

Tommi Hovi

# Langattoman verkon suunnittelu ja toteutus ta- varatalomittakaavassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Tietotekniikka  
Insinöörityö  
Päivämäärä 28.4.2013

Tekijä(t) Otsikko	Tommi Hovi Langattoman verkon suunnittelu ja toteutus tavaratalomittakaavassa
Sivumäärä Aika	46 sivua + 16 liitettä
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Seppo Lehtimäki IT-vastaava Risto Sivonen
<p>Tässä insinööriyössä käsitellään langattoman verkon suunnittelua ja toteutukseen liittyviä vaiheita sekä yrityksen projektista saamaa hyötyä. Tarkoituksena on syventyä langattoman verkon suunnittelun ja toteutuksen vaiheisiin ja kuvata vaiheet ja niiden tarkoitus. Insinööriyössä kuvattu projekti tapahtui 2010, jolloin olin harjoittelijana kyseisessä yrityksessä.</p> <p>Työssä esitellään wlan-katselmuksien tuloksia, jotka tehtiin Ekahau Site Survey -wlan-verkon suunnittelutyökalulla. Suunnittelun, katselmuksien sekä laitteiden asennuksen suoritti kansainvälinen tietotekniikan palveluihin ja ratkaisuihin erikoistunut Unisys.</p> <p>Lisäksi työssä käydään kattavasti läpi langattoman verkon laitteiden ominaisuuksia ja käyttötarkoituksia. Toteutusosuudessa kuvataan myös, kuinka tukiasemat tulisi asentaa ja millaisiin paikkoihin ne asennettiin. Laitteisto perustuu Ciscon tuotteisiin, sillä yrityksellä oli sopimus tämän valmistajan kanssa.</p> <p>Yleisesti työssä käydään läpi langattomien verkkojen teoriaa, standardeja, tietoturva- ja yleisiä laitteistoja. Teoriaosuudessa on myös kerrottu, kuinka langattomat laitteet siirtävät tietoa radioteitse ja miten langattomien päätelaitteiden vuoronvaraus toimii.</p> <p>Projektin aikana olin mukana tekemässä valmistelevia vaiheita sekä joitain suunnittelu- ja toteutusosan vaiheita. Tarkoituksena on projektin etenemisen kuvauksen lisäksi tuoda ilmi, kuinka projekti onnistui ja päästiinkö asetettuihin teknisiin ja liiketoiminnallisiin tavoitteisiin.</p>	
Avainsanat	Langaton verkko, WLAN, suunnittelu, toteutus, Site Survey

Author(s) Title	Tommi Hovi The planning and implementation of wireless network in store environment
Number of Pages Date	46 pages + 16 appendices 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Telecommunications Technology
Instructor(s)	Seppo Lehtimäki, Principal Lecturer Risto Sivonen, Local IT-Manager
<p>This thesis deals with the wireless network planning and implementation stages of the project, as well as the benefits for the company. The aim is to focus on the wireless network planning and implementation stages, and describe the steps and their purpose. Project described in the thesis took place in 2010, when I was a trainee in the company.</p> <p>This thesis presents the results of the site surveys, which were made with Ekahau Site Survey WLAN network design tool. Planning, site surveys, as well as the installation was carried by an international information technology company Unisys that specialize in IT services and solutions.</p> <p>The thesis also goes through the entire wireless network equipment, their properties and uses. Implementation section also describes how access points should be installed and what kinds of places they should be installed. Hardware is based on Cisco products, as the company had a contract with that manufacturer.</p> <p>In general, the thesis goes through a wireless network theory, standards, security, and general hardware. The theoretical part also discusses how the wireless devices transmit data over the air, and how wireless terminals take turns when transmitting.</p> <p>During the project I was involved in doing the preparatory stages, as well as some of the design and implementation stages. The aim is the description of the progress of the project in addition to reveal how the project succeeded and were the technical and operational business objective goals reached.</p>	
Keywords	Wireless Lan, WLAN, planning, implementation, site survey

# Sisälllys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä langattomista verkoista	2
2.1	Historia	2
2.2	Siirtotie	3
2.3	Tukiasemien vuoronvaraus	4
2.4	IEEE 802.11	5
2.5	Muut langattomien verkkojen standardit	6
2.6	Tietoturva	7
2.7	Wlan-tukiasemat ja antennit	11
3	WLAN-verkon suunnittelu	13
3.1	Vaatimusten määrittely	14
3.2	Dokumentointi suunnittelussa	17
3.3	Wlan-kontrolleri ja palomuuuri	21
3.4	Laitteiston valinta	22
3.5	Pre-Site Survey	26
4	WLAN-verkon toteutus	31
4.1	Kaapelointi	31
4.2	Tukiasemien asentaminen	31
4.3	Post-Site Survey	36
5	Kustannukset ja hyödyt	37
5.1	Laitteiston kustannukset	37
5.2	Hyödyt organisaatiolle	37
5.2.1	Logistiikka ja varasto	38
5.2.2	Myynti	39
6	Käyttäjien mielipide	40
6.1	Käyttökokemukset	40
6.2	Parannusehdotukset ja ongelmat	40

7 Yhteenveto 42

Lähteet 43

## Liitteet

Liite 1. Cisco 5508 Series Wireless Controller -ominaisuudet

Liite 2. Cisco ASA 5510 AIP-SSM -palomuurin ominaisuudet

Liite 3. Cisco Catalyst 3750 12 SFP-kytkimen -ominaisuudet

Liite 4. Cisco Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP-kytkimen -ominaisuudet

Liite 5. Cisco Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4 SFP-kytkimen -ominaisuudet

Liite 6. Cisco Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP-kytkimen -ominaisuudet

Liite 7. Cisco Aironet 1131AG Access Point -ominaisuudet

Liite 8. Cisco Aironet 1242AG Access Point -ominaisuudet

Liite 9. Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna -ominaisuudet

Liite 10. Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna E- ja H-plane -säteilykuviot

Liite 11. Cisco Aironet Four-Element Dual-Band Omnidirectional Antenna -ominaisuudet

Liite 12. Cisco Aironet Four-Element Dual-Band Omnidirectional Antenna E- ja H-plane -  
säteilykuviot

Liite 13. Kuituliittimet

Liite 14. Vääriä tukiasema asennuksia

Liite 15. Pre-Site Surveyn tulokset

Liite 16. Post-Site Surveyn tulokset

## Lyhenteet

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line. Verkkokytkintekniikka, joka käyttää hyväkseen tavallista puhelinlinjaa tiedonsiirtoon.
AES	Advanced Encryption Standard. Lohkosalausmenetelmä.
AP	Access Point. Wlan-tukiasema.
ARP	Address Resolution Protocol. Verkkoprotokolla.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance. Siirtotien varausmenetelmä.
CTS	Clear To Send. Vuoronvaraussignaali.
DMZ	Demilitarized Zone. Demilitarisoitu alue tai eteisverkko.
DPI	Deep Packet Inspection. Palvelu joka tutkii pakettien dataosuuksia viruksien varalta.
DoS	Denial of Service. Palvelunestohyökkäys.
DSSS	Direct-sequence Spread Spectrum. Suorasekvenssihajaspektri.
Ethernet	Pakettipohjainen lähiverkkotekniikka.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Eurooppalainen tietotekniikan alan standardisoimisjärjestö.
FDMA	Frequency Division Multiple Access. Taajusjakokanavointi.
FHSS	Frequency-hopping Spread Spectrum. Taajuushyppelyhajaspektri.
HIPERLAN	High Performance Radio LAN. Lähiverkkostandardi.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Standardointijärjestö.
LLC	Logical Link Control. OSI-mallin siirtokerroksen ohjausprotokolla.
LWAPP	Lightweight Access Point Protocol. Protokolla jolla voidaan hallita useampia tukiasemia samanaikaisesti.
MAC	Media Access Control. Verkkosovittimen yksilöllinen osoite Ethernet verkossa.
MIMO	Multiple-Input/Multiple-Output. Tietoliikennetekniikka, joka mahdollistaa lähetyksen ja vastaanoton käyttämiseen useampia antenni- ti

MPDU	MAC Protocol Data Unit. OSI-mallin siirtokerroksen MAC-alikerroksen MAC-tietosähke, joka sisältää LLC-kehysten.
MPPS	Million Packets Per Second. Yksikkö, jolla mitataan kuinka monta pakettia kytkin pystyy käsittelemään sekunnissa.
MTU	Maximum Transmission Unit. Suurin PDU:n koko, jonka kerros voi välittää eteenpäin.
NAV	Network Allocation Vector. Verkon varausvektori, jolla päätelaite varaa solun ilmatien itselleen oman lähetyksensä ajaksi.
PDU	Protocol Data Unit. OSI-mallin datayksikkö, joka riippuu kerroksesta. Verkko-kerroksen PDU:lla tarkoitetaan pakettia, kun taas siirtoyhteyserroksen PDU:lla tarkoitetaan kehystä (eng. frame).
PoE	Power over Ethernet. Tekniikka, jolla päätelaite saa käyttövirran verkkokaapelilla.
OFDM	Orthogonal Frequency-division Multiplexing. Monikanta-aaltomodulointi eli tiedonsiirtotekniikka, jolla voidaan siirtää tietoa samanaikaisesti useilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla.
OSI-malli	Open Systems Interconnection. Tiedonsiirtoprotokollien kerrosmalli.
QoS	Quality of Service. Tekniikka, jolla tietoliikennettä voidaan luokitella ja priorisoida.
RSSI	Received Signal Strength Indicator. Vastaanotetun signaalin tehon voimakkuus.
RTS	Request To Send. Vuoronvarausignaali.
SARP	Secure ARP. ARP:n laajennus, jossa ARP-liikenne tunneloidaan asiakkaan ja tukiaseman välillä.
SHF	Super High Frequency. Mikroaaltojen taajuusalue välillä 3-30 GHz.
SNR	Signal to Noise Ratio. Signaali-kohinasuhde.
SSID	Service Set Identifier. Langattoman verkon verkkotunnus.
TDMA	Time Division Multiple Access. Aikajakokanavointi.
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol. Yhdistelmä useita erilaisia tietoverkkoprotokollia.
UHF	Ultra High Frequency. Mikroaaltojen taajuusalue välillä 0,3-3 GHz.
VLAN	Virtual Local Area Network. Virtuaalinen lähiverkko.

WEP	Wired Equivalent Privacy. Ensimmäinen langattomien 802.11-standardiin perustuvien verkkojen tietoliikenteen salausmenetelmä.
Wi-Fi	Wireless Fidelity. Wi-Fi Alliancen omistama tavaramerkki, jonka järjestö myöntää WLANia hyödyntäville laitteille, jotka ovat IEEE:n 802.11-standardin mukaisia.
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access. Langaton laajakaistateknikka.
WPA2	Wi-Fi Protected Access 2. 802.11i-verkkojen tietoturvastandardi.

## 1 Johdanto

Tämä työ käsittelee langattoman verkon suunnittelua ja sen toteuttamista tavarataloympäristössä. Langattomat verkot ovat yleistyneet vauhdilla 2000-luvulla niiden suorituskyvyn ja liikkuvuuden tuomien etujen vuoksi. Langattomat verkot ovat mahdollistaneet uusia toimintatapoja ja tehostaneet jo olemassa olevia. Langaton verkko rakennetaan useimmiten langallisen lähiverkon tueksi, eikä langatonkaan verkko ole koskaan täysin langaton. WLAN-verkkoa suunnitellessa on otettava huomioon tavanomaisia asioita sekä projektille yksilöllisiä ominaisuuksia. Lisäksi on tunnettava signaalin etenemiseen liittyviä seikkoja sekä toimintaympäristön tuomia rajoituksia.

Opinnäytetyöni koskee yrityksen projektia, jossa langattoman verkon tarkoituksena oli täydentää jo olemassa olevaa lähiverkkoa ja hyödyntää yleiskaapelointia niin paljon kuin mahdollista. Verkko rakennettiin tukemaan organisaation käyttäjien työtehtäviä, palvelemaan liiketoimintaa ja antamaan etua kilpailijoihin nähden. Valmiin langattoman verkon hyötyjä voidaan käyttää sellaisenaan sekä se mahdollistaa muiden sovellusten käyttöönoton. Langattoman verkon kautta saadut hyödyt kohdistuvat toistaiseksi pääasiassa myynnin ja logistiikan tehostumisena, varastologistiikan tarkentumisena ja asiakaspalvelun parantumisena, ilmaisen asiakasverkon myötä. Yritys, jolle tämä työ tehdään, ei halua nimeään mainittavan tässä työssä.

Varsinainen toteutus tapahtui vuonna 2010. Pääsin seuraamaan läheltä, miten langattoman verkon tuloa valmisteltiin ja miten itse toteutus tapahtui. Olin osaltani mukana valmisteluvaiheessa, mutta en toteutusvaiheessa. Projektin osallistui väkeä oman organisaation lisäksi kolmesta eri yrityksestä. Tämä projekti oli osa suurta globaalia projektia, jossa yrityksen kaikkiin tavarataloihin rakennetaan samanlainen langaton verkko. Samalla verkkojen topologiaa ja laitteistoa yhdenmukaistettiin ja päivitettiin sekä langattoman verkon hallinta keskitettiin.

Tämän raportin avulla yritys saa tietoa siitä, miten hyvin loppukäyttäjät ovat ottaneet verkon tuomat hyödyt käyttöönsä sekä mahdollisia parannusehdotuksia.

## 2 Yleistä langattomista verkoista

### 2.1 Historia

Idea nykyisen kaltaiseen WLAN-verkkoon eli langattomaan lähiverkkoon syntyi 1980-luvun puolivälissä. Langaton tiedonsiirto oli toki keksitty jo aiemmin hawaijilaisen yliopistoprofessorin, Norman Abramsonin, kokeellisen tutkimuksen seurauksena vuonna 1971. [1, s. 15; 2, s. 119.] Hawaijin yliopiston oppitilat sijaitsivat saarilla toisistaan erillään ja tietokoneet sijaitsivat pääkampuksella Honoluluussa. Abramson halusi ratkaista ongelman ja saada saarilla sijaitsevat etäkoneet keskustelemaan pääkoneiden kanssa, jotka olivat pääkampuksella. Yhdessä apulaistensa kanssa Abramson sai siirrettyä tietoa radioteitse radiosignaaleilla hyväksikäyttäen kahta UHF-kanavaa. Hän ei halunnut käyttää erilaisia kanavointikeinoja kuten TDMA:ia ja FDMA:ia pilkkoakseen kanavia käyttäjien kesken, koska se olisi johtanut hitaaseen tiedonsiirtonopeuteen. Sen sijaan toinen UHF-kanava toimi uplink-kanavana etäkoneilta Honoluluun ja toinen downlink-kanavana Honoluluusta etäkoneille. Uplink-kanava oli jaettu kaikkien käyttäjien kesken, joten jos kaksi käyttäjää lähetti komentoa kanavalla samaan aikaan viestit menivät sekaisin. Tämän ratkaisemiseksi Abramson keksi, että keskuskoneen on kuitattava kaikki, mitä se on onnistuneesti saanut perille. Jos etäkone ei saanut kaikuna takaisin lähettämäänsä viestiä, se päätteli, että keskuskone ei ole saanut viestiä ja uudelleenlähetti viestin. Onnistuneen tutkimuksen seurauksena maailman ensimmäinen langaton lähiverkko, ALOHAnet, oli syntynyt. [5, s. 1.]

Langattomalla verkolla oli hyvin vähän sovelluksia ja sen toteuttamistavat olivat kovin valmistajakohtaisia ja kokeellisia. Markkinoilla ei vielä 1980-luvulla ollut juurikaan kaupallisia, kuluttajille suunnattuja, toteutuksia. Langattomalle tiedonsiirrolle ei ollut vielä määritelty mitään taajuuskaistoja, joten niiden käyttöluvista muodostui myös ongelmia. Laitteet olivat tiukasti sidottu valmistajan muihin laitteisiin, eikä yhteensopivuudesta ollut vielä tietoaakaan. [1, s. 15-16.]

