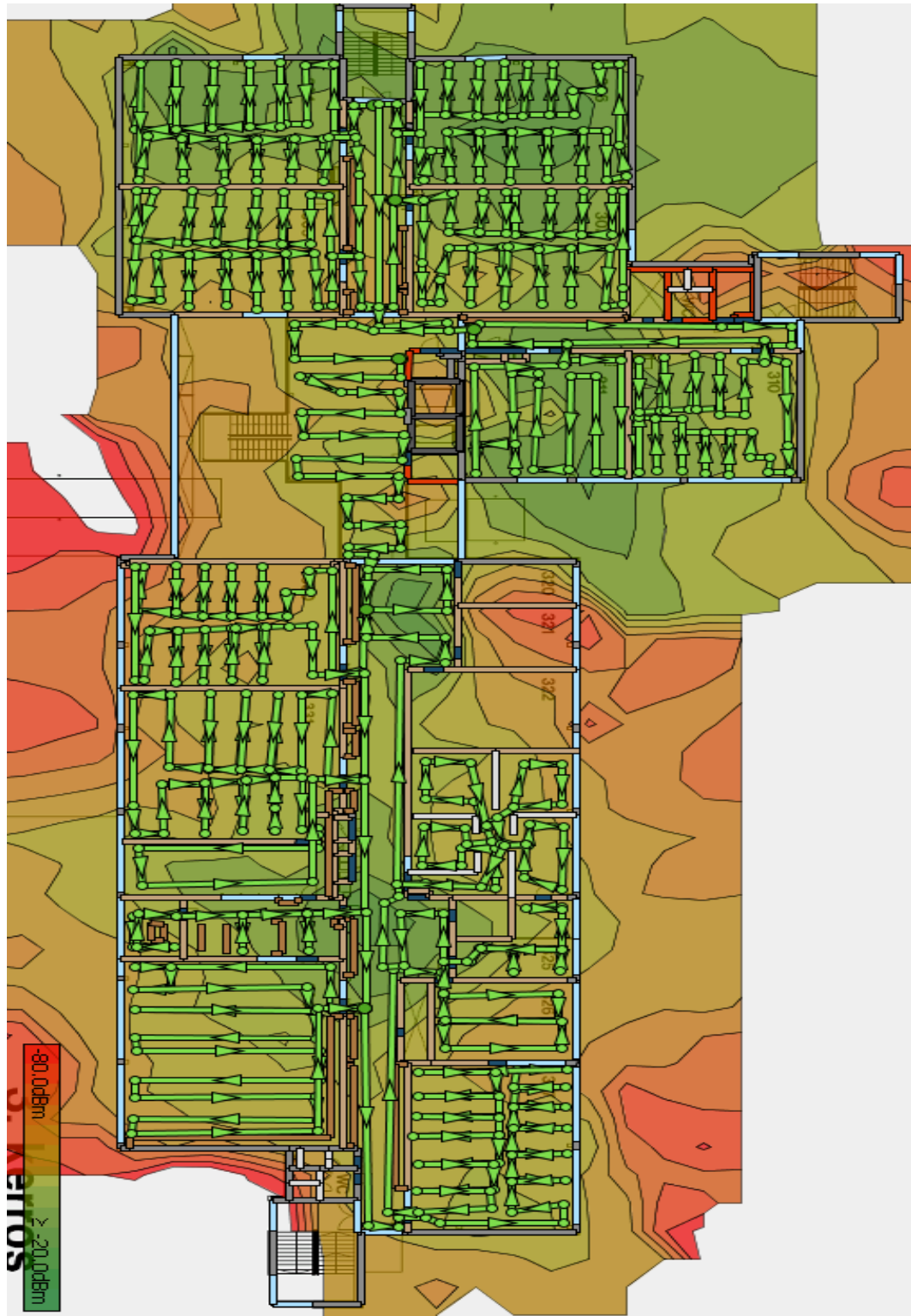
## 9.6 Liite 6. Ensimmäisen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti



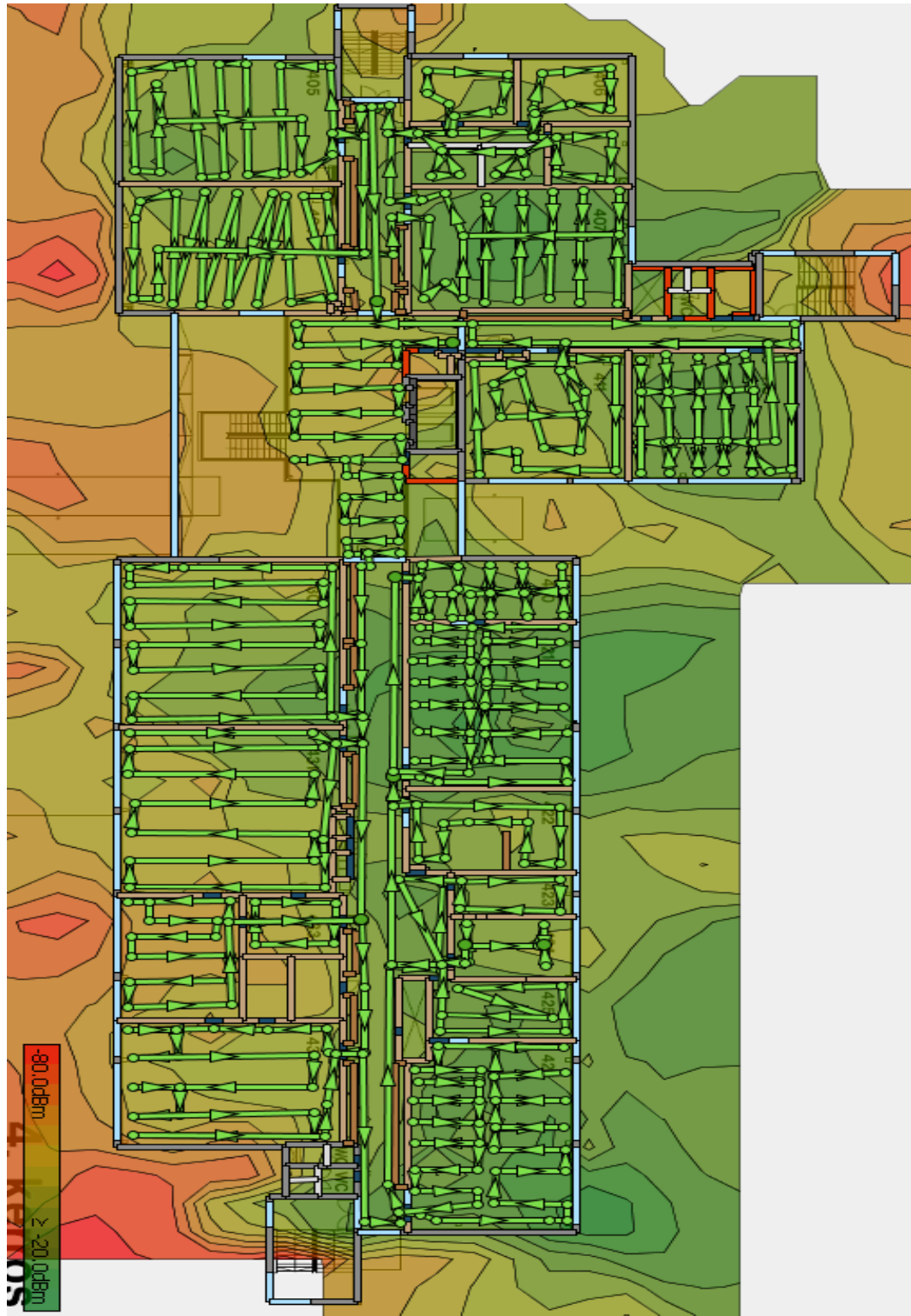
## 9.7 Liite 7. Toisen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti



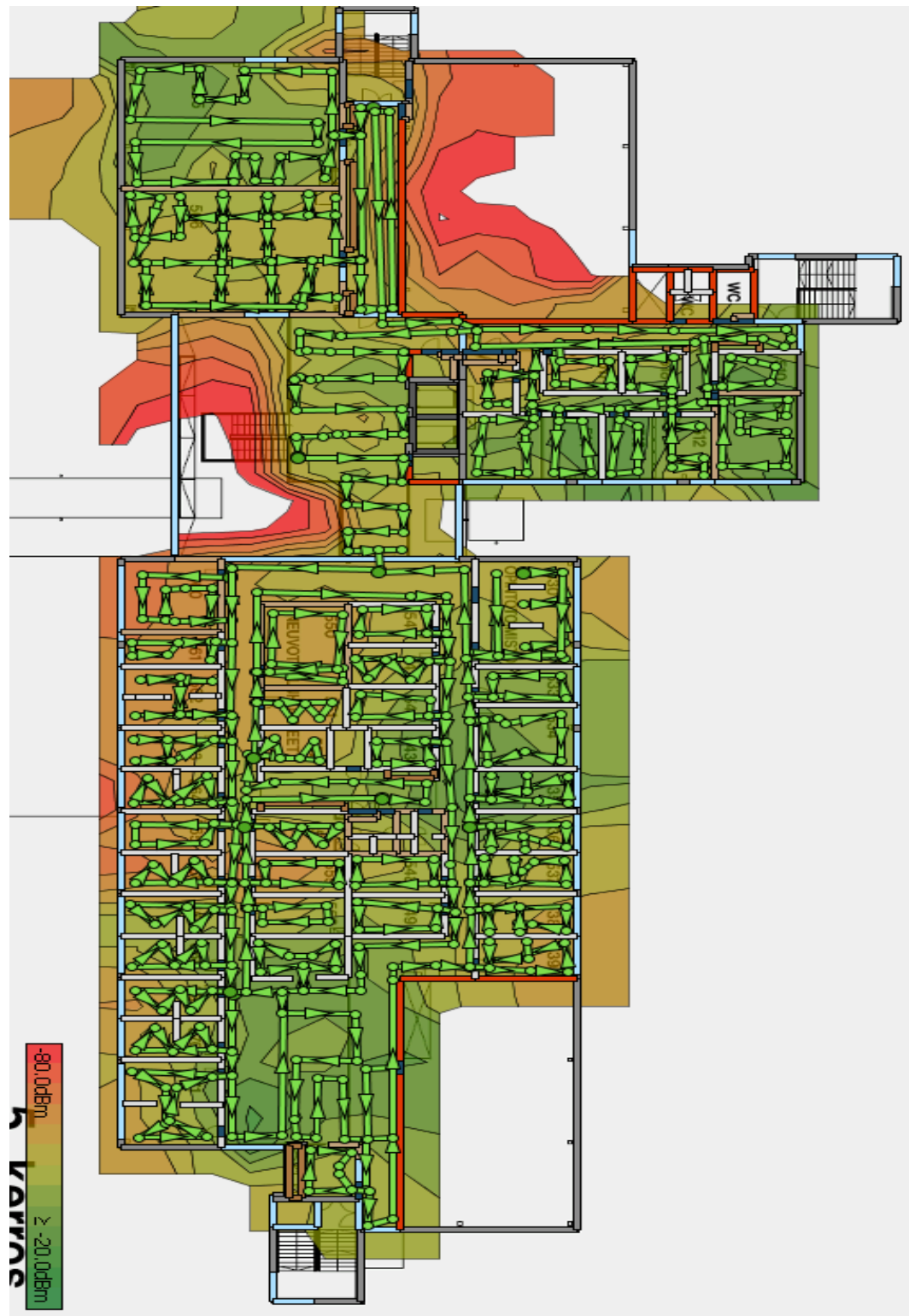
## 9.8 Liite 8. Kolmannen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti



## 9.9 Liite 9. Neljännen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti

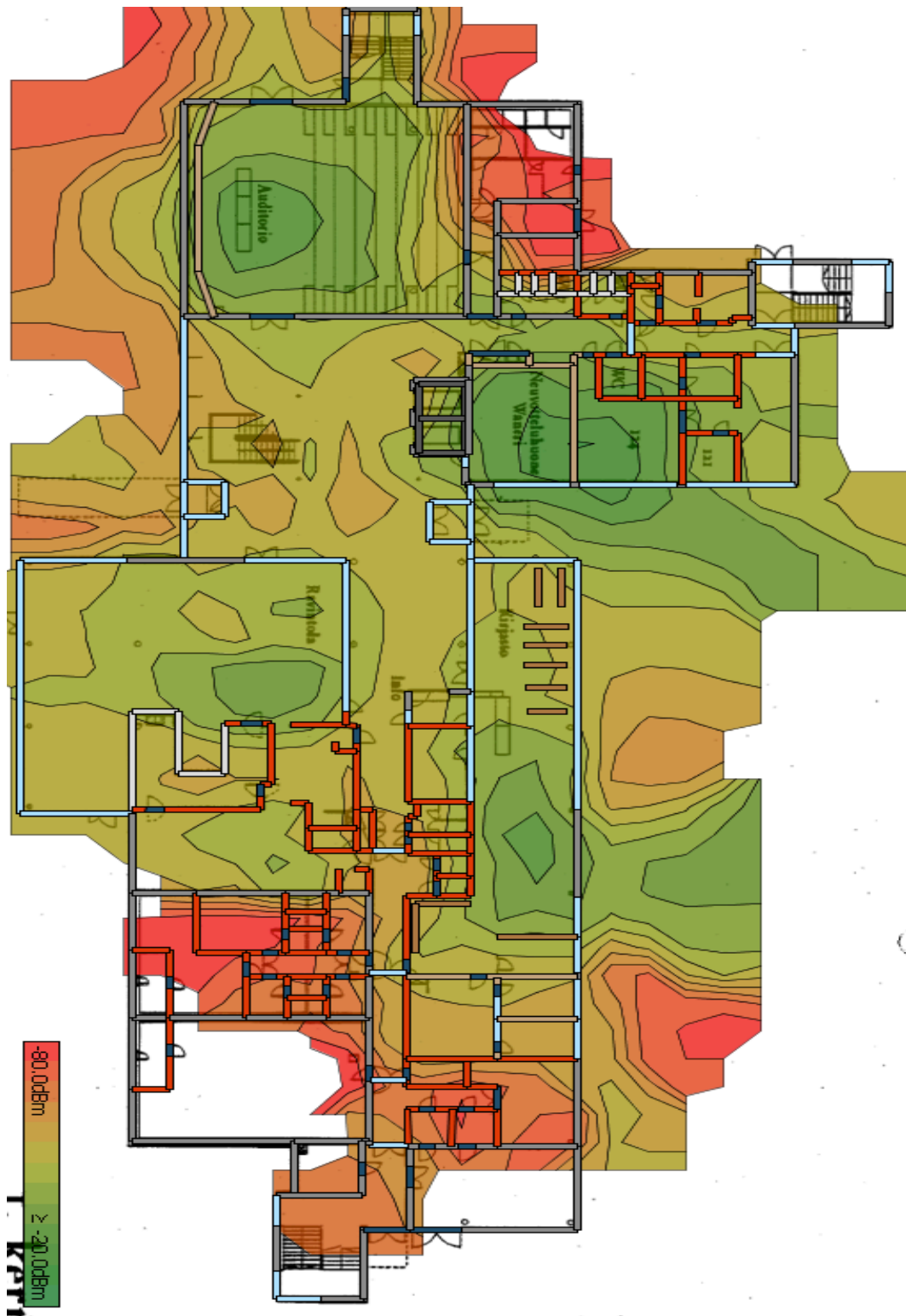


9.10 Liite 10. Viidennen kerroksen kuuluvuusmittauksessa kuljettu reitti

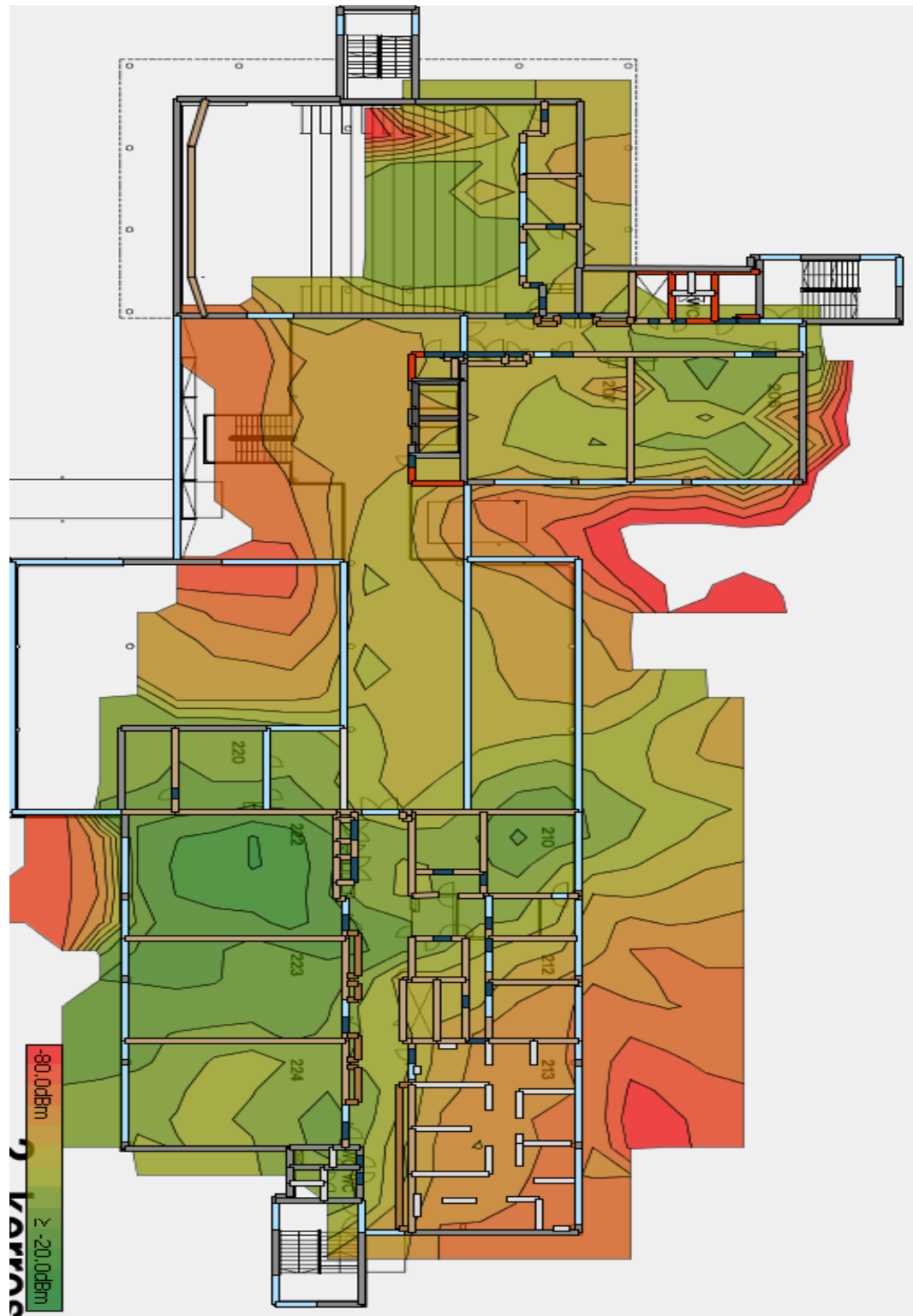




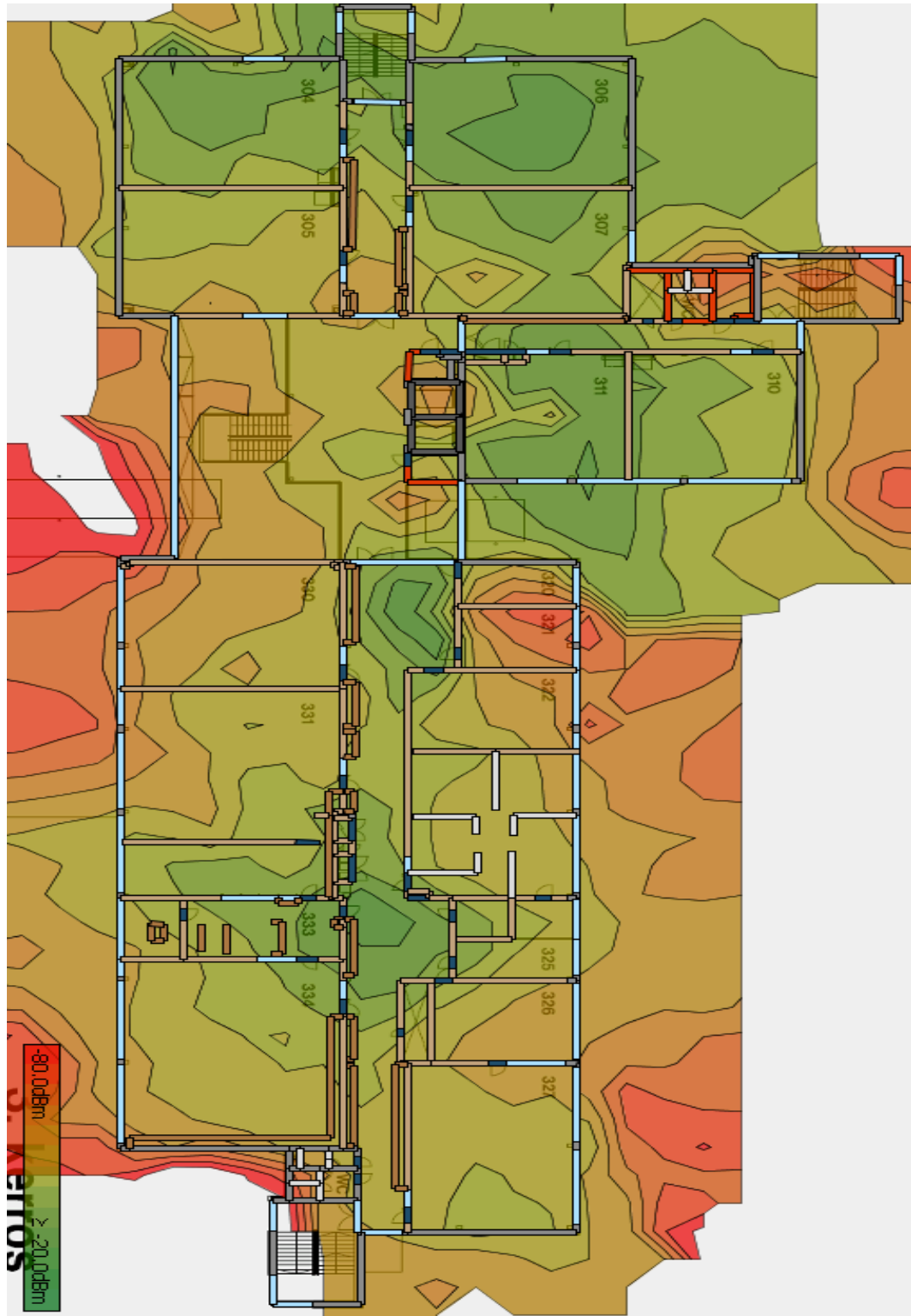