1990-luvun alkupuolella langaton lähiverkko alettiin kuitenkin nähdä potentiaalisena tapana siirtää tietoa laitteiden välillä. Ensimmäinen IEEE:n langattomien lähiverkkojen seminaari pidettiin vuonna 1991 Worcester Polytechnic Instituutissa [3]. 90-luvun alussa myös ensimmäiset asiakkaille suunnatut langattomat laitteet näkivät päivänvalon [4]. Ensimmäinen langattoman verkon standardi, 802.11, valmistui vuonna 1997.

Sen ongelmia olivat heikko tiedonsiirtonopeus ja yhteensopivuus. Edeltäjänsä nopeampiin tiedonsiirtoihin kyennyt 802.11b-standardi julkaistiin vuonna 1999. Sen nimellinen bittinopeus oli 11Mbit/s, toimien 2,4 GHz:n taajuudella. [1, s. 15.]

Samana vuonna, 1999, julkaistu 802.11a standardi käytti taajuusalueenaan 5 GHz ja nosti bittinopeuden jopa 54Mbit/s. Tämä standardi esitteli uuden modulointitekniikan, OFDM:n. Se erosi paljon aiemmin käytetyistä modulointitekniikoista, sillä se käyttää signaalin siirtämiseen 48:aa alikantoaaltoa, jotka ovat 250 kHz:n kokoisia. Käyttämällä OFDM-tekniikkaa ja 64QAM-modulointia voidaan saavuttaa jopa 72Mbit/s. [5, s. 2.] Nykyisin yleisimmin käytetty standardi on 802.11g [6].

## 2.2 Siirtotie

Langattomat verkot siirtävät tietoa radioteitse käyttäen hyväksi julkisia radiotaajuuksia. Radiotaajuussignaali on sähkömagneettista säteilyä. Näiden signaalien peruskäsitteitä ovat signaalin taajuus, amplitudi ja vaihe. [31.] Taajuuden yksikkö ilmoitetaan hertseinä (Hz), ja se kuvaa värähtelyä. Hertsi on 1 per sekunti, joka tarkoittaa sitä, että 5 GHz:n järjestelmä lähettää signaalia, joka värähtelee 5 000 000 000 kertaa sekunnissa. Signaalin amplitudi kertoo värähtelyn laajuuden eli sen voimakkuuden. Mitä suurempi amplitudi on, sitä voimakkaampi signaali on ja sitä kauemmas sen on mahdollista edetä. Matemaattisesti tilanne on kuitenkin monimutkaisempi, eikä tästä syystä amplitudia voida kasvattaa loputtomiin. Vaihe kuvaa signaalin värähtelyn vaihetta verrattuna tiettyyn tarkastelupisteeseen. Vaihetta ilmaistaan usein radiaaneina tai asteina, riippuen tilanteesta. Yhden jaksonajan eli yhden värähdysten aikana signaali kiertää täydet 360 astetta.

IEEE:n langattomaan tiedonsiirtoon tarkoitetut standardit käyttävät globaalia ISM-taajuusalueetta (Industrial, Scientific and Medical). Näiden taajuuksien käyttö ei vaadi erillistä viranomaislupaa. Taajuuskaistoja on kolme: UHF-alueella 902 – 928 MHz ja 2,4 – 2,4835 GHz sekä SFH-alueella 5,728 – 5,850 GHz. 2,4 GHz:n taajuutta käyttävät laitteet ovat yleisempiä kuin 5 GHz:n taajuutta käyttävät, koska niiden signaalin kantama on suurempi. [7, s. 70-72.]

Langattomien lähiverkkojen vahvuus on samalla sen heikkous. Koska siirtotien mediana toimii ilma, voi lähetettävään signaaliin vaikuttaa muut ilmassa samaan aikaan liikkuvat

signaalit. Silloin kun vastaanottava laite kohtaa kaksi signaalia, joilla on sama taajuus, on molemmat signaalit aiheuttaneet häiriötä toiselle signaalille. Tällaiset signaalit summautuvat toisiinsa muodostaen kahden signaalin summan, joka ei enää muistuta kumpaakaan alkuperäistä signaalia. [7, s. 73-74.] Pahimmassa tapauksessa signaalit eroavat toisistaan vain 180 asteen vaihesiirron verran, jolloin summautuessaan signaalit kumoavat toisensa.

Toinen ongelma langattomalla siirtotiellä on heijastuminen. Lähtevä signaali saattaa kulkea vastaanottajalle joko suoraan tai heijastua jostain esineestä tai rakenteesta. Heijastunut signaali tulee vastaanottajalle viiveellä. Kun osa lähetetystä viestistä tulee ajallaan ja osa viivästyneenä, sotkeutuvat datasympoolit keskenään ja saattavat aiheuttaa bittivirheitä. Jos bittivirheitä tulee paljon ja signaali on lähetettävä uudelleen, voidaan ajatella, että järjestelmän suorituskyky laskee. [7, s. 74-75.]

### 2.3 Tukiasemien vuoronvaraus

IEEE:n 802.11-standardit toimivat OSI-mallin kahdella alimalla tasolla: fyysisellä- ja siirtokerroksella. Siirtokerroksen toiminnot jakautuvat siirtotien ohjaukseen ja vuoronvaraukseen. Siirtotien ohjauksesta huolehtii LLC-protokolla (Logical Link Control 802.2), joka toimii samalla tavalla kaikille 802.x-standardeille. Siirtokerroksen vuoronvarausta hoitaa MAC-alikerros (Medium Access Control), jonka tehtävänä on toimia eräänlaisena liikennepoliisina lähetettävien ja vastaanottavien laitteiden välillä. [1, s. 26.]

MAC-alikerros palvelee muun muassa kehysten lähetystä, tietoturvaa ja tietosähkeiden uudelleenjärjestelyä. Koska radiotiellä tulee aina häiriöitä, kannattaa kookkaat LLC-kehukset pilkkoa pienempiin osiin siirron luotettavuuden vuoksi. Uudelleenjärjestelyä tarvitaan, kun näitä kooltaan pienempiä kehysiä siirretään ilmateitse asynkronisesti, jolloin kehukset saattavat mennä järjestykseltään osin sekaisin. Siirtokerroksen LLC-kehys kehystetään MPDU-sähkeeksi (MAC Protocol Data Unit), joka sisältää vuoronvaraukselle olennaiset tiedot. MPDU-sähkeen otsikkoon on sisällytetty tiedot viestin tarkistussummasta, vuoronvarauksen kesto, sekvenssitiedot uudelleenjärjestelyä varten ja osoitteet joita radiotiellä käytetään. [1, s. 27.]

Vuoronvarauksessa käytetään CSMA/CA-kanavointimenetelmää (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), joka varaa siirtotien itselleen ennen lähetystä. Hidden no-

de problem on tilanne, jossa kaksi WLAN-päätelaitetta ovat saman yhteyspisteen alueella, mutta eivät tiedä toistensa olemassaolosta. Päätelaitteelta päätelaitteelle lähetetty signaali vaimenee niin paljon, että se voidaan tulkita kohinaksi tai muuksi häiriöksi. Jotta hidden node ei olisi ongelma, CSMA/CA:n ratkaisuna on antaa yhteyspisteen kontrolloida solunsa alueella olevia päätelaitteita ja jakaa lähetysvuoroja niitä haluaville. Vuoronvaraus aloitetaan päätelaitteen pyynnöstä lähettää ilmaitse dataa. Päätelaitteen RTS-sanomaan (Request to Send) vastataan yhteyspisteen CTS-sanomalla (Clear to Send), kun solun ilmatie on vapaa lähetystä varten. Yhteyspiste kuittaa kaikki päätelaitteen lähettämät datakehukset vastaanotetuiksi. Kehysten välinen viive voi olla lyhyt eli Short Inter Frame Space (SIFS), SIFS:iä pidempi PCF Inter Frame Space (PIFS) tai vielä tätäkin pidempi DCF Inter Frame Space (DIFS). Kullekin viiveelle on oma tarpeensa ja tilanteensa. Lähettävä päätelaite sisällyttää MPDU-kehukseen arvion vuoronvarauksensa kestosta, joka sisältää sekä lähetyksen ja kuittaukset. Network Allocation Vector (NAV) on verkon varausvektori jonka arvo on oletettu aika jonka lähettäjä tarvitsee itselleen. Saman solun muut päätelaitteet odottavat vektorin arvon ajan ennen kuin alkavat kilpailla seuraavasta lähettäjistä. [1, s. 29-31; 7, s. 118-119.]

## 2.4 IEEE 802.11

Institution of Electrical and Electronics Engineers eli IEEE on kansainvälinen tekniikan alan järjestö, jonka merkittävämpänä toimintana pidetään alan standardien määrittelyä. Muuhun toimintaan kuuluu muun muassa kouluttaminen, konferenssien järjestäminen ja julkaisutoiminta. 802.11 on standardi langattomille lähiverkoille. Ensimmäinen 802.11-standardi julkaistiin vuonna 1997 ja tällä hetkellä viimeisin yleisesti käytössä oleva standardi on vuonna 2009 julkaistu 802.11n. [7, s. 118.]

Taulukko 1. IEEE:n julkaisemat 802.11-standardit, niiden julkaisu päivämäärä ja niissä käytetty modulaatio [39].

IEEE standardi	Julkaisu	Modulaatio
802.11	6/1997	DSSS, FHSS
802.11b	9/1999	DSSS
802.11a	9/1999	OFDM
802.11g	6/2003	OFDM, DSSS
802.11n	10/2009	OFDM

Taulukko 2. IEEE:n 802.11-standardien käytetyt taajuudet, kaistanleveydet ja nimellisaopeudet [39].

IEEE standardi	Taajuus (GHz)	Kaistanleveys (MHz)	Nimellisaopeus (Mbit/s)
802.11	2.4	20	1 / 2
802.11b	2.4	20	11
802.11a	5	20	54
802.11g	2.4	20	54
802.11n	2.4 / 5	20 / 40	72/150

802.11-standardien perheeseen kuuluu myös laaja joukko muita laajennuksia, parannuksia ja tietoturvan lisäominaisuuksia [39]. IEEE:n 802.11-standardit ovat kehittyneet vajaassa 15 vuodessa suurin harppauksin. Siinä missä ensimmäiset standardit nähtiin palvelevan lähinnä kuluttajien harrastelaitteita, on kehitys vienyt uudemmat standardit yritysmaailmaan. Teollisuusmaiden suurkaupungeissa langattomia verkkoja pidetään jo itsestäänselvyyttenä. Uusia standardeja tulee ja langattomuutta viedään eteenpäin kovaa vauhtia. Myös laitevalmistajat ovat ottaneet hyödyn irti langattomista toiminnoista ja langattomien laitteiden määrä kasvaa koko ajan.

## 2.5 Muut langattomien verkkojen standardit

HIPERLAN ja HIPERLAN/2 ovat Euroopassa kehitettyjä langattomien verkkojen ratkaisuja. ETSI:n standardisoimat HIPERLAN-ratkaisut eivät ole saavuttaneet suurta suosiota, vaikka alkuperäinen HIPERLAN ylittää 20 Mbps nopeuteen ja HIPERLAN/2 jopa 54 Mbps nopeuteen. Tällä hetkellä markkinoilla ei ole juurikaan kuluttajille suunnattuja HIPERLANia käyttäviä laitteita. [7, s. 131-133.]

802.16 eli WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) on langaton laajakaistateknikka, jonka IEEE on standardisoinut. WiMAX on vielä kovasti kehittyvä teknikka, jonka tarkoituksena on palvella harvaanasuttuja alueita, jonne kaapelin vetäminen muutamaa asiakasta varten tulisi liian kalliiksi. [7, s. 146; 40.]

## 2.6 Tietoturva

Tietoturvan tarkoituksena voidaan pitää kuutta tavoitetta jotka IETF (Internet Engineering Task Force) on määritellyt:

- Tiedon luottamuksellisuus: vain oikeutetut henkilöt voivat lukea ja välittää tietoa.
- Tiedon eheys: vain oikeutetut henkilöt voivat muokata, poistaa, siirtää, tallentaa tai muuten käsitellä tietoa.
- Todennus: toimenpiteet voidaan todentaa jälkeenpäin.
- Kiistämättömyys: varmistaa henkilöiden ja tietojen aitous.
- Pääsynvalvonta: vain oikeutetuilla henkilöillä on pääsy tietoon.
- Käytettävyys: tieto on saatavilla ja käytettävissä oikeutetuille henkilöille kaikissa olosuhteissa.

Kun näitä tietoturvan kuutta palveluperiaatetta noudattaa toteutuksen pohjana ja seuraa tietoturvan tasoa säännöllisesti, tietoturvariskit pienenevät. [1, s. 70.]

Langattoman verkon tietoturvaan panostaminen ja siihen perehtyminen on erittäin tärkeää, sillä tiedonsiirtosignaaleja voidaan helposti siepata ilmasta. Tietoturva uhkia on monenlaisia ja niiltä kaikilta suojautuminen vaatii suunnittelua ja ammattitaitoa. Tiedonsiirtopaketit voivat sisältää arvokasta tietoa kuten salasanoja, käyttäjätunnuksia ja ihmisten henkilökohtaisia sähköposteja ja tietoja. [7, s. 171-172.]

Hyökkääjä voi tarkkailla tiedonsiirtoliikennettä verkossa ja nuuskia pakettien sisältöjä toivoen, että jotakin hyödyllistä sattuisi kohdalle. Ongelma ratkaisuksi voimme määrittää salauksen, jossa bitit salataan päätelaitteen ja tukiaseman välillä. [7, s. 172.] Nykyinen langattomien verkkojen tietoturvastandardi on 802.11i eli WPA2. Se syrjäytti WEP- ja WPA-salaukset, jotka käyttivät vanhempaa RC4-jonosalausalgoritmia. WPA2 käyttää AES-lohkosalausalgoritmia, joka pystyy käyttämään salaukseen eri pituisia kuten 128-, 192- ja 256-bittisiä avaimia. [9.] AES-salausta voidaan toistaiseksi pitää tur-

vallisena, koska sitä ei ole onnistuttu murtamaan, vaikka joitakin osittain onnistuneita hyökkäyksiä onkin tehty [10].

Toinen uhka on hyökkääjän tunkeutuminen verkkoon luvattomasti. Jos hyökkääjä onnistuu pääsemään yrityksen tai organisaation verkkoon ja sitä kautta käsiksi palvelimiin ja tiedostoihin tai jopa muihin työasemiin, voi hän saada aikaan paljon tuhoa. [7, s. 172.]