## 9.11 Liite 11. Ensimmäisen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta



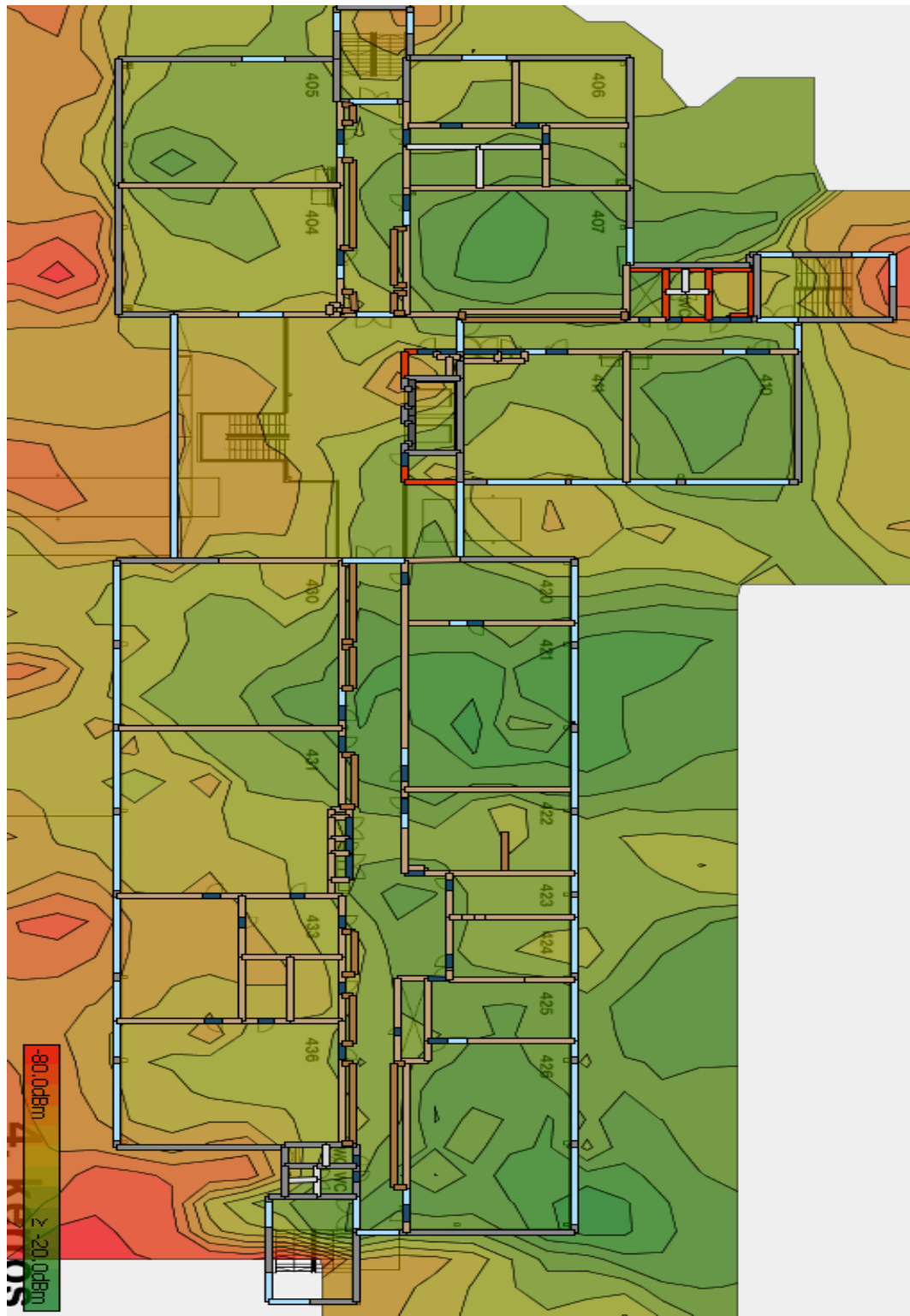
## 9.12 Liite 12. Toisen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta



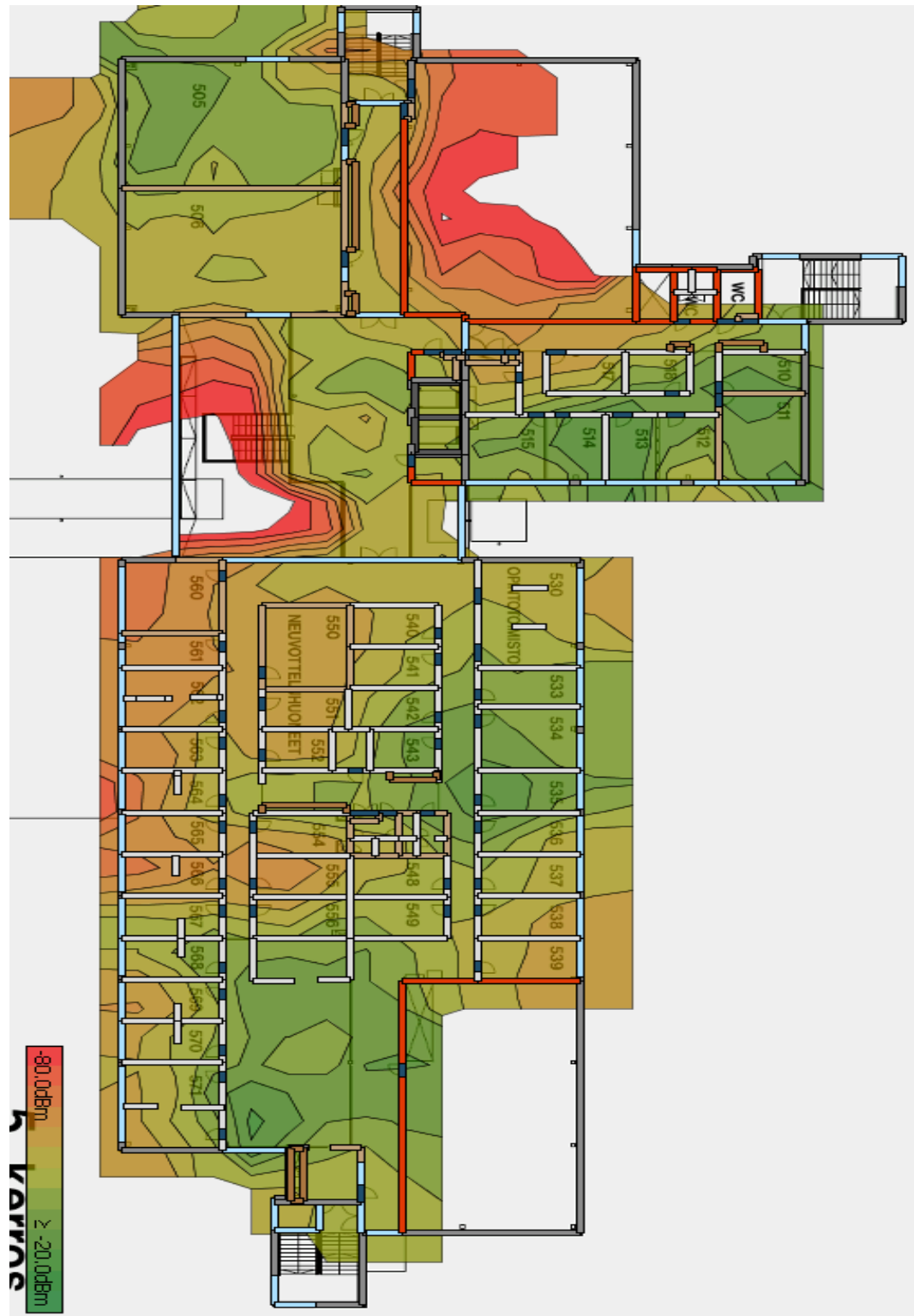
## 9.13 Liite 13. Kolmannen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta



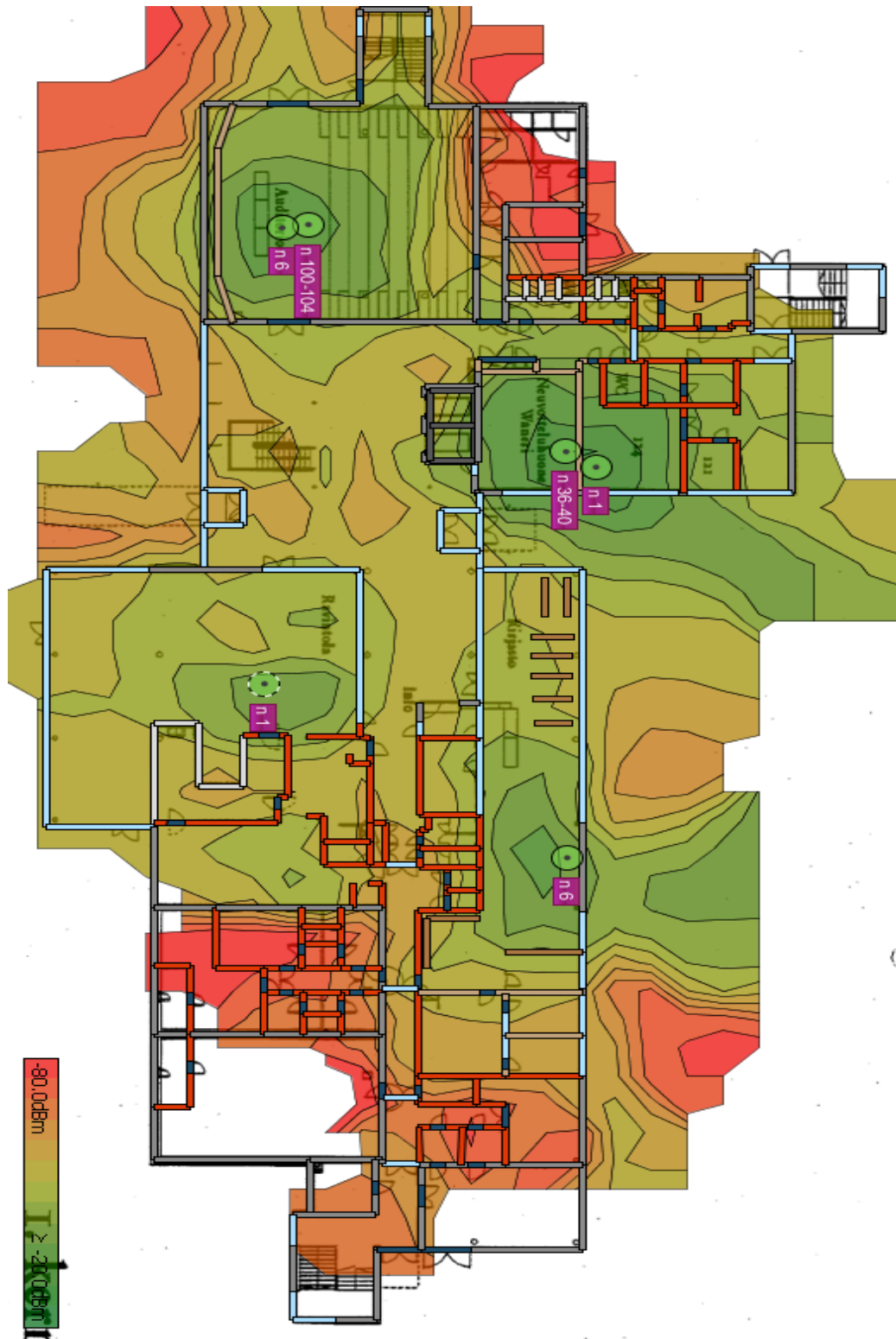
## 9.14 Liite 14. Neljännen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta



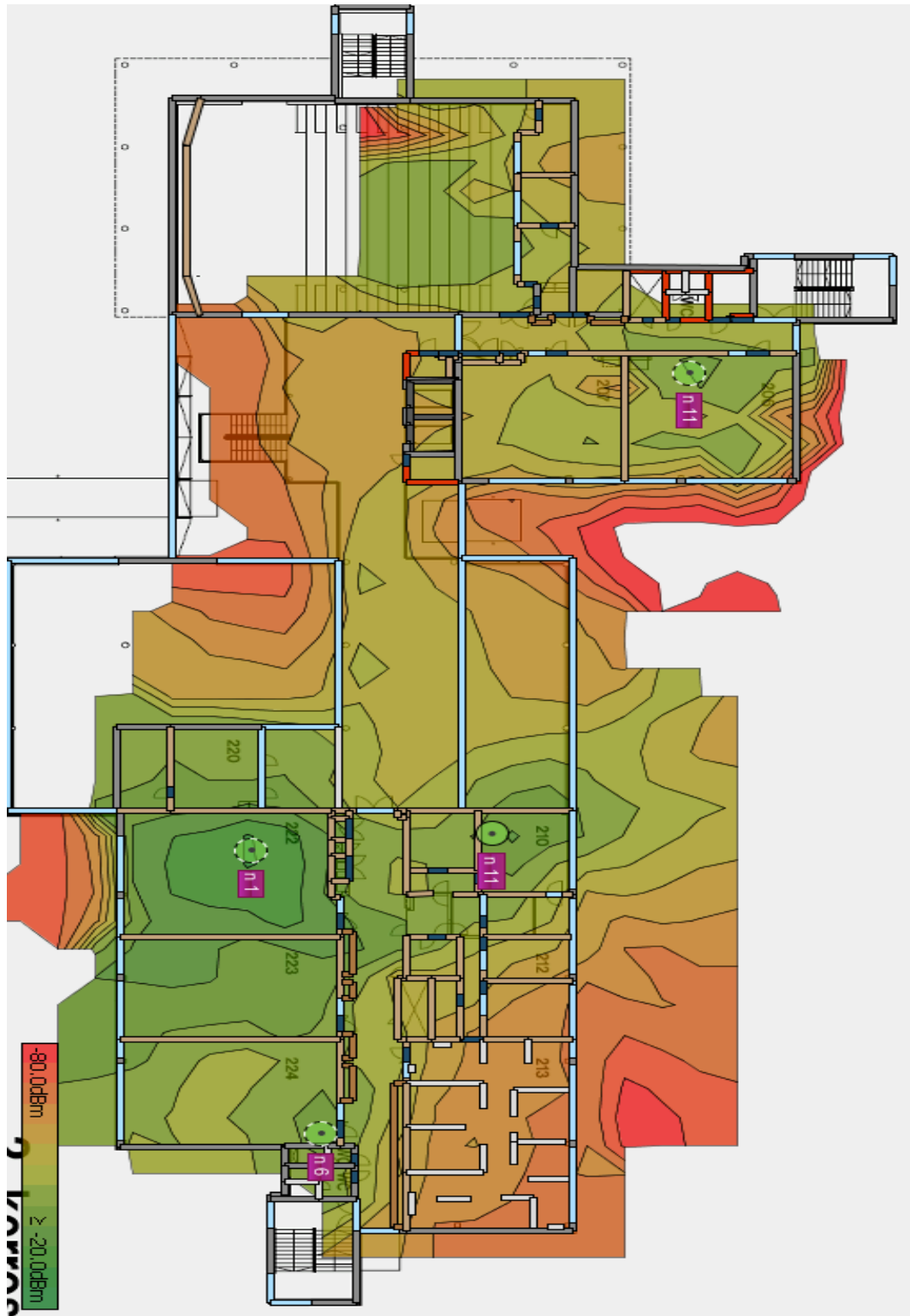
## 9.15 Liite 15. Viidennen kerroksen mitattu kuuluvuuskartta



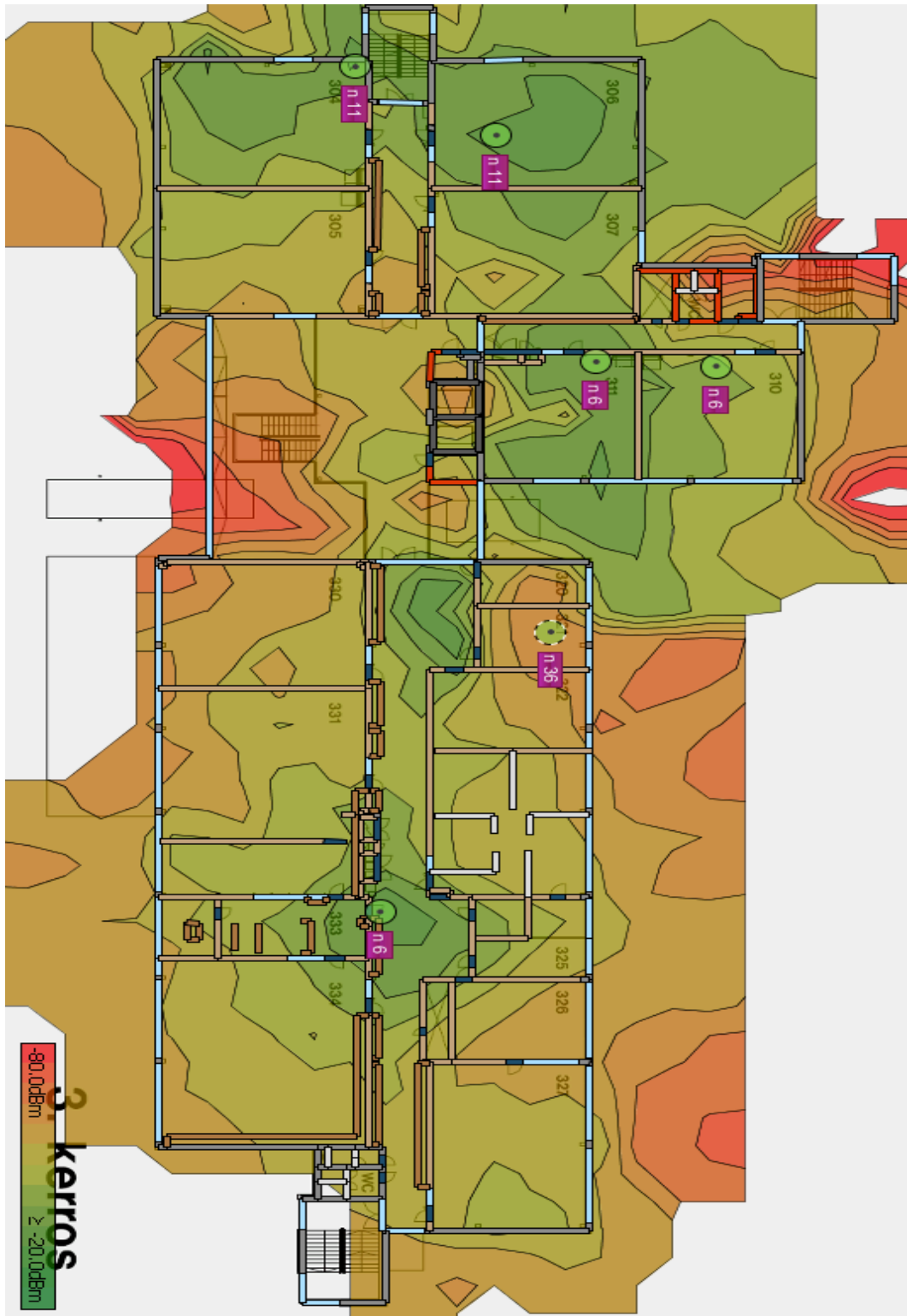
9.16 Liite 16. Ensimmäisen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat