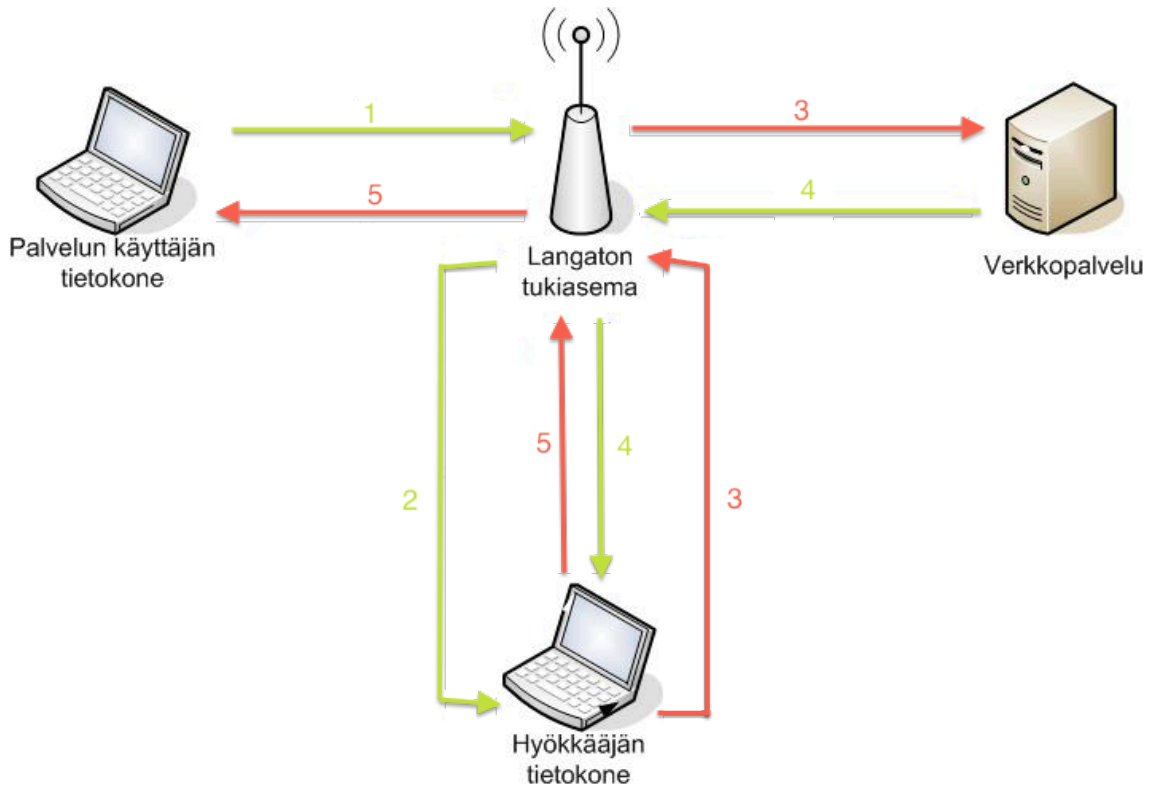
Ensimmäinen suojauskeino on asettaa langattomalle verkolle salasana, jotta vain salasanan tietävät voivat liittyä verkkoon [7, s. 173]. Salasanoja käytettäessä on syytä muistaa, että helppo salasana on myös helposti arvattavissa. Missään nimessä ei tule käyttää laitteiden oletussalasanoja, sillä ne ovat hyvin tunnettuja. Hyvä salasana sisältää isoja ja pieniä kirjaimia sekä numeroita ja se kannattaa vaihtaa säännöllisin väliajoin. Kun tukiasemien salauskonfiguraatiot ovat kunnossa, ei salasanaa lähetetä verkkoon salaamattomana. [7, s. 197.]

Toisena suojakeinona voidaan käyttää SSID-tunnusten poistamista käytöstä. Langattomat tukiasemat lähettävät beacon-kehysiksi, joilla ne mainostavat omaa verkkoaan. Kun kehuksesta on poistettu SSID-tunnus, ei satunnainen käyttäjä näe verkkoa omassa verkkoyhteyslistassaan. Kuitenkin uuden päätelaitteen kirjautuessa tukiasemaan SSID-tunnus lähetetään salaamattomana, joten hyökkääjä voi saada tiedon selville kuuntelemalla verkkoa kärsivällisesti. [7, s. 197; 10.]

Kolmanneksi on hyvä olla käytössä todennus, jolla päätelaitteet ja tukiasemat tunnistavat toisensa. Tämä kannattaa olla kaksisuuntainen, jolloin päätelaite todennetaan tukiasemassa ja tukiasema päätelaitteessa. Lisäksi tukiasemat tulisi todentaa kytkimille, jotta uusien tukiasemien luvaton liittyminen verkkoon voidaan estää. Näin voidaan varmistua, ettei hyökkääjä ole asentanut omaa tukiasemaa, jota hän käyttää porttina organisaation verkkoon. [7, s. 173-174.]

Hyökkääjä voi tehdä niin kutsutun man-in-the-middle-hyökkäyksen eli välistävetohyökkäyksen. Se perustuu verkkoprotokollien toimintatavan hyväksikäyttöön. Tukiasemat ja päätelaitteet keskustelevat aina ennen tiedonsiirron aloitusta lyhyillä kyselyillä ja vastauksilla. ARP-protokollaa käytetään laitteiden välillä muun muassa verkkokortin fyysisen MAC-osoitteen selvittämiseksi. Kun hyökkääjä asettuu kahden keskustelevan laitteen

väliin ja lähettää toiselle valheellisen ARP-vastauksen, jossa on luvallisen laitteen IP-osoite, mutta hyökkääjän laitteen oma MAC-osoite, päivittyvät verkossa olevien laitteiden ARP-taulut väärällä tiedolla. Tällöin liikenne alkaa kulkea hyökkääjän läpi mahdollistaen pakettien tarkkailun tai niiden sisällön muuttamisen. [7, s. 174-175.]

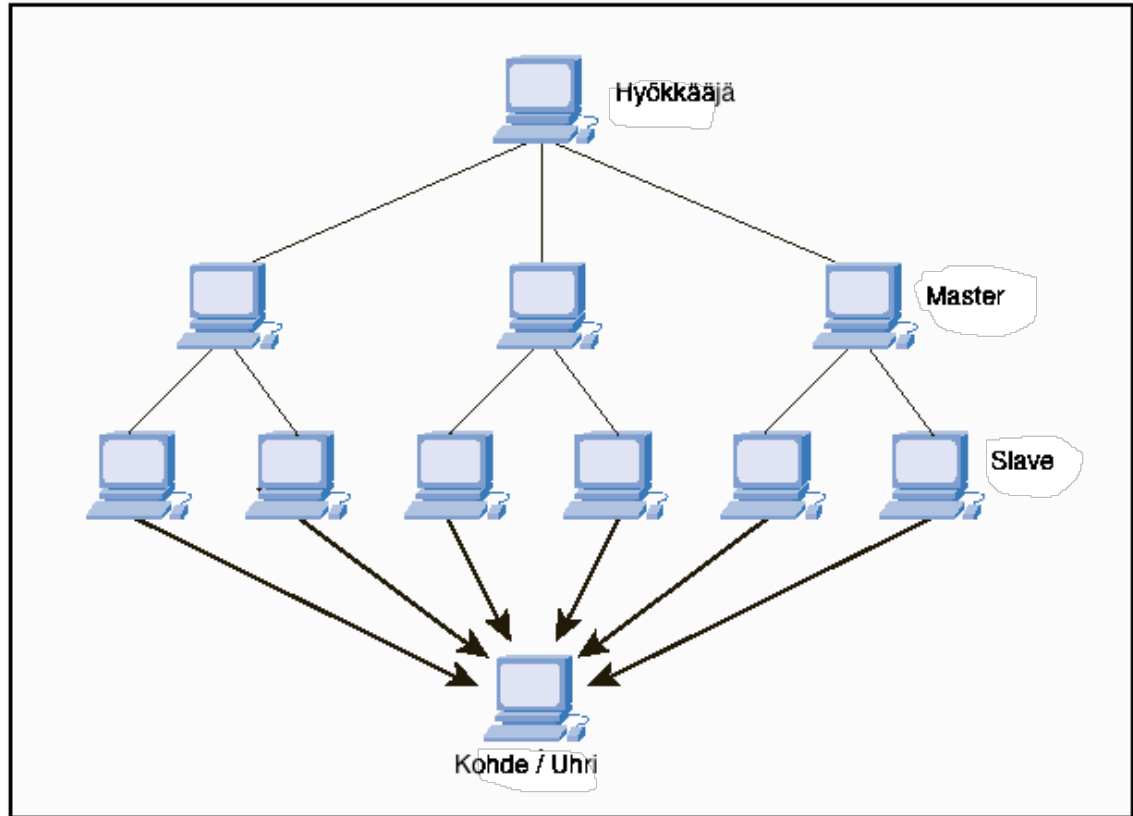


Kuva 1. Man-in-the-middle attack eli välistävetohyökkäys. Vihreät nuolet kuvaavat muuntelematonta ja punaiset muunneltua liikennettä. Asiakaspääte kommunikoi tukiaseman kanssa, joka välittää datan hyökkääjän koneelle. Hyökkääjä voi muuntaa datan sisältöä ja kalastella tietoja datapaketeista. Hyökkääjän kone lähettää muunnellut paketit edelleen verkkopalvelulle saakka, joka vastaa takaisin. Tukiasema kierrättää liikenteen taas hyökkääjän kautta, jolloin dataa voidaan uudelleen muokata ja seurata ennen asiakaspääteelle lähettämistä. [13.]

Secure ARP (SARP) on ARP:n laajennus, jolla muodostetaan turvallinen tunnelointi päätelaitteen ja tukiaseman välille. Tällöin muut kuin tunnelin päissä olevat laitteet eivät voi liittyä ARP-viestien vaihtoon. SARP:n ongelma on sen vaatimat erikoisohjelmistot, jotka on asennettava kaikkiin laitteisiin SARP:n toimimiseksi. [7, s. 175-176.]

Viimeisenä uhkana hyökkääjä voi suorittaa palvelunestohyökkäyksen (DoS). Palvelunestohyökkäyksessä hyökkääjä generoi niin paljon liikennettä verkkoon, että sen kapasiteetti ei riitä ja verkko lopulta kaatuu tai ainakin hidastuu merkittävästi. Verkon kaatuminen tai hidastuminen aiheuttaa haittaa organisaatiolle. Haitan laajuus riippuu lan-

gattoman verkon toiminnasta riippuvista toiminnoista. Mitä enemmän toimintoja on laitettu langattoman verkon varaan, sitä lamauttavampi palvelunestohyökkäys on. [7, s. 176.]



Kuva 2. Distributed Denial of Service Attack (DDoS) eli hajautettu palvelunestohyökkäys [14]. Hyökkääjä ottaa haltuunsa koneita (Master) ja käskee niitä ottamaan toistuvasti yhteyttä tai generoimaan runsaasti liikennettä johonkin palveluun (Kohde). Master-koneet lähettävät yhteydenottopyynnön viattomiin koneisiin (Slave), jotka näkevät pyynnön tulevan uhrilta itseltään. Kaikki slave-koneet alkavat tuottaa verkkoliikennettä kohteeseen, kunnes kohde kaatuu tai rampautuu.

Palvelunestohyökkäys voi olla myös tahaton, sillä langattomat verkot toimivat usein 2,4 GHz:n taajuusalueella, jossa ruuhkaa riittää. Samaa taajuusaluetta käyttävät myös mikroaaltouunit, Bluetooth-laitteet ja langattomat puhelimet. Jos toisen samaa taajuutta käyttävän laitteen signaali sattuu samalle kanavalle ja on tarpeeksi voimakas, voi häirintä estää langattoman verkon toiminnan. [7, s. 177.]

Palvelunestohyökkäykseltä suojautumiseen on olemassa vain yksi varma keino. Koneet on kytkettävä irti kaikista verkoista; sisäisistä ja ulkoisista sekä eristettävä ne huoneeseen, jossa ympäröivät signaalit eivät häiritse. Tämän ollessa erittäin epäkäytännöllistä

on parempi tyytyä pitämään yllä hyväksi todettuja tietoturvamenetelmiä. Suositeltavaa on hankkia palomuri tai useampi, jolla voidaan toteuttaa demilitarisoitu alue (DMZ) internetin ja sisäverkon väliin. Näin hyökkääjä joutuu tunkeutumaan vielä toisen palomuurin läpi päästäkseen sisäverkkoon. Langattoman verkon voi myös sijoittaa palomuurin taakse, jolloin päätelaitteet ja tukiasemat vaarantuessaan olisivat vielä sisäverkon ulkopuolella. Lisäksi tietoturvaa on syytä pitää ajan tasalla päivittämällä ohjelmistoa ja laitteita, soveltaa hyväksi todettua salasanapolitiikkaa, tietojärjestelmien käyttöoikeuksissa tulisi soveltaa pienimmän oikeuden periaatetta, jolloin prosessille ja henkilöille annetaan pienimmät mahdolliset oikeudet tehtävien suorittamiseen. Tukiasemat kannattaa sijoittaa fyysisesti niin, että niihin ei pääse helposti käsiksi eikä niitä voi vaihtaa hyökkääjän omaan tukiasemaan. Tukiaseman konsoliportti tulee suojata vahvalla salasanalla tai poistaa käytöstä. Verkon käyttäjien on myös huolehdittava omasta henkilökohtaisesta palomuuristaan ja estää tiedostojen jako ainakin silloin, kun ovat julkisissa tiloissa. Tukiasemissa voidaan ottaa käyttöön MAC-osoitteiden suodatus, jotta vain tunnetut laitteet voivat muodostaa yhteyden langattomaan verkkoon. Tämä on kuitenkin epäkäytännöllinen tapa suurissa yrityksissä joissa laitteistoa vaihdetaan usein, varsinkin kun tiedossa on että taitava hyökkääjä voi väärentää oman MAC-osoitteensa helposti. [7, s. 177; 11; 7, s. 195-198.]

## 2.7 Wlan-tukiasemat ja antennit

Wlan-tukiasema on portti langattoman ja langallisen verkon välissä. Langattoman verkon käyttäjät ovat yhteydessä tukiasemaan jonka kautta he käyttävät langallista verkkoa. Tukiasemat ovat yhteydessä wlan-kontrolleriin, jolla tukiasemia hallinnoidaan ja seurataan. Tukiasema mainostaa itseään niille langattomille päätelaitteille jotka ovat sen kuuluvuusalueella. Tukiasema lähettää tietyin väliajoin majakkasanoma eli Beaconin, jossa se kertoo muun muassa oman SSID:n (Service Set Identifier) eli langattoman verkon verkkotunnuksen. SSID:n avulla langattoman päätelaitteen käyttäjä tunnistaa langattoman verkon johon hän haluaa liittyä. Tukiasema voidaan myös konfiguroida salaamaan oma SSID. Tällöin käyttäjän on ennalta tiedettävä verkkotunnus liittyäkseen verkon käyttäjäksi. [1, s. 135-137.] Tukiasemaan voidaan myös asettaa useampi kuin yksi verkkotunnus [1, s. 143].

Langattoman verkon toiminnan perusta on viestiminen antennien välityksellä. Langattomaan tiedonsiirtoon käytettäviä antennejä on pääsääntöisesti kahdenlaisia: ympä-

risäteileviä ja suuntaavia. Antennien säteilykuviot eivät ole koskaan ideaalisen symmetrisiä vaan säteilyteho voi olla toiseen suuntaan isompi kuin toiseen. Suuntavalla antennilla voidaan saavuttaa pidempi kantama, mutta säteilykuvion suuntakeila on kapeampi ja vain tiettyyn suuntaan. Ympärisäteilevällä antennilla voidaan sen sijaan saada pinta-alaltaan suuri alue peittoon tasaisesti tukiaseman ympäriltä. Ympärisäteileviä antennia ovat muun muassa dipoli-, levy- ja sauva-antennit. Suuntaavia antennia sen sijaan ovat yagi- ja lautasantennit. [1, s. 60-63.]

### 3 WLAN-verkon suunnittelu

Langattoman lähiverkon rakentamisessa hyvä suunnittelu ja dokumentointi on tarpeen. Suunnitteludokumentit tukevat toteutusvaihetta ja helpottavat laitteiden hankintaa ja asennusta. Dokumentteja voidaan aina tarkentaa suunnitelmien muuttuessa ja edetessä. [1, s. 219.]