## 9.17 Liite 17. Toisen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat

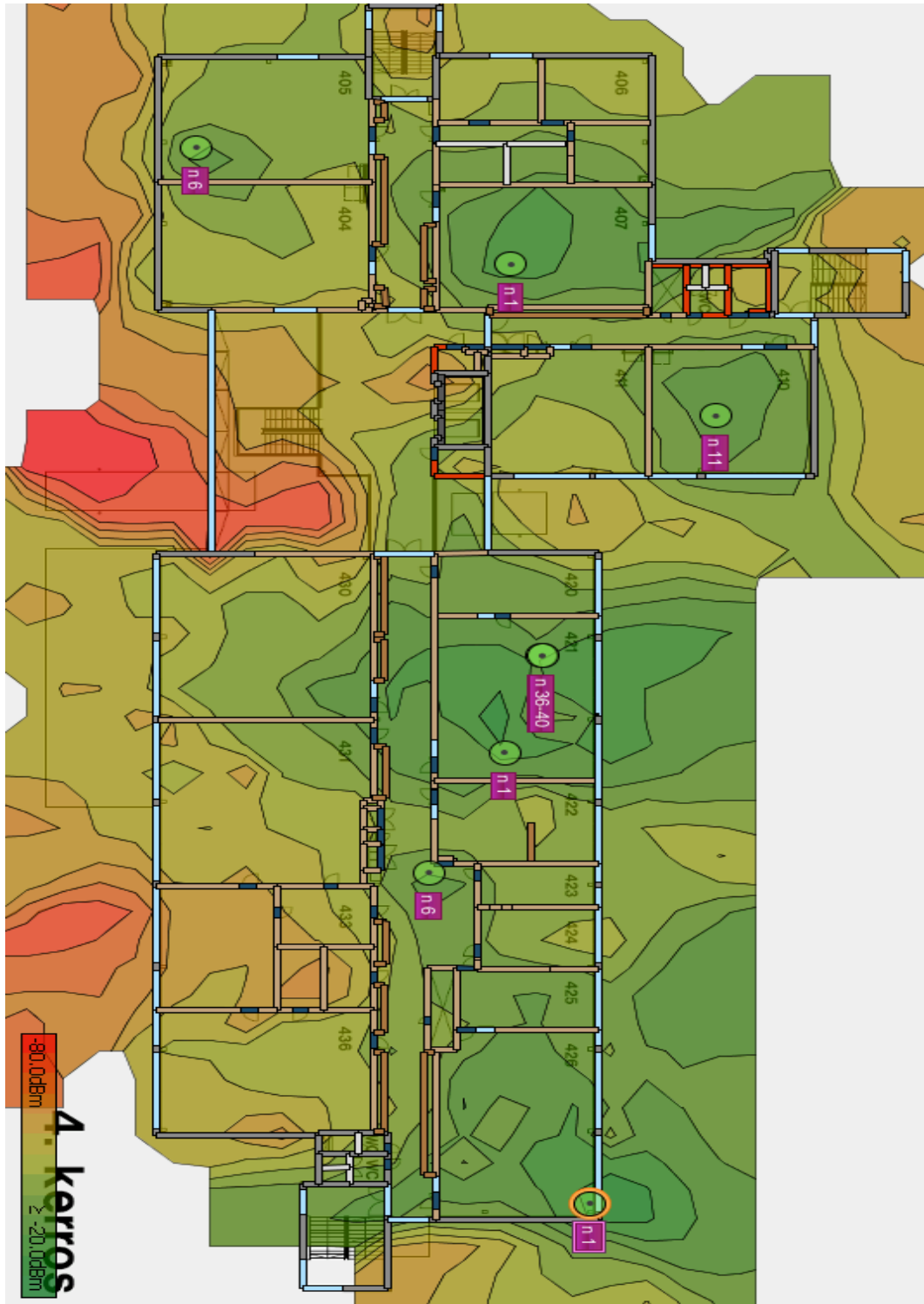


### 9.18 Liite 18. Kolmannen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat

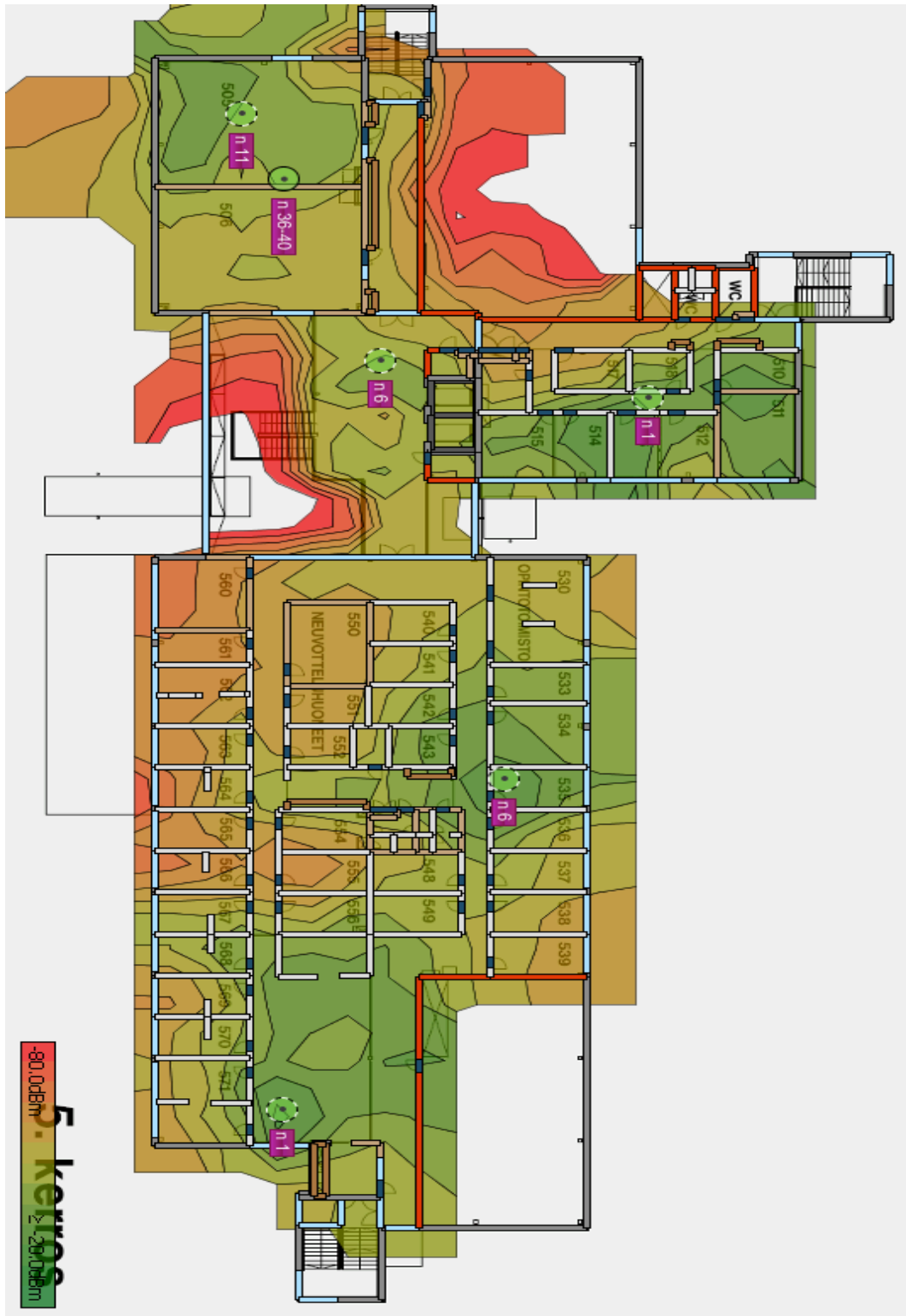




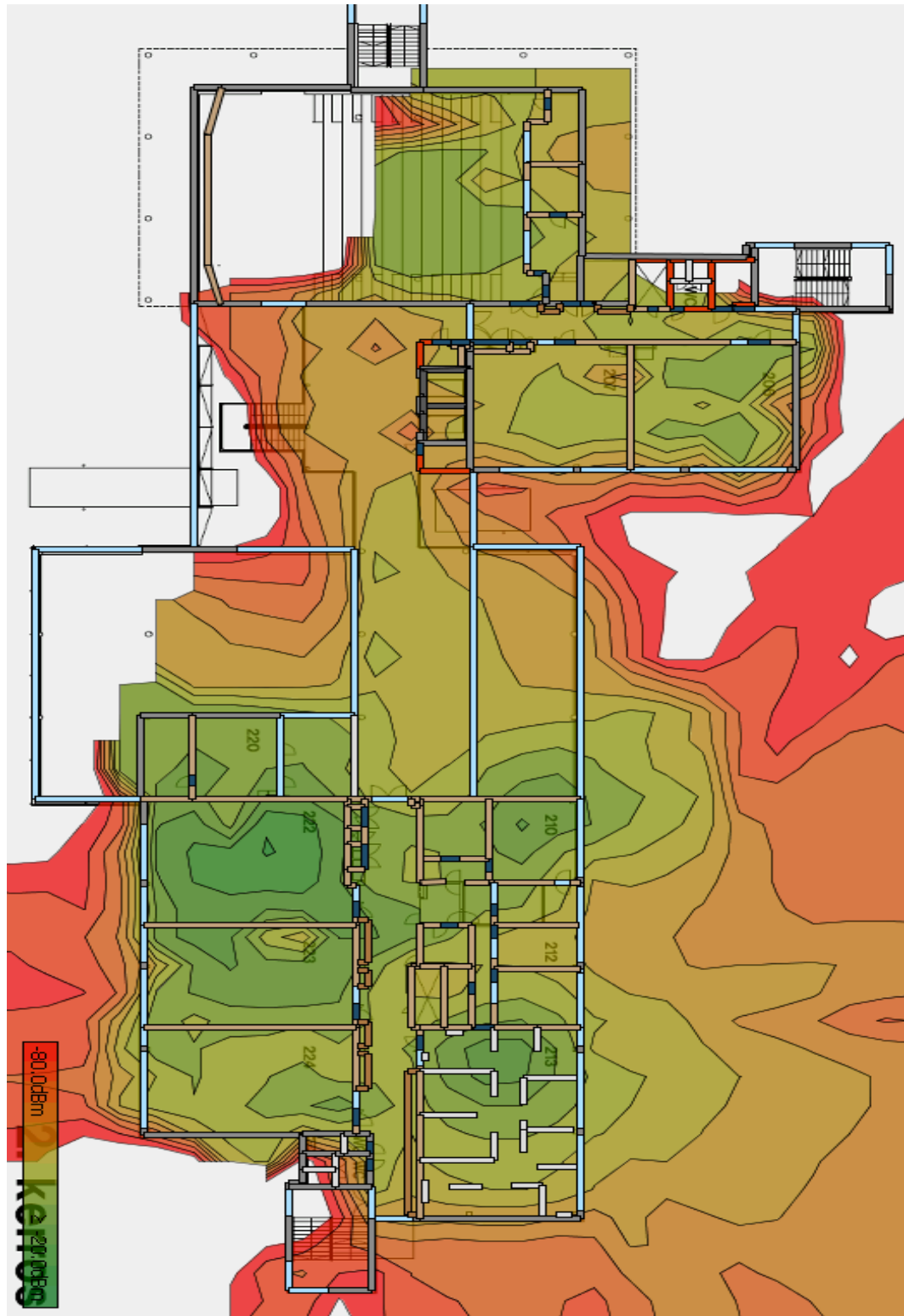
9.19 Liite 19. Neljännän kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat



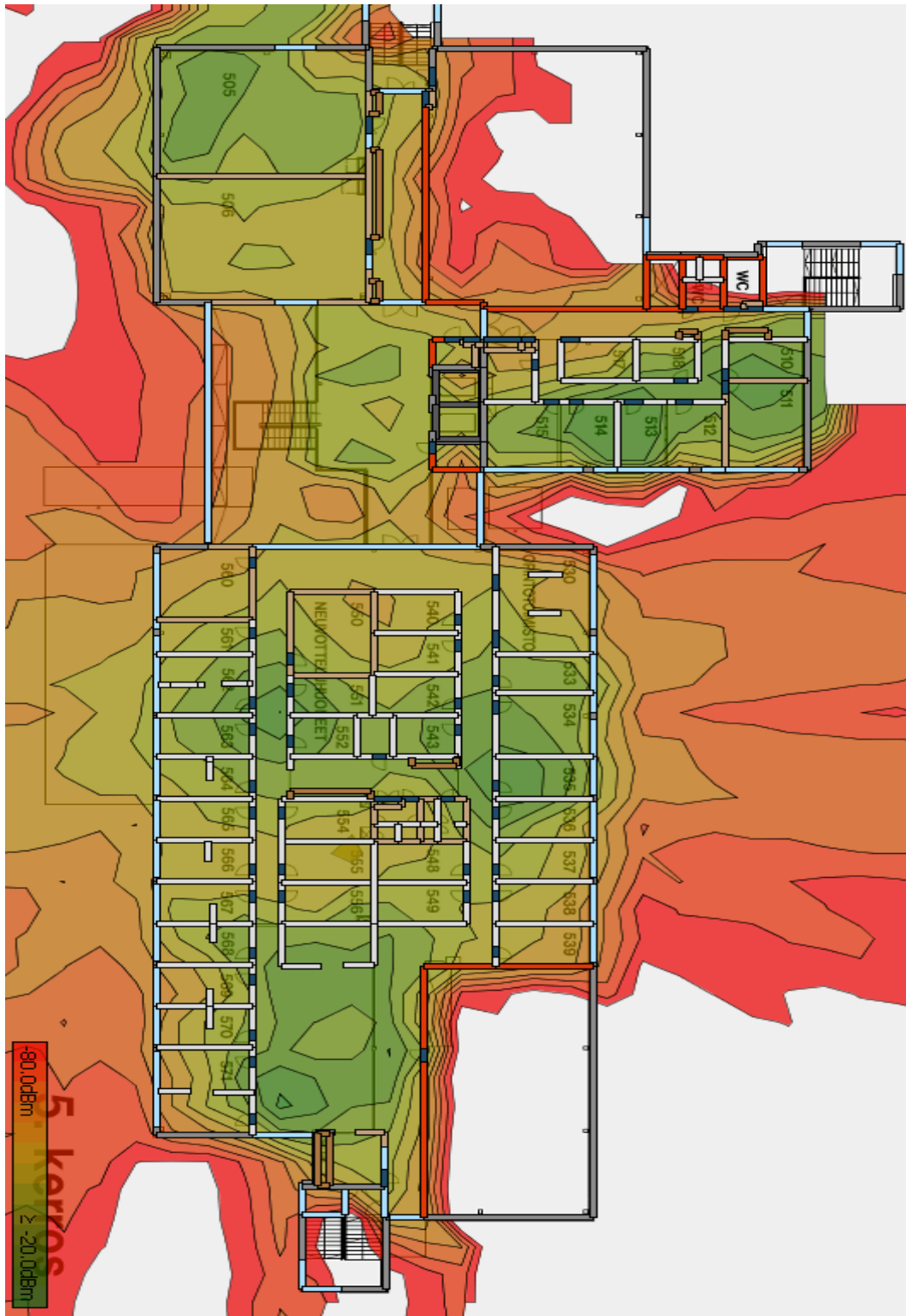
9.20 Liite 20. Viidennen kerroksen tukiasemien sijainnit ja kanavat



9.21 Liite 21. Toisen kerroksen simuloitu kuuluvuuskartta tukiseman lisäyksen jälkeen



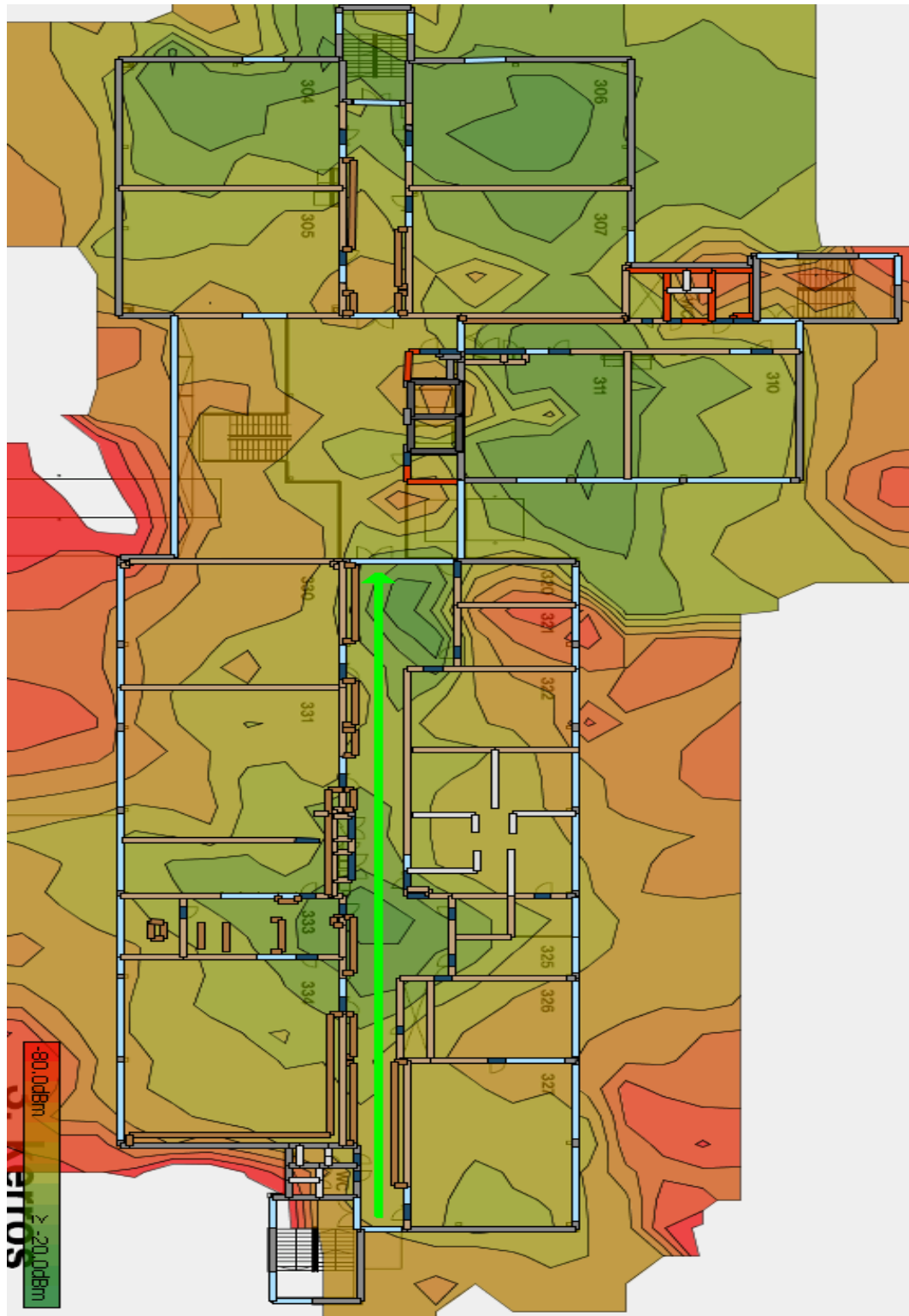
9.22 Liite 22. Viidennen kerroksen simuloitu kuuluvuuskartta tukiaseman lisäyksen jälkeen