Suunnitteluun kuuluu ensimmäisenä vaatimusmäärittely. Määrittelyn pohjana on yrityksen liiketoiminnan tarpeet, jotka ohjaavat, miten nuo tarpeet tulisi muuttaa tietotekniikan sovelluksiksi ja palveluiksi. Nämä ratkaisut antavat tekniset vaatimukset langattomalle verkolle ja sen toimintakyvylle. Kun verkon vaatimukset on määritelty, voidaan projektille luoda kustannusarvio ja aikataulu. Lisäksi tehdään verkkosuunnitelma, josta käyvät ilmi käytettävien antennien tyypit, niiden käyttämät kanavat ja alustavat sijainnit. On hyvä ottaa huomioon etukäteen myös eri peittoalueiden käyttäjämäärät ja alueen tarvitsemat vähimmäisbittinopeudet. Koska häiriöiden ja signaalin etenemisen ennustaminen on hankalaa, pitää asennuspaikalla suorittaa katselmus eli site survey. Katselmuksen tarkoituksena on varmistaa määriteltyjen peittoalueiden kattaminen tarvittavalla bittinopeudella, kartoittaa häiriölähteet ja niiden vaikutukset peittoalueisiin, määrittää eri antennityyppien sijoitukset ja suuntaukset sekä varmistaa tukiasemien sähkönsyöttö [1, s. 220-221].

Yrityksen projektin aikana yritys käytti projektinhallintasovellusta, johon projektin eri vaiheet oli suunniteltu, dokumentoitu ja aikataulutettu. Projektinhallintasovellukseen oli yrityksen projektin parissa työskentelevillä asianomaisilla henkilöillä käyttöoikeudet. Jokainen vaihe kuitattiin vaiheen toteuttaneen henkilön toimesta tehdyksi, näin projektin edistymisen seuranta oli helppoa. Projektia suorittaessa tällainen seurantatyökalu oli välttämätön, koska projektissa toimi myös ulkopuolisia urakoitsijoita, joiden toimenpiteet tuli dokumentoida ja kuitata. Osa projektin jäsenistä työskenteli eri toimipisteissä, joten seuranta oli pakko suorittaa yhteisellä projektinhallintasovelluksella, jota voidaan käyttää verkon yli. Projektin suorittaminen tehtiin vaihe vaiheelta ja tehtävät toimenpiteet suunniteltiin tarkkaan, sillä projektin aikana tavaratalo oli avoinna asiakkaille aivan normaalisti. Täten osa vaiheista tuli aikatauluttaa niin, että työvaiheet suoritettiin tavaratalon ollessa suljettuna. Ne työvaiheet joista ei aiheutunut myynnille ja asiakkaille haittaa voitiin suorittaa myös talon ollessa auki. Projektin kesto oli 6 kuukautta, jonka aikana suoritettiin hankinnat, esivalmistelut, asennukset, kaapeloinnit, konfiguroinnit ja sekä pre- että post site survey.

### 3.1 Vaatimusten määrittely

Projektin suunnittelu aloitettiin määrittelemällä, mitä toimintoja liiketoiminnan kannalta haluttiin tuoda. Vaatimuksiin kuului langattomien trukki- ja käsiskannereiden käyttö, jolla voitaisiin nopeuttaa sekä helpottaa logistisia toimenpiteitä. Skannereiden avulla voidaan suoraan vaikuttaa varastologistiikan saldoihin ja tavaran liikkumiseen menemättä lähiverkkoon kytketyn tietokoneen luokse kirjaamaan muutoksia. Yritykselle tämä hyöty näkyy varastosaldojen tarkentumisena, varastosaldojen reaaliaikaistumisena sekä varastologistiikan työtuntien tehostumisena.

Lisäksi vaatimuksiin kuului, että käsiskannereita voidaan käyttää myös myyntiosastoilla logistisiin toimenpiteisiin. Tästä hyötyvät sekä yritys että asiakas, sillä tarpeen tullen käsiskannerilla voisi tarkistaa tuotteiden hintoja ja varastosaldoja, poistaa tuotteita saldoista, siirtää tuotteita toiselle myyntipaikalle ja korjata logistiikkaa reaaliajassa. Asiakkaalle tämä näkyy hyvänä asiakaspalveluna, yritykselle työn tehostumisena ja työntekijälle työn helpottumisena.

Langattoman verkon valmisteluun tavaratalossa kuului minimivaatimusten tarkistaminen, jonka suoritti paikallinen IT-vastaava. Vaatimuksiin kuuluivat seuraavat osat:

- Optiset kuidut:
  - Minimivaatimus: optisia kuituyhteyksiä tuli olla vapaana vähintään kaksi kuituparia pääjakamon (serverihuone) ja alajakamoiden välillä.
  - Suositeltu vaatimus: neljä vapaata kuituparia. Kaksi paria olemassa oleville kytkimille ja kaksi uusille PoE-kytkimille. Näin uusi verkkolaitteisto voidaan rakentaa vanhan rinnalle ja laittaa toimintavalmiiksi ennen kuin toiminnassa oleva verkkolaitteisto ajetaan alas.
- Laitetelinetila (räkki):
  - Minimivaatimus: uusien kytkinten tulee mahtua telineeseen, kun vanhat on purettu pois.

- Suositeltu vaatimus: uusien kytkinten tulee mahtua vanhojen kytkinten rinnalle, jotta rinnakkaisen verkon rakentaminen olisi mahdollisimman helppoa.
- Virransyöttö
  - Minimivaatimus: jatkojohtoa käytettäessä mallin tulee olla sellainen, että sen voi kiinnittää 19-tuuman räkkiin. Irrallisia lattialla vapaasti liikkuvia jatkojohtoja ei saa käyttää.
  - Suositeltu vaatimus: jokaiselle kytkimelle tulisi olla oma seinäpistokepaikka.
- Kytkinpinot
  - Vaatimus: jos jakamossa on yli 5 kytkintä, tulee kytkinpino jakaa kahdeksi pinoksi. Tämä onnistuu vain, jos vapaana on vähintään neljä kuituparia. Kuituja varten pitää hankkia neljä SFP-moduulia (Small form-factor pluggable transceiver). Jos kytkinpino jaetaan kahteen osaan, tulee ensimmäisen pinon sisältää kaksi 24-porttista PoE-kytkintä sekä muita 48-porttisia kytkimiä. Toinen pino sisältää ainakin kaksi 48-porttista kytkintä.
- Hubit ja muut kytkimet
  - Vain Ciscon omat kytkimet ovat sallittuja jakamossa. Muiden valmistajien hubeja ei saa yhdistää Ciscon kytkinten access-portteihin.
- Varatut portit
  - Vähintään 15 PoE-porttia tulee varata joka jakamosta pelkille WLAN-laitteille.
- Kuitukytkentäkaapelit

- Kaikki kuitukytkentäkaapelit tulee vaihtaa projektin yhteydessä. Uudet kuitukaapelit toimittaa Unisys.
- UTP (Unshielded Twisted Pair) kytkentäkaapelit
  - Projektissa tullaan käyttämään olemassa olevia parikaapeleita kytkentäkaapeleina, mutta jos uusia kytkentäkaapeleita tarvitaan ne toimittaa Unisys.

Kun nämä liiketoiminnan vaatimukset muutettiin tietoteknisiksi toiminnoiksi ja palveluiksi, pääsimme varsinaisen langattoman verkon suunnitteluun. Langattoman verkon valmisteluihin kuului yleiskaapeloinnin kartoittaminen. Myymälänpuoleisesta välikaton päällä kulkevasta yleiskaapeloinnista etsittiin kaikki verkkopisteet ja merkittiin ylös vapaiden verkkopisteiden määrä ja sijainti rakennuksen pohjapiirrokseseen. Merkinnöissä käytettiin rasian tunnusta, josta käy ilmi, mihin jakamoon rasia on kytketty ja mitkä portit sille kuuluivat jakamon kytkentäpaneelistä. Myymälän verkkopisteiden kartoitukseen tarvittiin tikkaat ja pohjapiirros. Korkeavaraston puolella kartoitukseen tarvittiin tikkaiden sijaan henkilönostinta. Kartoitusta tultiin myöhemmin tarvitsemaan, kun tukiasemille suunniteltiin alustavia sijoituspaikkoja.

Verkkosuunnitelmaan määritettiin, että tukiasemien ja antennien virransyöttö tullaan hoitamaan verkkokaapeleilla, koska yleiskaapelointi oli suoritettu CAT5- ja CAT6-parikaapeleilla mahdollistaen PoE-virransyötön (Power over Ethernet). Koska vaatimuksena oli tuoda virta verkkokaapelia pitkin, verkkosuunnitelmaan lisättiin PoE-kytkimiä yrityksen jakamoihin. Tarkkaa valintaa kytkimistä ei vielä tehty, koska tukiasemien eli tarvittavien porttien määrä oli vielä selvitettävä Site Survey -katselmuksessa. Koska yrityksen LAN-verkon siirtokapasitetti oli todettu riittäväksi, ei suunnitelmiin tullut muutoksia siltä osin, vaan yhteys kytkimistä vietiin kuituja pitkin core-kytkimille. Core-kytkimeen oli kytketty yhteys wlan-kontrollerille. Kaikkien tavaratalon kytkinten yhteyksiin vedettiin rinnakkainen yhteys, jotta verkon topologiaan saataisiin redundanssia häiriötilanteita varten.

### 3.2 Dokumentointi suunnittelussa

Suunnittelun alkuvaiheessa, kun yrityksen tarpeet olivat jo tiedossa, suoritettiin valmis-televa katsastus nykyiseen laitteistoon. Sen pohjalta kirjattiin ylös, millainen nykyinen laitteiston kokoonpano oli, millaiset tilat laitteilla on, millaisia konfiguraatioita laitteissa oli, oliko VLAN-määrittelyä ennestään, millainen on optisten kuitujen tilanne ja mahdolliset haasteet tulevaan asennuksen aikana. Näiden kysymysten pohjalta luotiin dokumentaatio, johon oli merkitty ylös kaikki olennainen tieto laitteiston hankintaa varten. Lisäksi otettiin paljon kuvia kytkennöistä sekä jakamoiden tiloista ja laitteista tähän dokumentaatioon. Samaan dokumentaatioon lisättiin myöhemmin ostoslista, jossa oli lueteltu kaikki hankinnat jakamoittain. Dokumentoinnissa tulee muistaa aina olla tarkkana, sillä väärää tietoa on vaikea jälkeempäin enää erottaa. Tällöin saattaa tehdä väärä kytkentöjä tai hankintoja, jotka hidastavat projektia.

	Multi Mode 50µm	Multi Mode 62.5µm	Single Mode
What type of fiber is used through out the store?		X	

Kuva 3. Kuva dokumentaatiosta, johon on merkitty, millaista kuitua tavaratalossa käytetään.

Task	v	Comment
All ports not in the "default" VLAN: Put marker on cable with VLAN information. Use Port config sheet.	Ok	
All ports not using Auto for speed & duplex settings: Put marker on cable with speed & duplex setting. Use Port config sheet.	Ok	
All ports with an active PoE device; Put marker on cable which identified as a PoE port.	Ok	
Note the number of fiber pairs going to Server room (either directly or patched through other cabinets).	56	
If extra fiber pairs are available, will this require extra fiber patch cables for intermediate patching?	n/a	
Are power requirements met?	Yes	
Are minimum rack space requirements met?	No	
Are preferred rack space requirements met?	No	
Document existing equipment in Appendix 3		
Note the number of switches in cabinet	2	
Note the total number of access ports in cabinet		48x3
Note the total number of free access ports in cabinet		29

- Kuva 4. Valmistelevan katsauksen aikana käytiin läpi jokaisen jakamon osalta listaa perusasioista, ja vastaukset merkittiin ylös dokumentaatioon. Kun tarkastukselle on luotu pohja ja valmiit kysymykset, on lista helppo mennä läpi kohta kohdalta ja merkitä ylös mahdolliset ongelmat ja poikkeavuudet.



Kuva 5. Jokaisesta jakamosta eli cabinetista otettiin yleiskuva ja tarkempi kuva, jossa näkyy kuitukytännät ennen muutoksia.

## Shopping list for Cabinet A

Model	Description	Quantity
WS-C3750G-12S-S	Catalyst 3750 12 SFP Standard Multilayer Image	2
WS-C3750G-24TS-S1U	Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4 SFP Std Multilayer	2
WS-C3750G-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100/1000T + 4 SFP Standard Multilayer	
WS-C3750-24PS-S	Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP + IPB Image	2
WS-C3750-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP Standard Multilayer Image	2
CAB-STACK-1M	Cisco StackWise 1M Stacking Cable	
GLC-SX-MM=	GE SFP, LC connector SX transceiver	8
ASA5510-AIP10SP-K9	ASA 5510 with AIP-SSM-10, 2GE+3FE, SW, HA,3DES/AES, SEC PLUS	2

## Shopping list for Cabinet B

Model	Description	Quantity
WS-C3750G-12S-S	Catalyst 3750 12 SFP Standard Multilayer Image	
WS-C3750G-24TS-S1U	Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4 SFP Std Multilayer	
WS-C3750G-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100/1000T + 4 SFP Standard Multilayer	
WS-C3750-24PS-S	Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP + IPB Image	2
WS-C3750-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP Standard Multilayer Image	
CAB-STACK-1M	Cisco StackWise 1M Stacking Cable	
GLC-SX-MM=	GE SFP, LC connector SX transceiver	4
ASA5510-AIP10SP-K9	ASA 5510 with AIP-SSM-10, 2GE+3FE, SW, HA,3DES/AES, SEC PLUS	

## Shopping list for Cabinet C

Model	Description	Quantity
WS-C3750G-12S-S	Catalyst 3750 12 SFP Standard Multilayer Image	
WS-C3750G-24TS-S1U	Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4 SFP Std Multilayer	
WS-C3750G-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100/1000T + 4 SFP Standard Multilayer	
WS-C3750-24PS-S	Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP + IPB Image	2
WS-C3750-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP Standard Multilayer Image	
CAB-STACK-1M	Cisco StackWise 1M Stacking Cable	
GLC-SX-MM=	GE SFP, LC connector SX transceiver	4
ASA5510-AIP10SP-K9	ASA 5510 with AIP-SSM-10, 2GE+3FE, SW, HA,3DES/AES, SEC PLUS	

Kuva 6. Unisys:n tekemä ostoslista, jossa näkyvät hankinnat kolmeen ensimmäiseen jakamoon.

Spare part list.

Model	Description	Quantity
WS-C3750-24PS-S	Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP + IPB Image	1
WS-C3750-48TS-S	Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP Standard Multilayer Image	1
GLC-SX-MM=	GE SFP, LC connector SX transceiver	2

Fiber cables needed in the store for the migration.

Fiber cable type	Connector to patch panel	Connector to switch	Lengths in meters	Quantity
62.5	SC	LC	5	18
62.5	SC	LC	2	18
62.5	LC	LC	2	2
62.5	LC	LC	5	2

See connector's examples in Appendix 4.

Rj45 cables

Type	Lengths in meters	Quantity
RJ45 Straight through, Color Black (note)	2	8
RJ45 Straight through		
RJ45 Straight through		
RJ45 Straight through		

*Note: 8 RJ45 cables in X meters needed to connect firewalls to switches.*

Kuva 7. Hankintoihin kuuluu myös varalaitteita ja -osia sekä kaapeleita.

### 3.3 Wlan-kontrolleri ja palomuuuri

Tukiasemien paljouden vuoksi vaatimukseen kuului Wlan-kontrolleri, jolla tukiasemia voidaan hallinnoida. Wlan-kontrolleri helpottaa ylläpidon tehtäviä, sillä sen avulla voidaan keskitetysti hallita tukiasemia. Kontrolleri myös valvoo tukiasemien toimintaa monellakin tavalla. Jos kontrolleri huomaa häirintää jollakin alueella, se voi säätää tukiasemien kanavia ja lähetystehoja. Toisaalta kontrolleri voi havaita myös rakoja tukiasemasolujen peitossa tai solujen päällekkäisyyksiä. Silloin se voi säätää lähetystehoja tarpeen mukaan suuremmaksi tai pienemmäksi. Kontrolleri osaa myös tasata liikennettä useamman tukiaseman kautta ja yhdistää käyttäjän useampaan tukiasemaan samaan aikaan, jotta saavutetaan nopeampi datansiirto tai parempi yhteys.