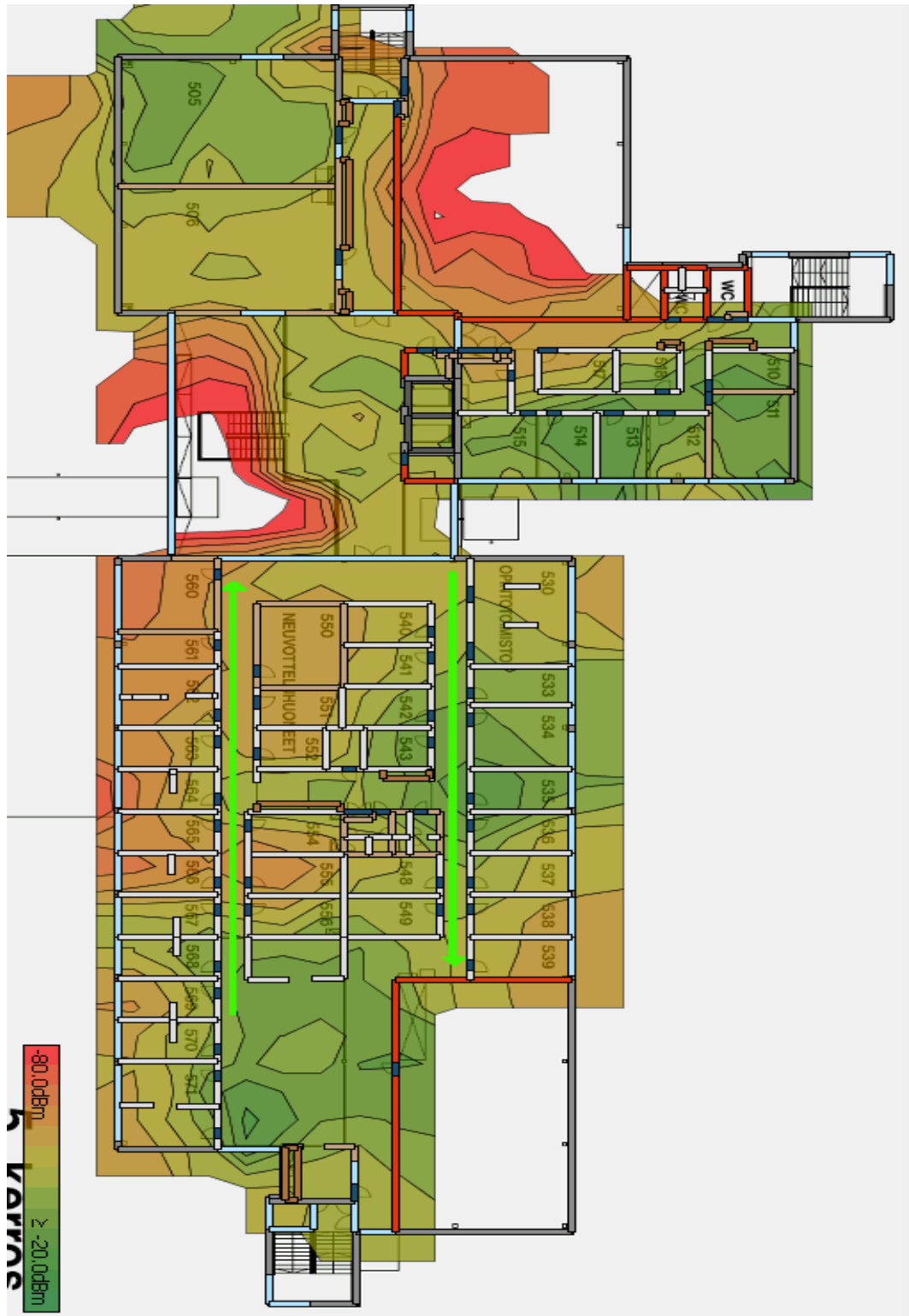
## 9.23 Liite 23. Suorituskykymittauksen tulokset

4krs käytävä	Klo 13:45	Palvelin Helsinki Nebula	5krs huoneen 555 edusta	Klo 14:00	Palvelin Helsinki Nebula	5krs huoneen 560 edusta	Klo 14:20	Palvelin Helsinki Nebula			
Download Mb/s	Upload Mb/s	Latency ms	Download Mb/s	Upload Mb/s	Latency ms	Download Mb/s	Upload Mb/s	Latency ms			
19,64	27,41	7,00	14,06	6,86	7,00	10,54	4,74	46,00			
20,09	34,67	8,00	13,62	11,15	12,00	2,60	6,63	10,00			
16,04	23,85	10,00	13,63	13,30	7,00	1,75	5,32	71,00			
16,87	10,03	7,00	19,38	11,78	10,00	1,22	1,82	10,00			
15,29	35,84	9,00	12,04	14,09	8,00	1,47	3,56	10,00			
20,54	35,62	10,00	16,79	14,33	12,00	2,83	5,06	8,00			
10,57	12,97	7,00	13,76	14,41	7,00	5,34	6,01	10,00			
28,33	40,10	6,00	7,39	19,50	7,00	12,03	6,96	9,00			
24,37	36,99	10,00	9,35	7,61	12,00	11,02	10,64	9,00			
7,64	16,01	7,00	5,41	2,89	7,00	6,07	19,27	11,00			
Keskiarvo	17,94	27,35	8,10	Keskiarvo	12,54	11,59	8,90	Keskiarvo	5,49	7,00	19,40
2krs huone 210	Klo 14:50	Palvelin Helsinki Nebula	2krs huone 213	Klo 15:00	Palvelin Helsinki Nebula	ruokala	Klo 15:45	Palvelin Helsinki Nebula			
Download Mb/s	Upload Mb/s	Latency ms	Download Mb/s	Upload Mb/s	Latency ms	Download Mb/s	Upload Mb/s	Latency ms			
41,34	71,24	7,00	4,53	1,39	9,00	15,62	12,33	8,00			
40,66	49,37	7,00	3,76	0,48	8,00	18,13	11,80	9,00			
40,87	76,04	6,00	4,32	1,00	9,00	14,37	10,21	8,00			
40,86	66,55	6,00	1,88	0,93	9,00	21,59	9,29	8,00			
43,41	70,15	6,00	0,56	0,33	12,00	20,46	13,90	8,00			
41,48	73,73	7,00	0,80	0,34	84,00	17,73	11,36	8,00			
40,73	71,26	7,00	0,68	0,21	10,00	15,92	12,59	8,00			
42,68	72,26	7,00	6,85	1,12	9,00	16,44	12,44	9,00			
42,48	70,25	6,00	1,44	0,19	9,00	11,32	9,47	11,00			
39,87	73,70	7,00	3,28	1,10	87,00	5,98	6,51	12,00			
Keskiarvo	41,44	69,46	6,60	Keskiarvo	2,81	0,71	24,60	Keskiarvo	15,76	10,99	8,90

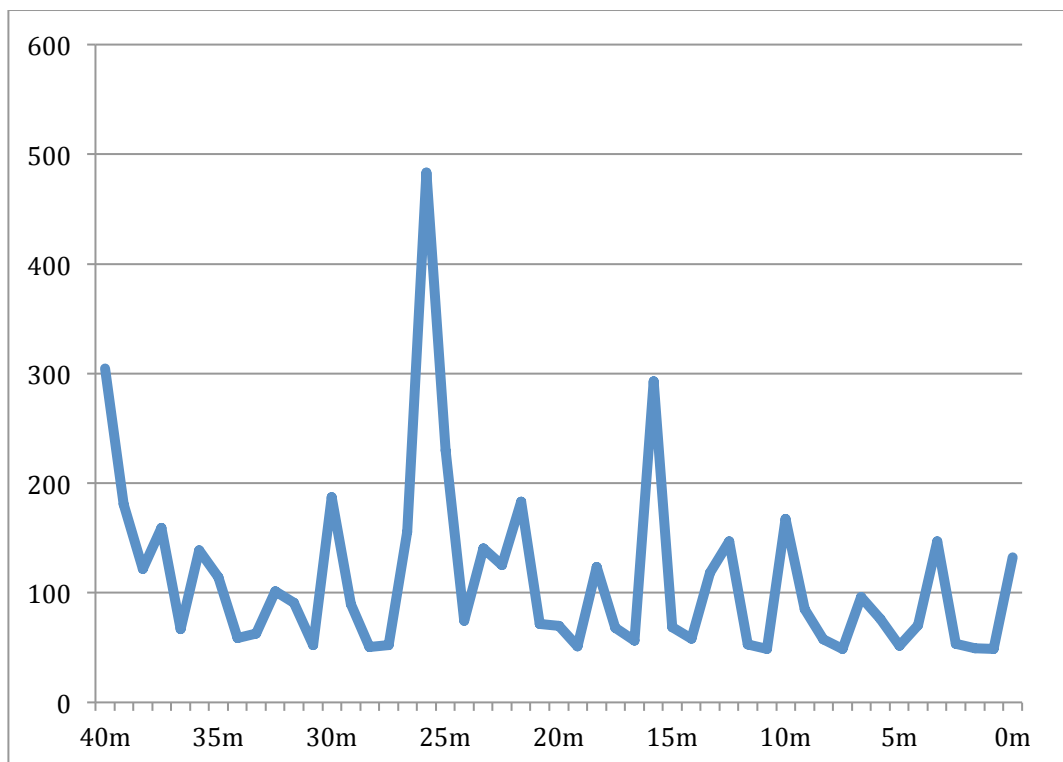
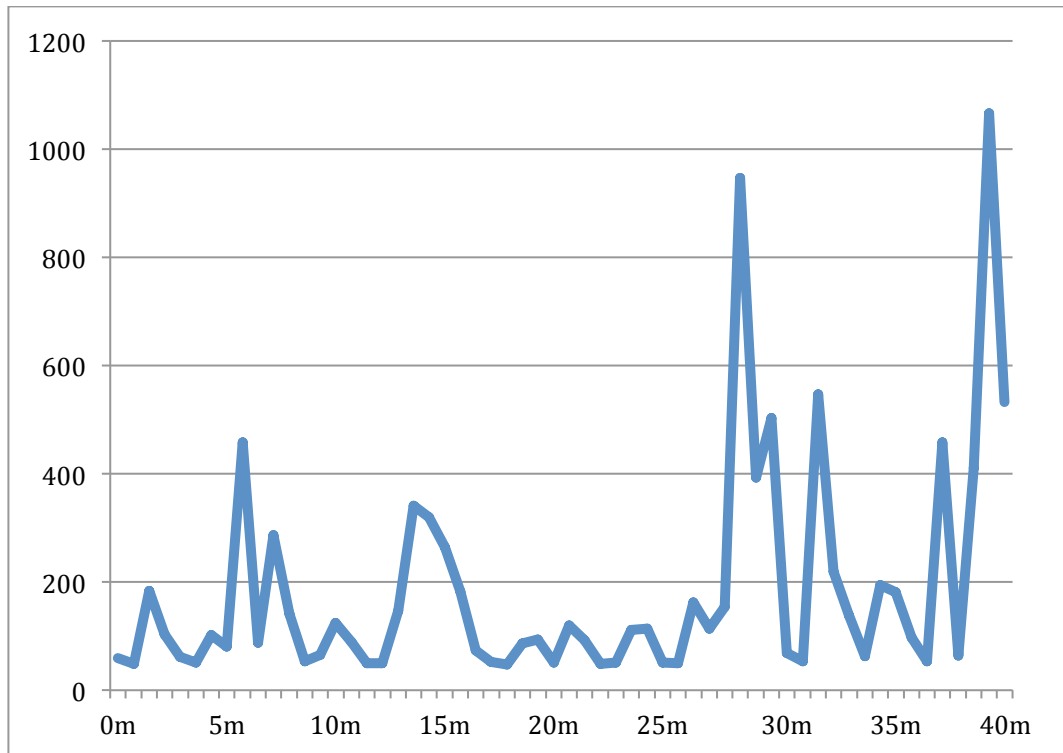
9.24 Liite 24. Reaaliaika- ja viivemittauksessa kuljettu reitti kolmannessa kerroksessa