Kontrolleri on usein varustettu useilla eri palveluilla, joita voidaan suorittaa läpikulkeville paketeille. Palveluihin kuuluu muun muassa Quality of Service (QoS), Deep Packet Inspection (DPI) ja Network-Based Application Recognition (NBAR). QoS luokittelee ja

priorisoi paketteja niiden sisällön mukaan, kun taas DPI tutkii pakettien dataosuuden ja etsii niistä esimerkiksi viruksia ja troijalaisia. NBAR tunnistaa ja luokittelee liiketoiminnan kannalta kriittisiä sovelluksia. Luokittelun jälkeen sovellukselle voidaan taata muun muassa vähimmäissiirtonopeus ja muita erikoiskohteluita. [24.]

Projektin aikana myös palomuurit päivitettiin uudempiin versioihin. Palomuurien tehtävänä on estää luvaton tunkeutuminen yrityksen verkkoon, tarkkailla verkkoliikennettä ja estää epäilyttävä toiminta. Palomuurilaitteilla voidaan suodattaa paketteja ja tarkkailla sen läpi kulkevaa liikennettä. Hyviin tapoihin kuuluu suodattaa sekä sisään tulevat että ulos lähtevät paketit. Osalla yrityksistä on niin sanottu eteisverkko, joka sijaitsee internetin ja luotetun sisäverkon välissä. Eteisverkko tunnetaan myös nimellä demilitarisoitu alue eli DMZ. Eteisverkon käyttäminen vaikeuttaa tunkeutujan hyökkäystä, sillä päästäkseen yrityksen sisäverkkoon hänen on tunkeuduttava vielä toisen palomuurin läpi. Nykyisin tällaisia eteisverkkoja voidaan toteuttaa yhdelläkin palomuurilaitteella. [22.]

### 3.4 Laitteiston valinta

Projekti oli osa yrityksen globaalia projektia, jonka tarkoitus oli yhdenmukaistaa tavaratalojen langattomat verkot. Laitteistojen valinta oli siis pääpiirteissään tehty jo ennen kuin tavaratalokohtaiset projektit olivat alkaneet. Kuitenkin nämä valmiit valinnat olivat vain pohja laitehankinnoille ja soveltuvuus omaan tavarataloon tarkistettiin ennen päätöksiä. Laitteiston valintaan vaikuttivat useat tekijät. Verkkosuunnitelmaa hyväksikäyttäen voidaan tehdä laitteistoon liittyviä valintoja teknisten vaatimusten perusteella.

Antennien valitsemisessa vaikuttavat tekijät olivat eri antennityypit. Ympärisäteileviä antennia valittiin kaikkiin tiloihin, koska tarvetta antennin suuntaamiselle ei ollut. Tämäntyyppinen antenni valittiin, koska se säteilee tehokkaasti ympärilleen vaakatasossa, eikä lähetysteho katoa juurikaan antennin yläpuolelle. Näin valinnalla saadaan mahdollisimman paljon peittoa joka suuntaan antennin ympärille. Todellisuudessa säteilykuvio on aina epäsymmetrinen, ja signaalin kulkuun ja voimakkuuteen vaikuttavat vaimenemisen lisäksi monet tekijät, kuten monitie-eteneminen sekä ulkoinen että sisäinen interferenssi. Tämän vuoksi Site Survey on pakollinen onnistuneen lopputuloksen takaamiseksi. Valitun laiteiston joukossa on tukiaseman sisäisiä antennia, sauva-antenneja ja dipoliantenneja. Korkeampiin tiloihin, kuten korkeavarasto ja tavaranalastauslaituri, va-

littiin erilaisia antennimalleja. Kaikki valitut antennit ja tukiasemat toimivat 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuudella.

Korkeavaraston antenniksi tuli valittua Ciscon AIR-ANT5160V-R ja AIR-ANT2506, joista ensimmäinen toimii 5 GHz:n taajuudella ja jälkimmäinen 2,4 GHz:n taajuudella. Näiden antennien tukiasemaksi valikoitui Ciscon AIR-LAP1242AG-x-K9. Tämä tukiasema on yhteensopiva IEEE 802.11a/b/g -standardien kanssa [15]. Tällaisia antenni-tukiasemayhdistelmiä tuli varastoon 13 kappaletta. Varastoon ja lastauslaiturille laitettiin myös edellämainitun tukiaseman kanssa Ciscon AIR-ANT2451V antennia, joka myös toimii sekä 2,4:n että 5 GHz:n taajuusalueella. Tämän antennin sähkö- ja magneettikenttien kuvaajat on esitetty liitteessä 1.

Myyntiosastoille ja henkilökunnan tiloihin tuli valituksi Ciscon AIR-LAP1130AG-x-K9 -tukiasema, joka sopii hyvin toimistotiloihin ja muihin mataliin tiloihin. Tämä tukiasema toimii myös 2,4:n ja 5 GHz:n taajuudella ja tukee IEEE:n 802.11a/b/g -standardeja [17].



Kuva 8. Cisco Aironet 1130AG -tukiasema [27]. Malli: AIR-LAP1130AG-x-K9.



Kuva 9. Cisco Aironet 1240AG -tukiasema [28]. Malli: AIR-LAP1242AG-x-K9.



Kuva 10. Cisco Aironet Four-Element Dual-Band Omnidirectional Antenna [29]. Malli: AIR-ANT2451V. Näitä antennia tuli 5 kappaletta korkeavarastoon ja tavaranalastuslaiturille yhdessä kuvan 9 tukiaseman kanssa.



Kuva 11. Cisco Aironet Omnidirectional Antenna [26]. Mallit: AIR-ANT5160V-R ja AIR-ANT2506. Näitä antenneja tuli kuvan 9 tukiaseman kanssa 13 kappaletta korkeavarastoon.

Kytöntien valitsemisen tärkein kriteeri oli virransyöttö, joten kaikkiin jakamoihin valittiin uusia PoE-kytkimiä. Kytköntien mallit valittiin siten, että ne tukivat virransyötön lisäksi myös laajennettavuutta. PoE-kytkimiksi valittiin Cisco Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2SFP (WS-C3750-24PS-S). Jokaiseen alajakamoon sekä pääjakamoon tuli kaksi tällaista kytkintä, ja yksi kytkin jäi varakytkimeksi siltä varalta, että jokin laite rikkoontuu. Valituissa kytkimissä oli 24 porttia, joten tilaa laajennukselle jäi vielä paljon.

Koska jokaisen jakamon kytkinmäärä päätettiin tuplata laajennettavuuden vuoksi, tuli valittavaksi myös tavallisia kytkimiä ilman virransyöttöä. Valittu kytkin oli Cisco Catalyst 3750 48 10/100 + 4SFP (WS-C3750-48TS-S). Näitä sijoitettiin kaksi pääjakamoon ja kaksi valittuihin alajakamoihin sekä yksi jätettiin taas varalaitteeksi. Lisäksi pääjakamoon Core-kytkimiksi valittiin Cisco Catalyst 3750 12 SFP (WS-C3750G-12S-S) ja Cisco Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4SFP (WS-C3750G-24TS-S1U). Kaikki edellä mainitut kytkimet ovat reitittäviä layer 3 -kytkimiä.

Kytöntien lisäksi oli valittava tarpeita vastaava palomuuuri. Palomuuriksi valittiin Cison ASA5510-AIP10SP-K9 (Adaptive Security Appliance 5500 Series – Advanced Intrusion and Prevention). Palomuuureja tilattiin kaksi kappaletta.

Lopulliset laitevalinnat suoritettiin Pre-Site Surveyn jälkeen, koska silloin myös tarvittavien tukiasemien määrä tarkentuu. Laitteet tilattiin Ciscolta, koska yrityksellä oli sopimus kyseisen laitevalmistajan kanssa. Tukiasemien mallit valittiin verkkosuunnitelman mukaisten tarpeiden mukaan. Tukiasemat eivät olleet esikonfiguroituja valmistajalta tullessa, joten niiden konfigurointi tilattiin Unisys:iltä. Yrityksen toiveena oli, että asiakastiloihin tulevat tukiasemat olisivat mahdollisimman huomaamattomia. Tämä on otettu huomioon tukiasemien väriyksessä ja asennuksessa.

### 3.5 Pre-Site Survey

Langattoman verkon suunnittelua varten on otettava huomioon, että signaali ei katkea liikuttaessa tukiaseman alueelta toiselle. Pre-Site Survey on mittaus, jolla määritellään, mihin tukiasemat tulisi sijoittaa, jotta signaali pysyisi riittävän voimakkaana silloinkin, kun liikutaan tukiaseman solun reunalle ja siirrytään toisen solun alueelle. Signaalin tulee olla katkeamaton ja voimakkuudeltaan riittävän hyvä, jotta vähimmäisbittinopeus saavutetaan. Lähes aina solujen peittoalueet suunnitellaan niin, että ne ovat reunoiltaan limittäin toistensa päällä. Tämä päällekkäisyys takaa, että päätelaite saa solun reunallakin yhteyden ainakin toiseen peittoalueen tukiasemista. Koska täysin symmetrisiä signaalikuvioita ei reaali maailman antennilla pystytä toteuttamaan, tulee väistämättä eteen tilanteita, joissa tukiasemien muodostamaan peittoalueeseen tulee katvekohtia. Näitä voidaan ehkäistä liikuttamalla jokin tukiasema lähemmäs katvetta tai mahdollisesti myös kiertämällä tukiasemaa niin, että signaalikuvio muuttuu muihin suuntiin nähden.

Pre-Site Survey -mittauksen yrityksen tavaratalossa suoritti Unisys. Pre-Site Survey -mittaukseen tarvitaan kaksi ihmistä, joista toisella on antenni ja toisella kannettava tietokone. Mittauksessa käytettiin tavallista kannettavaa tietokonetta, johon oli asennettu Ekahau Site Survey -ohjelma ja jossa oli langaton verkkokortti. Kannettavaan oli tallennettu rakennuksen pohjapiirros, johon ohjelma sijoittaa signaalistaan saamat analysoidut tiedot. Antenni toimii väliaikaisen tukiaseman tavoin lähettäen signaalia kannettavalle, jolloin ohjelma mittaa signaalin voimakkuutta ja muita tekijöitä. Mittaustulosten pohjalta voidaan koota pohjapiirroksuvia, joista käy ilmi muun muassa signaalin voimakkuus, bittinopeudet, signaali-kohinasuhde ja interferenssi. Mitattujen arvojen perusteella voidaan tarkistaa, onko syytä muuttaa jonkin tukiaseman suunniteltua paikkaa.

Usein katselmus tehdään asettamalla simuloitu tukiasema tilan kulmaan tai reunaan ja mittaamalla, kuinka kauas signaali kantaa tarpeeksi voimakkaana. Sitten siirretään tukiasema keskeemmälle rakennusta kohti, jossa signaalin voimakkuus oli vielä tarpeeksi voimakas. Näin tukiasema kattaa suuremman alueen, eikä signaalin tehoa voida turhaan rakennuksen ulkopuolelle jossa käyttäjiä ei ole. Kun tukiasema lähettää signaalia keskeltä reunoja kohti, selvittää pienemmällä tukiasemamäärällä, kuin jos ne lähettäisivät signaalia rakennuksen reunoista keskustaa kohti. Kun tukiasemia on vähemmän, säästyy rahaa ja kaapeloinnin määrä vähenee.



Kuva 12. Unisys:in työntekijät kokoamassa testiantennia Pre-Site Surveyta varten.



Kuva 13. Unisys'in työntekijät virittämässä testiantennia Pre-Site Surveyta varten. Mittausta tehdessä on otettava huomioon antennien todellinen asennuskorkeus, jotta mittaus vastaisi mahdollisimman tarkasti todellisuutta.



Kuva 14. Pre-Site Surveyn aikana halutut tukiasemien paikat merkattiin laserosoitimella, josta otettiin kuva. Kuva on otettu korkeavarastosta, jossa haluttu tukiaseman paikka sijaitsee kahden lampun välissä, jossa pieni punainen piste näkyy.



Kuva 15. Kuva toimistotilan puolelta käytävältä. Punainen piste merkkää tukiaseman paikan.

Pre-Site Surveyn tulokset näkyvät liitteessä 15. Katselmuksesta selvisi samalla, ettei uutta sähkösyöttöä tukiasemille tarvita, koska ne käyttävät PoE-tekniikkaa. Tukiasemien määräksi saatiin 54 kappaletta, joten tämä otettiin huomioon myös wlan-kontrolleria tilattaessa. Tarvittiin sellainen malli, jolla voidaan hallita yli 50 tukiasemaa. Tähän tulokseen oltaisi kuitenkin tultu vaikka tukiasemien määrä olisi jäänyt esimerkiksi 48:aan, sillä varaa laajentamiselle tulee aina olla.

Ennen mitään asennuksia selvitettiin myös tarvittavien virtuaalilähiverkkojen (VLAN) määrä. Yrityksen omaan käyttöön niitä tarvittiin 14 kappaletta ja yksi tarvittiin julkiselle vierasverkolle. Virtuaalilähiverkot mahdollistavat useiden SSID-tunnusten käytön sekä Wlan-verkon jakamisen erillisiin osiin käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi vierasverkosta sallitaan pääsy ainoastaan internetiin, mutta ei yrityksen palvelimille tai muihin laitteisiin. Virtuaalilähiverkkojen konfiguroimisen suoritti Unisys.

## 4 WLAN-verkon toteutus

### 4.1 Kaapelointi

Langattomia tukiasemia varten kaapeloitiin ensin uusia verkkopisteitä. Samalla parannettiin yleiskaapelointia. Verkkopisteet olivat tavallisia verkkopisterasioita, joissa on paikat kahdelle RJ45-liittimelle. Kaapelointi tilattiin Telekat Oy:ltä, joka on heikkovirtajärjestelmiin painottuva talotekniikka-alan yritys.

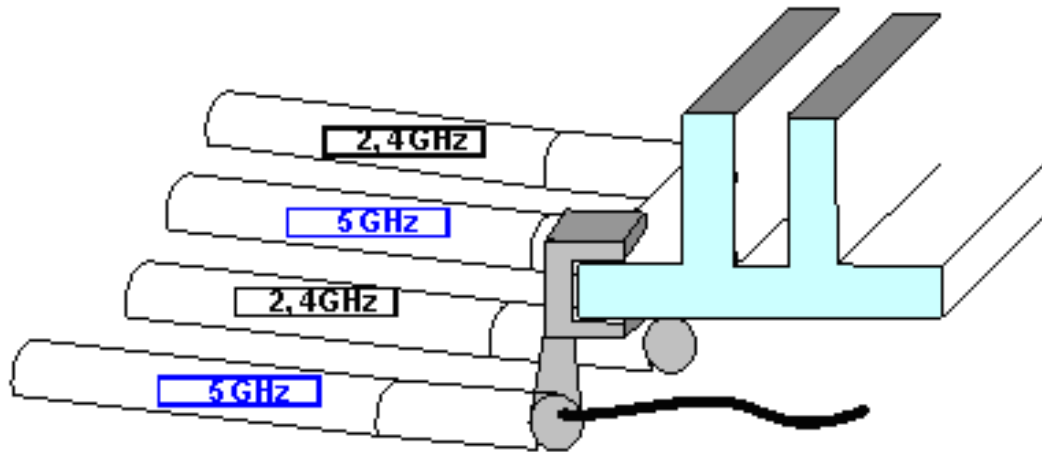
Tukiasemien lopullisten paikkojen ollessa tiedossa voitiin alkaa kaapeloida yhteyksiä verkkopisteistä tukiasemille. Tähän välikaapelointiin käytettiin CAT5e-verkkokaapelia. Välikaapelointi ja yleiskaapelointi olivat aikaa vievää hommaa, jota oli tehtävä myös tavaratalon ollessa auki. Työtä hidasti huomattavasti asiakkaiden liikkuminen tikkaiden ja nostimien läheisyydessä. Kaapeloinnissa otettiin huomioon laajennettavuus, joten verkkorasioita tehdessä alueille vedettiin aina jonkin verran ylimääräisiä verkkorasioita, joita ei kytketty jakamoiden kytkentäpaneeleista kytkimiin, vaan ne jätettiin varalle.

Projektin yhteydessä jakamoiden välikaapelointiin käytettäviä verkkokaapeleita vaihdettiin uusiin värikoodattuihin kaapeleihin ylläpidon helpottamiseksi. Esimerkiksi kaikki maksuliikenteen kaapelit koodattiin huomiota herättävällä värillä, jotta kukaan ei vahingossa siirtele tai irrota kaapeleita ilman asianmukaista lupaa ja ymmärrystä asiasta. Myös tulostinten ja tukiasemien kaapelit värikoodattiin. Laitetelineisiin tulleiden laitteiden kaapeloinnit suoritettiin asianmukaisesti viemällä kaapelit sivuohjureita pitkin siististi telineestä toiseen tai kaapelitikkaille. Tämän tarkoituksena on tietenkin helpottaa ylläpitoa ja nopeuttaa tilanteita, joissa kaapeleita on tarve siirtää tai vaihtaa. Kun kaapelit kulkevat siistissä nipussa ohjausrautoja pitkin, ehkäistään liittimien ja porttien rikkoutuminen sekä kaapelisotkun syntyminen. Kytkinten porttien merkkivalojen näkeminen myös helpottuu, jolloin toimimattoman portin tai kaapelin havaitseminen helpottuu.

### 4.2 Tukiasemien asentaminen

Tukiasemien asentamiseen tuli kirjalliset ohjeet yrityksen omalta IT-hallinnolta. Kuvallisissa ohjeissa on esimerkkejä, kuinka erilaiset antenni-tukiasema-yhdistelmät tulisi asentaa. Asennettaessa tukiasemia asiakastiloihin on otettava huomioon niiden huo-

maamattomuus. Korkeavaraston puolella tukiasemien asentaminen vaati suunnittelua sekä kiinnitysten että sijoittelun kannalta. Tukiaseman tulisi olla sellaisessa paikassa, ettei se ole trukkien tiellä, kun ne nostavat tavaraa hyllystä, mutta kuitenkin mahdollisimman lähellä Pre-Site Survey:ssa määriteltyä sijaintia, jotta haluttu alue saadaan katettua.



Kuva 16. Tässä kuvat ohjeesta, kuinka antenni-tukiasema yhdistelmä tulisi esimerkiksi asentaa korkeavaraston tiloihin. Ylhäällä näkyy, miten antennit (ANT2506 ja ANT5160V) asennetaan niin, ettei kahta samantaajuista antennia ole laitettu vierekkäin.



Kuva 17. Tässä on kuva lopullisesta asennuksesta.



Kuva 18. Lähikuva seinäasennuksesta korkeassa tilassa.



Kuva 19. Kuva toteutuneesta asennuksesta korkeavaraston takaseinältä.



Kuva 20. Ohjeistus, miten tukiasema voidaan asentaa mataliin myyntitiloihin.



Kuva 21. Kuva toteutuneesta asennuksesta. Huomaamattomuudesta kertoo paljon se, että asiakastiloissa kiertäessä on vaikea löytää tukiasemia, vaikka tietää niiden olevan siellä ja tietää paikat suurin piirtein.

Korkeavaraston puolella tuli ottaa asennuksissa huomioon myös suurten ilmastointiputkien aiheuttama signaalin heijastuminen. Tukiasemia ei haluttu laittaa putkien välittömään läheisyyteen. Matalampiin myyntitiloihin tuli asennettavaksi tukiasemia sisäisillä antennilla. Yrityksen toive oli, että tukiasemat olisivat mahdollisimman huomaamattomia asiakkaille. Monissa asennuksissa oli tarpeen muokata mukana tulleita kiinnikkei-

tä tai tehdä sellaiset itse. Myymälätiloissa jokainen asennus voitiin katsoa yksittäistapaukseksi ja erilaiseksi kuin toinen. Toimistotilojen puolella asennukset olivat helppoja, koska tukiasemat voitiin vain kiinnittää suoraan seinään kiinni.

#### 4.3 Post-Site Survey

Kun uusi langaton verkko oli jo otettu käyttöön, tilattiin Unisys:iltä vielä Post-Site Survey. Tämä on hyvä tehdä, jotta voidaan verrata, vastasiko toteutunut kuuluvuuskartta suunniteltua kuuluvuuskarttaa. Post-Site Surveyssa ei havaittu mitään uutta toimenpiteitä vaativaa. Surveysta saadut kuvat osoittavat, että suunnittelu ja toteutus olivat onnistuneet hienosti. Yhtäkään tukiasemaa ei ollut tarpeen siirtää.

Post-Site Surveyyn tarkemmat tulokset näkyvät liitteessä 16.

## 5 Kustannukset ja hyödyt

### 5.1 Laitteiston kustannukset

Projektin konkreettiset kustannukset koostuivat henkilötyötunneista ja laitteiston sekä tarvikkeiden kustannuksista. Laitteisto hankittiin kokonaisuudessaan Ciscolta ja tarvikkeet muita pienemmiltä toimittajilta. Tarvikkeisiin kuuluvat muun muassa uudet kuidut, eripituiset verkko- ja kytkentäkaapelit, kytkentärasiat, erilaiset kiinnitystarvikkeet, nipusiteet ja joitakin työkaluja, joita ei ennestään jo ollut.

Laitevalmistaja Ciscolta tilattujen laitteiden kustannuksiksi tuli noin 122 000 €. Lisäksi ulkopuolisilta toimijoilta tilattuihin sekalaisiin asennustöihin, ja muihin töihin kului noin 40 000 €. Projektin parissa työskennelleiden henkilöiden työtunteihin kulunutta kuluu yritys ei halua tuoda julki.

### 5.2 Hyödyt organisaatiolle

Yrityksen globaalina projektina oli rakentaa langaton verkko jokaiseen tavarataloon. Kun tavaratalojen IT-tuki ja -hallinta on keskitetty aluetasolla, helpottavat standardoidut ratkaisut verkon hallintaa ja vähentävät näin ylläpitokustannuksia. Laitteiston ja verkkojen yhdenmukaisuus helpottaa tuen työtä huomattavasti, kun jokainen ongelmatilanne ei ole erityistapaus ja verkon topologian ratkaisut ovat suhteellisen samanlaisia. Lisäksi langattomalle verkolle voidaan luoda valmiita ongelmanratkaisumalleja, joita voidaan soveltaa globaalisti kaikkialla yrityksen organisaatiossa. Verkolle asetetut vaatimukset takaavat, että tavarataloissa ei ole tehty omia ratkaisuja jotka saattaisivat aiheuttaa ennalta arvaamattomia ongelmia. Yrityksen sisällä standardisoitu verkkoratkaisu mahdollistaa keskitetyt hankinnat, jolloin säästetään ajassa, budjetoinnissa ja kilpailutuksessa.

Langattoman verkon avulla voidaan ottaa käyttöön uusia työkaluja ja -tapoja, joiden tarkoitus on helpottaa ja tehostaa työtä, sekä tätä kautta tuoda yritykselle taloudellista voittoa. Langattoman verkon tuomat hyödyt ovat usein työn tehostumista, kun verkkoon pääsy ei vaadi enää liikkumista päätelaitteen luokse. Langattoman verkon mahdollistamat uudet työtavat ja -kalut luovat isoja säästöjä pitkällä aikavälillä. Minkä tahansa organisaation tai yrityksen, joka on tekemisissä henkilöasiakkaiden kanssa, tulee

myös ottaa huomioon, että asiakas näkee, millaisilla työvälineillä töitä tehdään ja onko työtavat tehokkaita vai aikansa eläneitä. Asiakkaiden laatumielikuva kauppiasta ja yrityksestä muodustuu kaikesta, mikä yritystä edustaa. Uudet ja nykyaikaiset työvälineet sekä tehokkaat ja asiakkaan näkökulmasta yksinkertaiset työtavat luovat parempaa laatumielikuvaa asiakkaalle. Lisäksi, työn tehostuminen uusien investointien kautta tarkoittaa pienempiä kustannuksia työtunteina yritykselle, jolla voi olla suora vaikutus myytävien tuotteiden jälleenmyynti hintoihin tai yrityksen tulokseen ja osakekurssiin. Tämä kaikki vaikuttaa suoraan asiakkaaseen ja osakkeenomistajaan.

Langattoman verkon rakentaminen mahdollisti yrityksen siirtymisen langattomiin käsikannereihin ja trukkipäätteisiin. Tämä langattoman verkon tuoma uusi työkalu tuo mukanaan reaaliaikaisen varastokirjanpidon logistiikkaan, joka vaikuttaa suoraan asiakasyytyväisyyteen ja on siten erittäin tärkeää.

#### 5.2.1 Logistiikka ja varasto

Langaton verkko on mahdollistanut langattomien apuvälineiden hankinnan. Langattomat käsiskannerit ja trukkipäätteet ovat tehostaneet työntekoa huomattavasti. Manuaalisen työn väheneminen ei ainoastaan tehosta ja nopeuta työtä vaan myös vähentää virheiden määrää. Kun logistiikkaa hoidetaan langattomilla laitteilla, ei käyttäjän tarvitse muistaa varastopaikkoja ulkoa. Tavaraa liikuteltaessa skannataan aina tuotteen viivakoodi. Skannattu koodi kertoo, mille paikalle tavara tulee laittaa, ja kun työntekijä vie tavaran väärän paikkaan ja skannaa hyllyn reunasta viivakoodin, tulee ilmoitus, ettei tavara kuulu tälle paikalle. Näin järjestelmä valvoo, ettei virheitä pääse syntymään.

Langattomien laitteiden käyttäminen on myös tehnyt tavaran vastaanottamisesta reaaliaikaisempaa, kun tuotteet skannaamalla ne lisätään varastosaldoihin. Myös asiakkaiden ostosten kerääminen on helpottunut ja nopeutunut, kun kassajärjestelmästä saadaan tilaukset suoraan trukin päätteelle. Kaiken kaikkiaan logistiikka on tehnyt langattoman verkon avulla toiminnastaan kustannustehokkaampaa ja käyttäjille helpompaa. Tämä kaikki näkyy asiakkaalle parempana tuotteiden saatavuutena ja nopeampana tilausten käsittelynä.

### 5.2.2 Myynti

Myyntiä langaton verkko on auttanut kannettavien käsiskannereiden avulla. Kun kyse on suuresta tavaratalosta, ovat välimatkat joskus pitkiä. Jos asiakas haluaa tarkistaa tuotteen hinnan tai saatavuuden, voi työntekijä tarkistaa tiedot suoraan käsiskannerilta. Työn keskeytyminen ja hakeutuminen lähimmälle tietokoneelle oli hidasta ja vaivalloista. Myös monet manuaaliset toimenpiteet voidaan suorittaa suoraan skannerien avulla. Muun muassa rikkoutuneet tuotteet voidaan suoraan poistaa varastosaldoista tai väärää varastosaldoa voidaan muuten korjata vastaamaan todellisuutta.

## 6 Käyttäjien mielipide

Langattoman verkon loppukäyttäjiltä kysyttiin heidän mielipidettään verkon toiminnasta, sen tuomista muutoksista työympäristöön ja toimintatapoihin sekä parannusehdotuksia. Huomioitavaa on, että kyselyyn vastanneet eivät ole tietotekniikan alan tuntijoita, eikä heidän kuvaamansa parannusehdotukset koskeneet langatonta verkkoa itseään vaan sen tuomia hyötyjä.

### 6.1 Käyttökokemukset

Suurin osa vastaajista kertoi langattoman verkon helpottaneen jokapäiväistä työskentelyä ja lisänneen työn tehokkuutta sekä mielekkyyttä. Suurimpana hyötynä koettiin ajankäytön tehostuminen langattomien päätelaitteiden avulla. Turhauttava ja hidastava ylimääräinen käveleminen väheni jokaisella vastanneista. Yli puolet vastaajista koki osaavansa hyödyntää langattomia päätelaitteita työssään ja koki ne helpoiksi tai suhteellisen helpoiksi opetella. Myyntiosastoilla langattomilla päätelaitteilla koettiin olevan positiivinen vaikutus asiakkaiden palvelemisen nopeuteen ja myyjän myyntivarmuuteen, kun laitteesta saa aina reaaliaikaista tietoa tuotteista, tilauksista ja varastosaldosta.

Logistiikassa langattoman verkon koettiin mullistaneen vanhat ja juurtuneet työskentelytavat. Kaikki vastaajat olivat ottaneet langattoman verkon tuomat hyödyt innolla vastaan. Logistiikassa langattomat päätelaitteet vähensivät työntekijöiden virheiden määrää yli 75 %. Tämä on yrityksen kannalta hyvä uutinen, mutta myös työntekijät pitivät positiivisena virheistä johtuvan työn määrän vähenemistä. Turhien ja vanhentuneiden työvaiheiden poistumisen koettiin lisäävään työn mielekkyyttä ja tehokkuutta. Kaikki vastaajat pitivät langattoman verkon suorituskykyä riittävänä.

### 6.2 Parannusehdotukset ja ongelmat

Käyttäjiltä tulleet parannusehdotukset koskivat suurimmaksi osaksi vain langattoman verkon päätelaitteita tai niiden käyttöä. Osa vastaajista mainitsi päätelaitteiden olevan liian herkkiä rikkoutumaan ja kaipasi kestävämpiä päätelaitteita. Myös päätelaitteiden yhteiskäytössä koettiin seuraavia ongelmia:

- Edellinen käyttäjä ei ole laittanut laitetta lataukseen.
- Päätelaitteessa on liian herkkiä osia, jotka voivat rikkoutua.
- Käsiskanneri unohtuu helposti ja hukkuu, kun sen laskee kädestä.
- Edellinen käyttäjä on jättänyt oman tunnuksensa kirjautumisruutuun, jolloin seuraava käyttäjä epähuomiossa laittaa oman salasansa kirjautuakseen. Muutaman yrityksen jälkeen tunnus lukkiutuu.

Nämä ongelmat johtuvat suurimmaksi osaksi käyttäjistä itsestään, joten parannettavaa laitteiston, verkon tai tuen puolesta ei ole.

Langatonta vierasverkkoa ei mitenkään mainosteta asiakkaille, mutta mielestäni liiketoiminnan ja asiakkaiden laatumielikuvan vuoksi sen voisi tehdä. Monissa paikoissa langatonta vierasverkkoa pidetään hyvänä palveluna kuten esimerkiksi hotellit ja kahvilat.

Varsinaisen langattoman verkon suunnittelun ja toteutuksen toteutti alan ammattilaiset, joten kovin paljoa parannettavaa ei ole. Muutaman korkeavarastossa sijaitsevan tukiaseman asennussijaintia olisi voinut parantaa muun muassa tekemällä erillisen telineen pelkästään tukiasemalle ja antennille. Telineeseen olisi voinut suoraan rakentaa hieman suojaa antennille, jotta trukki ei pääse niitä kolhimaan. Toisaalta nykyiseen asennukseen olisi voinut lisätä jonkinlaiset suojaraudat tai esteet, jotta vahingon sattuessa trukki osuu ensin esteeseen ja ehtii reagoida.