9.25 Liite 25. Reaaliaika- ja viivemittauksessa kuljettu reitti viidennessä kerroksessa

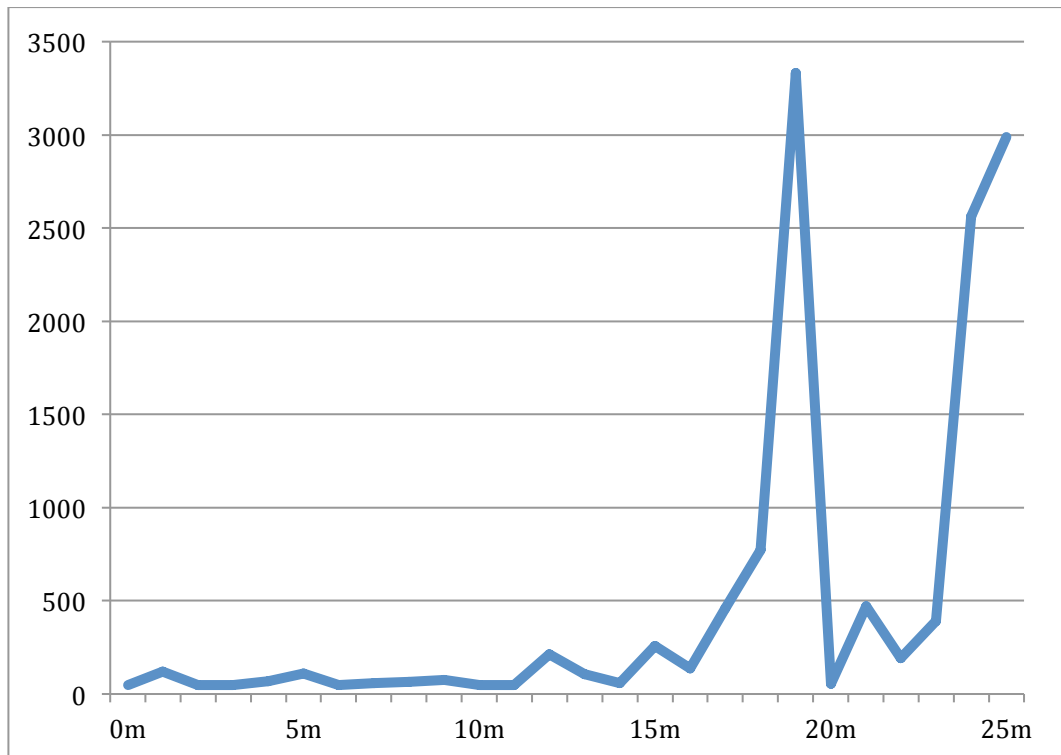
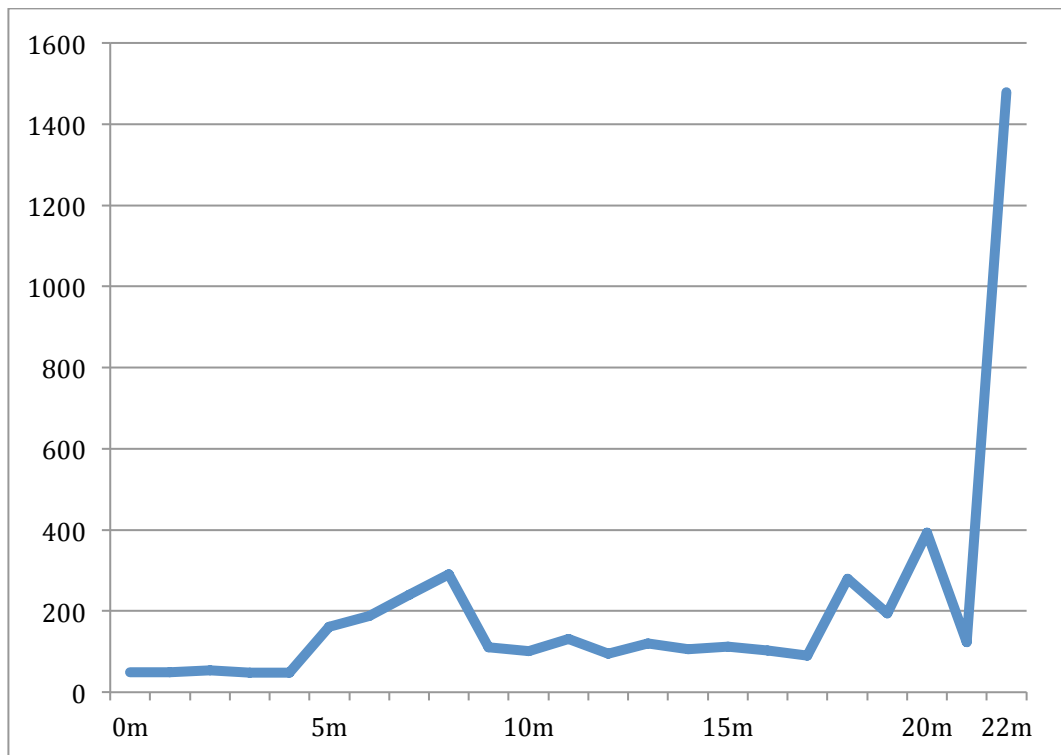


## 9.26 Liite 26. Viivemittauksen tulokset kolmannessa kerroksessa



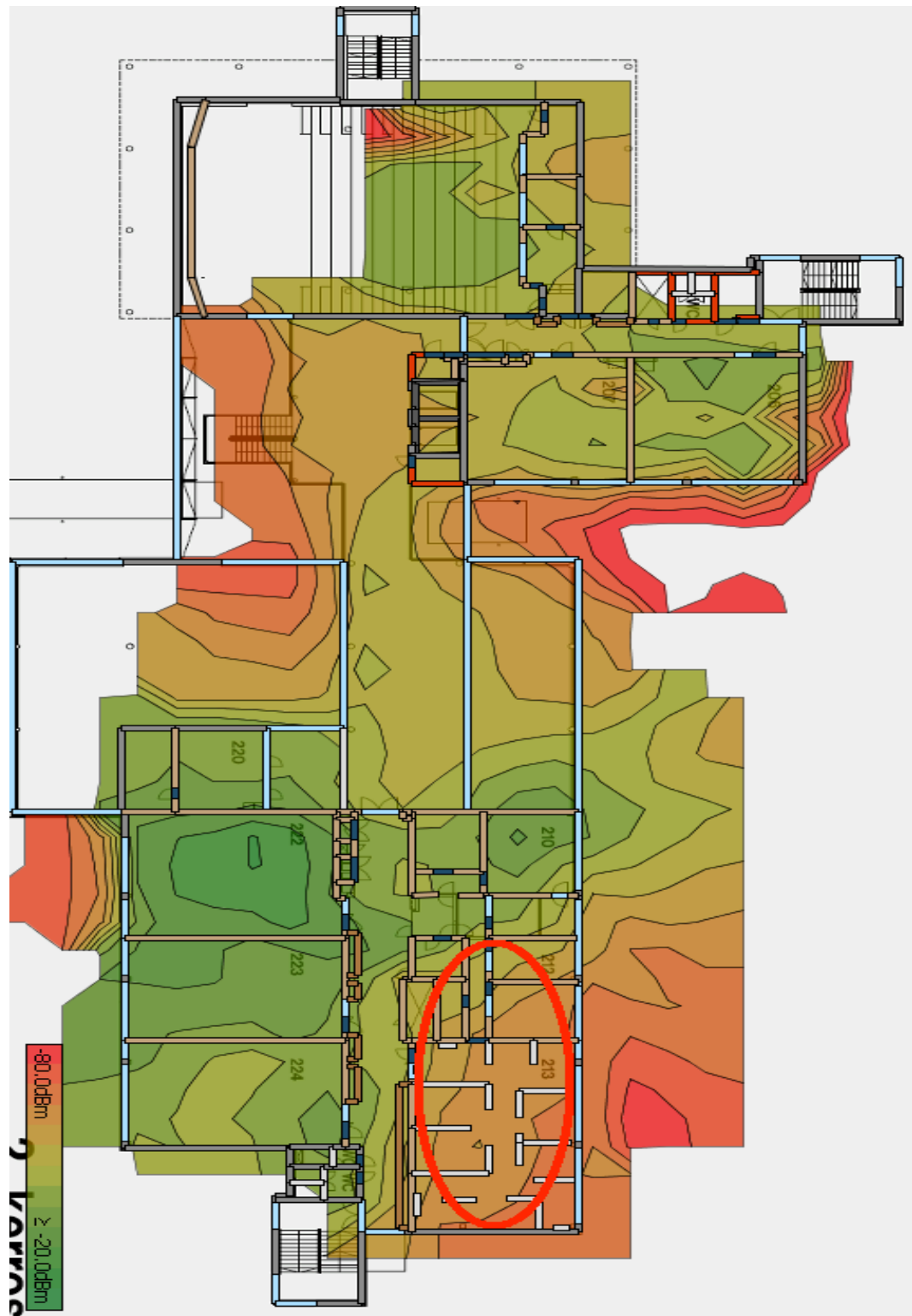


## 9.27 Liite 27. Viivemittauksen tulokset viidennessä kerroksessa





9.29 Liite 29. Käyttäjähaastatteluissa ilmenneet ongelmalliset tilat toisessa kerroksessa



9.30 Liite 30. Käyttäjähaastatteluissa ilmenneet ongelmalliset tilat viidennessä kerroksessa