## 7 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli perehtyä, miten tavaratalon kokoiseen rakennukseen suunnitellaan ja toteutetaan langattoman verkon rakentaminen. Teoriaosuudessa käytiin läpi langattoman verkon perusidea, sen käyttämät laitteet, tietoturva ja keskeiset standardit. Suunnitteluosuudessa huomioitiin asiakkaan eli yrityksen toiveet langattoman verkon suhteen ja muunnettiin ne tietotekniikan tarpeiksi. Lisäksi kerrottiin, miten projektin aikainen suunnittelu ja työ tulee dokumentoida sekä millaisiin laitteisiin päädyttiin ja miksi. Toteutusosuudessa käytiin läpi varsinaiset työvaiheet sekä jälkikatselmuks, jossa todetaan tavoitteiden saavuttaminen. Työn tarkoituksena oli myös pohtia, mitä hyötyä langattomasta verkosta oli yritykselle sekä kuinka käyttäjät ovat ottaneet sen vastaan.

Työn pohjalta voidaan todeta, että langattoman verkon rakentaminen kannatti sekä työntekijöiden että yrityksen liiketoiminnan kannalta. Langattoman verkon suunnittelu ja rakentaminen on iso investointi, mutta työn tehostumisen ja mielekkyyden kasvun vuoksi investointi tulee maksamaan itsensä takaisin. Uusi verkko mahdollistaa uusia työtapoja, joita ei ennen voitu tehdä.

Site Survey -tuloksista käy ilmi, miten tekniset tavoitteet saatiin täytettyä hyvin ja yrityksen puolesta projektin tulos oli onnistunut. Site Surveyn tulokset jäävät aina myös yritykselle itselleen dokumentaatioksi projektista.

## Lähteet

- [1] Puska, Matti. 2005. Langattomat lähiverkot. Helsinki: Talentum.
- [2] Abramson, Norman. 1985. Development of the ALOHANET. IEEE.
- [3] The First IEEE Workshop on Wireless LANs. Verkkodokumentti. Center for Wireless Information Network Studies. <http://www.cwins.wpi.edu/wlans91/>. Luettu 5.3.2012.
- [4] The Second IEEE Workshop on Wireless LANs: Summary. Verkkodokumentti. Center for Wireless Information Network Studies. <http://www.cwins.wpi.edu/wlans96/scripts/summary.html>. Luettu 5.3.2012.
- [5] Cutting the cord: how the world's engineers built Wi-Fi. Verkkodokumentti. Ars Technica by Iljitsch van Beijnum and Jaume Barcelo. <http://arstechnica.com/gadgets/2011/10/cutting-the-cord-how-the-worlds-engineers-built-wi-fi/>. Luettu 12.9.2012.
- [6] 802.11 Wireless Info & FAQ. Verkkodokumentti. [http://www.datapro.net/techinfo/wifi\\_info.html](http://www.datapro.net/techinfo/wifi_info.html). Luettu 12.9.2012.
- [7] Geier, Jim. 2004. Langattomat verkot. Helsinki: Edita Prima Oy.
- [8] Granlund, Kaj. 2001. Langaton tiedonsiirto. Porvoo: WSOY.
- [9] IEEE 802.11i. Verkkodokumentti. Wikipedia. [http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11i](http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11i). Luettu 3.10.2012.
- [10] SSID. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://fi.wikipedia.org/wiki/SSID>. Luettu 4.10.2012.
- [11] Palomuuri. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Palomuuri>. Luettu 7.10.2012.
- [12] Principal of least privilege. Verkkodokumentti. Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Principle\\_of\\_least\\_privilege](http://en.wikipedia.org/wiki/Principle_of_least_privilege). Luettu 7.10.2012.

[13] Tietoturva nyt > 2011 > syyskuu. Verkkodokumentti. Cert-Fi.

<http://www.cert.fi/tietoturvanyt/2011/09.html>. Luettu 7.10.2012.

[14] Distributed Denial of Service. Verkkodokumentti. Cisco.

[http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/images/ipj/ipj\\_7-4/dos\\_figure\\_4.gif](http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/images/ipj/ipj_7-4/dos_figure_4.gif).

Luettu 7.10.2012.

[15] Cisco Aironet 1240AG and Aironet 1240G Series. Verkkodokumentti. Cisco.

[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6521/product\\_data\\_sheet0900aecd8031c968.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6521/product_data_sheet0900aecd8031c968.html) Luettu 11.4.2013.

[16] Cisco Aironet Four-Element Dual-Band Omnidirectional Antenna (AIR-ANT2451V-R). Verkkodokumentti.

<http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant2451.html>.

Luettu 11.4.2013.

[17] Cisco Aironet 1130AG IEEE 802.11 A/B/G Access Point. Verkkodokumentti.

[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6087/product\\_data\\_sheet0900aecd801b9058.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6087/product_data_sheet0900aecd801b9058.html). Luettu 12.4.2013.

[18] Antenna Defenitions. Verkkodokumentti. <http://www.antenna-theory.com/definitions/hplane.php>. Luettu 20.4.13.

[19] Antenna Defenitions. Verkkodokumentti. <http://www.antenna-theory.com/definitions/eplane.php>. Luettu 20.4.13.

[20] E-plane and H-plane. Verkkodokumentti. [http://en.wikipedia.org/wiki/E-plane\\_and\\_H-plane](http://en.wikipedia.org/wiki/E-plane_and_H-plane). Luettu 20.4.13.

[21] Cisco ASA 5500 Series Advanced Inspection and Prevention Security Services Module and Card. Verkkodokumentti.

[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/vpndevc/ps6032/ps6094/ps6120/ps6825/product\\_data\\_sheet0900aecd80404916\\_ps6120\\_Products\\_Data\\_Sheet.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/vpndevc/ps6032/ps6094/ps6120/ps6825/product_data_sheet0900aecd80404916_ps6120_Products_Data_Sheet.html). Luettu

15.4.2013.

[22] Palomuuri. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Palomuuri>. Luettu 9.4.13.

[23] Wireless LAN Controller. Verkkodokumentti. [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_LAN\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN_controller). Luettu 30.3.2013.

[24] Cisco 5500 Series Wireless Controllers Data Sheet. Verkkodokumentti. [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps6302/ps8322/ps10315/data\\_sheet\\_c78-521631.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps6302/ps8322/ps10315/data_sheet_c78-521631.html). Luettu 30.3.2013.

[25] Router-Switch. Kuva. <http://router-switch.ru/index.php?productID=15684>. Luettu 21.4.2013.

[26] Monocisco. Kuva. <http://www.monocisco.com/air-ant5160v-r>. Luettu 17.3.2013.

[27] GNS Wireless. Kuva. [http://www.gnswireless.com/Cisco\\_AIR-LAP1130AG-A-K9.htm](http://www.gnswireless.com/Cisco_AIR-LAP1130AG-A-K9.htm). Luettu 17.3.2013.

[28] GNS Wireless. Kuva. [http://www.gnswireless.com/Cisco\\_AIR-LAP1242AG-A-K9.htm](http://www.gnswireless.com/Cisco_AIR-LAP1242AG-A-K9.htm). Luettu 17.3.2013.

[29] IPExpress. Kuva. [http://www.ipexpress.cl/pyme/product\\_info.php/cisco-air-ant2451v-p-431](http://www.ipexpress.cl/pyme/product_info.php/cisco-air-ant2451v-p-431). Luettu 17.3.2013.

[30] Router-Switch. Kuva. <http://www.router-switch.com/ws-c3750g-12s-s-p-510.html>. Luettu 17.3.2013.

[31] Radioaalto. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaalto>. Luettu 13.2.2013.

[32] Router-Switch. Kuva. <http://www.router-switch.com/ws-c3750g-12s-s-p-510.html>. Luettu 17.3.2013.

[33] Router-Switch. Kuva. <http://www.router-switch.com/ws-c3750-48ps-s-p-486.html>. Luettu 17.3.2013.

- [34] Cisco Catalyst 3750 Data Sheet. Verkkodokumentti. [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5023/product\\_data\\_sheet0900aecd80371991.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5023/product_data_sheet0900aecd80371991.html). Luettu 20.3.2013.
- [35] Sonix Technology. Kuva. <http://t01.redber.net/sonix/ws-c3750g-24ts-s1u-cisco-catalyst-switch.html>. Luettu 18.3.2013.
- [36] Router-Switch. Kuva. <http://www.router-switch.com/ws-c3750-24ps-s-p-480.html>. Luettu 17.3.2013.
- [37] Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna (AIR-ANT2506). Verkkodokumentti. <http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant2506.html>. Luettu 26.3.2013.
- [38] Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna (AIR-ANT5160V-R). Verkkodokumentti. <http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/antenna/installation/guide/ant5160v.html>. Luettu 26.3.2013.
- [39] IEEE 802.11. Verkkodokumentti. [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11). Luettu 28.4.2013.
- [40] WiMAX. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/802.16>. Luettu 30.3.2013.

## Liite 1: Cisco 5508 Series Wireless Controller ominaisuudet



Kuva 22. Cisco 5508 Wireless Controller [24].

- Malli: AIR-CT5508-100-K9
- 8 kappaletta GigabitEthernet -porttia, yksi 1000BASE-SX -portti ja yksi 1000BASE-LH -portti
- Yksi laajennusportti
- Pystyy hallinnoimaan jopa 100 tukiasemaa
- Hallinnointi:
  - CLI: Telnet, SSH, Serial port
  - Web: HTTP, HTTPS
  - Cisco Wireless Control System (WCS)
- Tuki AAA:lle (Authentication, Authorization, and Accounting)
- Tuetut salaukset: WEP, TKIP-MIC, AES, DES, SSL, TLS, DTLS ja IPSec
- Tukee seuraavia langattomia standardeja: IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11d, WMM/802.11e, 802.11h, 802.11n, 802.11u

- Tietoturvan tuet: IEEE 802.11i, 802.11X, WPA
- Switching ja routing: IEEE 802.3 10BASE-T, IEEE 802.3u 100BASE-TX, 1000BASE-T. 1000BASE-SX, 1000-BASE-LH, IEEE 802.1Q Vtagging ja 802.1AX Link Aggregation
- Small Form-Factor Pluggable (SFP): GLC-T, GLC-SX-MM, GLC-LH-SM

[24.]

## Liite 2: Cisco ASA 5510 AIP-SSM palomuurin ominaisuudet



Kuva 23. Cisco ASA 5510 palomuuuri [25].

- Malli: ASA5510-AIP10SP-K9
- 2 kappaletta GigabitEthernet -porttia, 3 kappaletta 10/100 FastEthernet -porttia
- 2 USB 2.0 -porttia
- Advanced Inspection and Prevention Security Services Module (AIP-SSM)
- Salaus: 3DES, AES
- Palomuuuri suoritusteho (throughput): 300 Mbps
- VPN suoritusteho (throughput): 170 Mbps
- 3DES/AES VPN suoritusteho (throughput): 170 Mbps
- Yhdenaikaisten istuntojen määrä: 50 000
- Day-zero tuki: Kyllä
- IPSec ja VPN: 250 peers
- VLANit: 50

- Keskusmuisti: 1 GB
- Flash-muisti: minimissään 256 MB

[21.]

### Liite 3: Cisco Catalyst 3750 12 SFP kytkimen ominaisuudet



Kuva 24. Cisco Catalyst 3750 12 SFP [32].

- Malli: WS-C3750G-12S-S
- Cisco StackWise Technology: mahdollistaa jopa yhdeksän kytkimen pinoamisen (stacking) yhdeksi loogiseksi yksiköksi
- 32 Gbps nopea stacking –väylä
- Forwarding rate: 17.8 mpps (million packets per second)
- 12 kappaletta SFP GigabitEthernet –porttia
- Reitittävä: IPv4- ja IPv6-reititys
- Tukee RIPv1-, RIPv2-, IGRP-, EIGRP-, OSPF-, BGPv4- ja IS-ISv4-reititysprotokollia
- Tuetut IEEE-standardit: IEEE 802.1s/w/x/D/p/Q, IEEE 802.3ad/af/ab/u/x/z
- Voidaan konfiguroida jopa 12 000 MAC-osoitetta
- 128 MB DRAM ja 16 MB Flash-muisti
- Tukee jopa 1005 VLANia ja Cisco VLAN Trunking Protokollaa (VTP)
- Tuettuja protokollia ja palveluita: DNS, TFTP, NTP, QoS [34.]

## Liite 4: Cisco Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP kytkimen ominaisuudet



Kuva 25. Cisco Catalyst 3750 48 10/100 + 4 SFP [33].

- Malli: WS-C3750-48TS-S
- Cisco StackWise Technology: mahdollistaa jopa yhdeksän kytkimen pinoamisen yhdeksi loogiseksi yksiköksi
- 32 Gbps nopea stacking –väylä
- Forwarding rate: 13.1 mpps
- 48 kappaletta 10/100 FastEthernet –porttia
- 4 kappaletta SFP GigabitEthernet –porttia
- Reitittävä: IPv4- ja IPv6-reititys
- Tukee RIPv1-, RIPv2-, IGRP-, EIGRP-, OSPF-, BGPv4- ja IS-ISv4-reititysprotokollia
- Tuetut IEEE-standardit: IEEE 802.1s/w/x/D/p/Q, IEEE 802.3ad/af/ab/u/x/z
- 128 MB DRAM ja 16 MB Flash-muisti

- Voidaan konfiguroida jopa 12 000 MAC-osoitetta
- Voidaan konfiguroida MTU:n kooksi jopa 9000 tavua
- Tukee jopa 1005 VLANia ja Cisco VLAN Trunking Protokollaa (VTP)

[34.]

## Liite 5: Cisco Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4 SFP kytkimen ominaisuudet



Kuva 26. Cisco Catalyst 3750 24 10/100/1000 + 4 SFP [35].

- Malli: WS-C3750G-24TS-S1U
- Cisco StackWise Technology: mahdollistaa jopa yhdeksän kytkimen pinoamisen yhdeksi loogiseksi yksiköksi
- 32 Gbps nopea stacking –väylä
- Forwarding rate: 38.7 mpps
- 24 kappaletta 10/100/1000 FastEthernet –porttia
- 4 kappaletta SFP GigabitEthernet –porttia
- Reitittävä: IPv4- ja IPv6-reititys
- Tukee RIPv1-, RIPv2-, IGRP-, EIGRP-, OSPF-, BGPv4- ja IS-ISv4-reititysprotokollia
- Tuetut IEEE-standardit: IEEE 802.1s/w/x/D/p/Q, IEEE 802.3ad/af/ab/u/x/z
- 128 MB DRAM ja 32 MB Flash-muisti

- Voidaan konfiguroida jopa 12 000 MAC-osoitetta
- Voidaan konfiguroida MTU:n kooksi jopa 9000 tavua
- Tukee jopa 1005 VLANia ja Cisco VLAN Trunking Protokollaa (VTP)

[34.]

## Liite 6: Cisco Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP kytkimen ominaisuudet



Kuva 27. Cisco Catalyst 3750 24 10/100 PoE + 2 SFP [36].

- Malli: WS-C3750-24PS-S
- Cisco StackWise Technology: mahdollistaa jopa yhdeksän kytkimen pinoamisen yhdeksi loogiseksi yksiköksi
- 32 Gbps nopea stacking –väylä
- Forwarding rate: 6.5 mpps
- 24 kappaletta 10/100 FastEthernet –porttia PoE-toiminnolla
- 2 kappaletta SFP GigabitEthernet –porttia
- Reitittävä: IPv4- ja IPv6-reititys
- Tukee RIPv1-, RIPv2-, IGRP-, EIGRP-, OSPF-, BGPv4- ja IS-ISv4-reititysprotokollia
- Tuetut IEEE-standardit: IEEE 802.1s/w/x/D/p/Q, IEEE 802.3ad/af/ab/u/x/z
- 128 MB DRAM ja 16 MB Flash-muisti
- Voidaan konfiguroida jopa 12 000 MAC-osoitetta

- Voidaan konfiguroida MTU:n kooksi jopa 9000 tavua
- Tukee jopa 1005 VLANia ja Cisco VLAN Trunking Protokollaa (VTP)

[34.]

## Liite 7: Cisco Aironet 1131AG Access Point ominaisuudet



Kuva 28. Cisco Aironet 1131AG tukiasema [27].

- Malli: AIR-LAP1131AG-E-K9 802.11ag LWAPP
- Tukee Lightweight Access Point Protokollaa, jonka avulla tukiasemat keskustelevat Wlan-kontrollerin kanssa
- Suunniteltu toimisto-olosuhteisiin
- Sisäänrakennetut antennit: ympärisäteilevä
- Antennit: 2,4 GHz 3 dBi vahvistus, 5 GHz 4.5 dBi vahvistus
- Taajuudet sekä kanavat:
  - 2,412 – 2,472 GHz alueella 13 kanavaa
  - 5,15 – 5,725 GHz alueella 19 kanavaa

- IEEE 802.11 standardit: a/b/g
- Kantama avoimessa sisätilassa:
  - 802.11a: 54 Mbps (24m) – 6 Mbps (100m)
  - 802.11g: 54 Mbps (30m) – 1 Mbps (137m)
- Tuetut autentikaatiot: WPA, WPA2 (802.11i), Cisco TKIP, Cisco MIC, 40- ja 128-bittiset 802.11 WEP-avaimet
- Tukee monia erilaisia 802.1X EAP-tyyppejä
- Tuetut salaukset: AES-CCMP (WPA2), TKIP (WPA), Cisco TKIP, WPA TKIP, 40- ja 128-bittiset 802.11 WEP-avaimet
- Tukee Power over Ethernet virransyöttöä

[17.]

## Liite 8: Cisco Aironet 1242AG Access Point ominaisuudet



Kuva 29. Cisco Aironet 1242AG tukiasema [28].

- Malli: AIR-LAP1242AG-E-K9 802.11ag LWAPP
- Tukee Lightweight Access Point Protokollaa, jonka avulla tukiasemat keskustelevat Wlan-kontrollerin kanssa
- Suunniteltu tehdas- ja varasto-olosuhteisiin sekä suuriin tavarataloihin
- Kestävä metallikuori
- Ei sisäänrakennettuja antennejä. Antenniliittimet tukevat laajasti erilaisia 2,4 GHz ja 5 GHz antennejä.
- Voidaan konfiguroida myös toistimeksi tai sillaksi
- IEEE 802.11 standardit: a/b/g
- Kantama avoimessa sisätilassa:

- 802.11a: 54 Mbps (26m) – 6 Mbps (100m)
- 802.11g: 54 Mbps (32m) – 1 Mbps (140m)
- Tuetut autentikaatiot: WPA, WPA2 (802.11i), Cisco TKIP, Cisco MIC, 40- ja 128-bittiset 802.11 WEP-avaimet
- Tukee monia erilaisia 802.1X EAP-tyyppejä
- Tuetut salaukset: AES-CCMP (WPA2), TKIP (WPA), Cisco TKIP, WPA TKIP, 40- ja 128-bittiset 802.11 WEP-avaimet
- Tukee Power over Ethernet virransyöttöä

[15.]

## Liite 9: Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna ominaisuudet



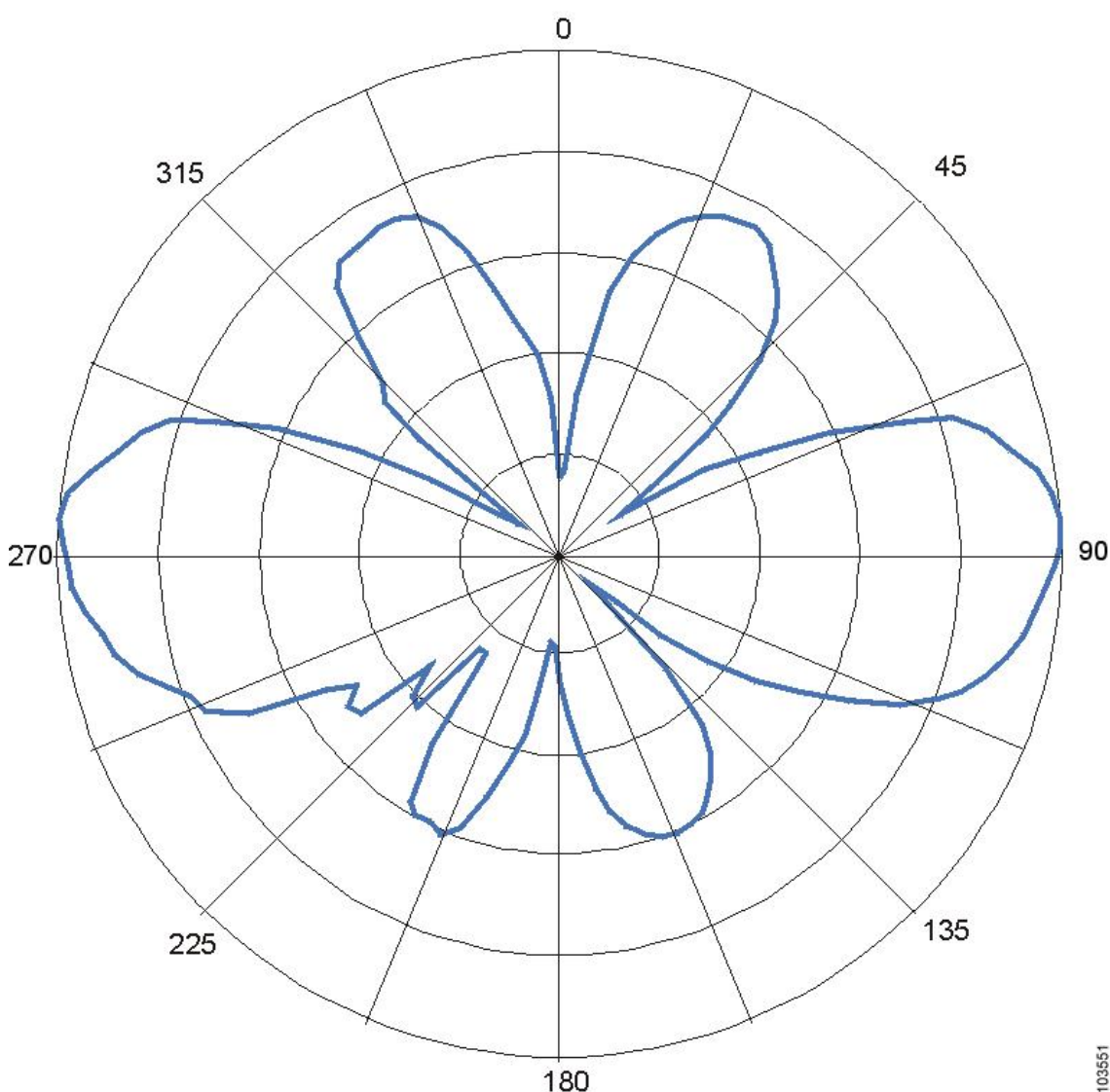
Kuva 30. Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount antenni [26].

- Mallit: AIR-ANT2506 (2,4 GHz) ja AIR-ANT5160V (5 GHz)
- Antennityyppi: dipoli (ympärisäteilevä)
- Taajuudet ja vahvistus:
  - AIR-ANT2506: 2,4 – 2,84 GHz / 5.2 dBi
  - AIR-ANT5160V: 5,15 – 5,875 GHz / 6 dBi
- Polarisaatio:
  - AIR-ANT2506: Lineaarinen sekä pystysuuntainen
  - AIR-ANT5160V: Lineaarinen

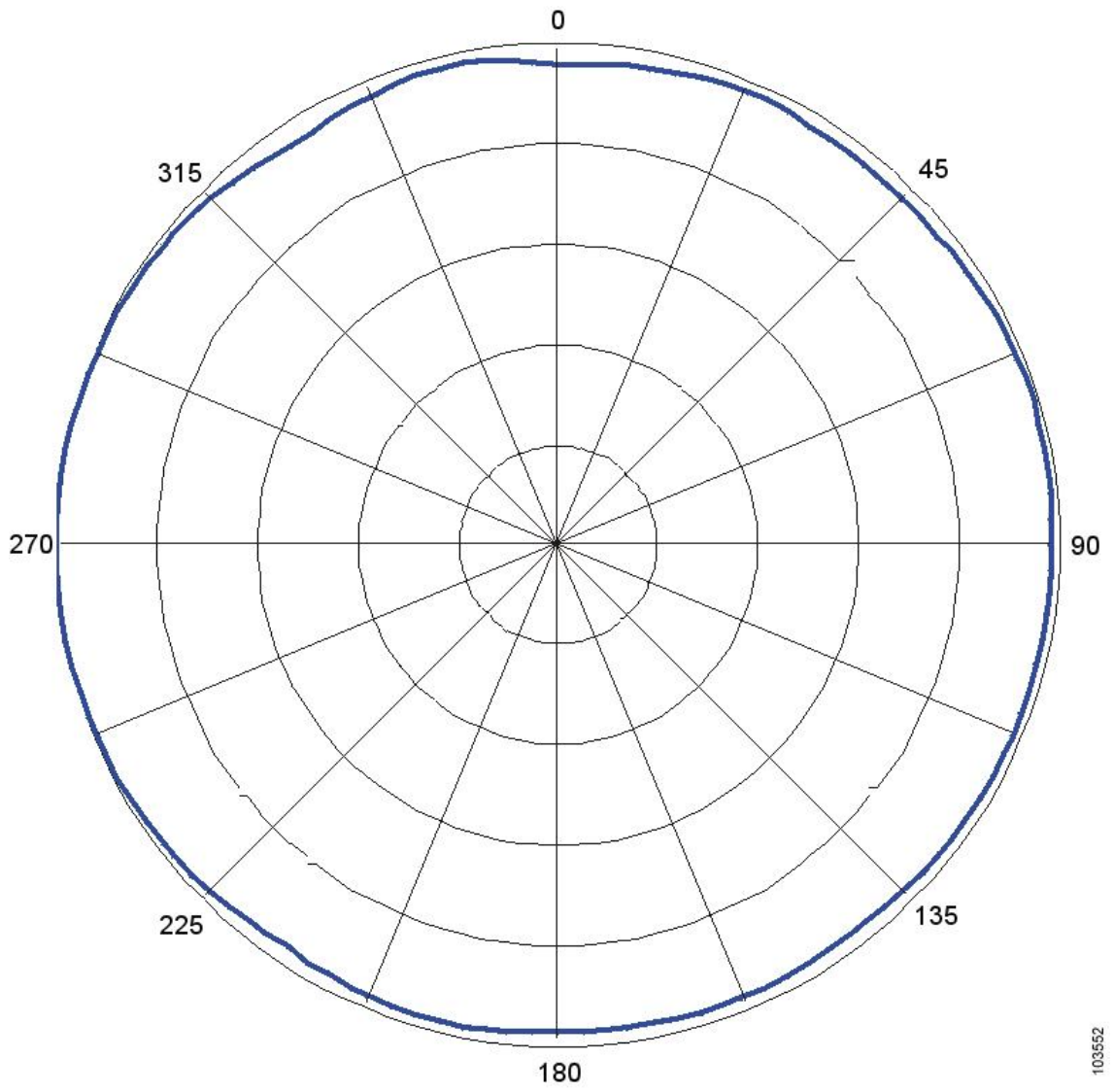
[37; 38.]

## Liite 10: Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna E- ja H-plane säteilykuviot

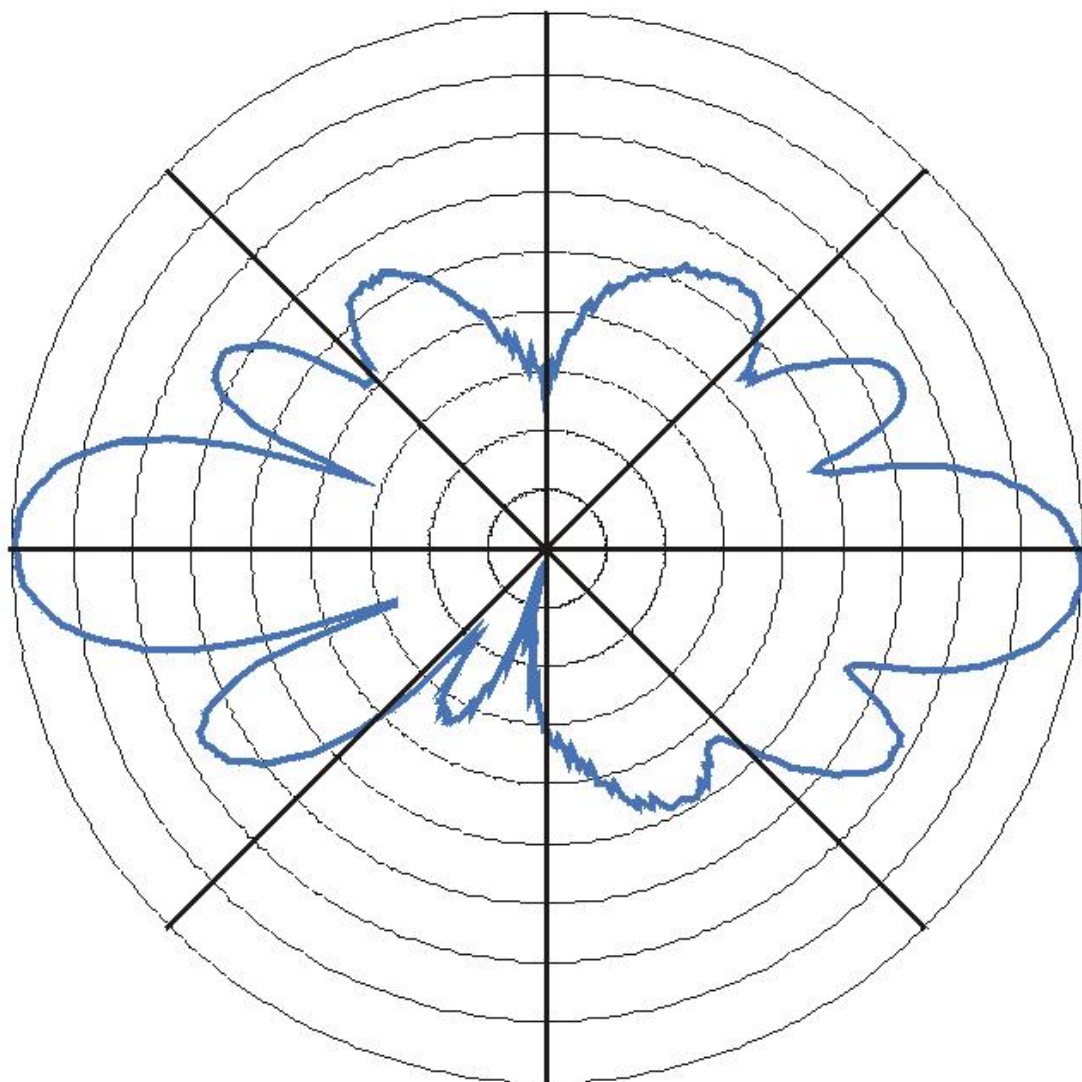
E-plane kuvaa antennin sähkökentän vektoria ja sen voimakkaimman säteilyn suuntaa. H-plane kuvaa antennin magneettikentän vektoria ja sen voimakkaimman säteilyn suuntaa. E- ja H-plane ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Pystysuoraan polarisoidun dipoliantennin E-planen kuvaaja on usein kolmiulotteisen donitsin muotoinen. H-plane kuvaaja on tämän donitsin poikkileikkaus eli ympärämäinen. [18; 19.]



Kuva 31. AIR-ANT2506 antennin E-plane säteilykuvio [37].

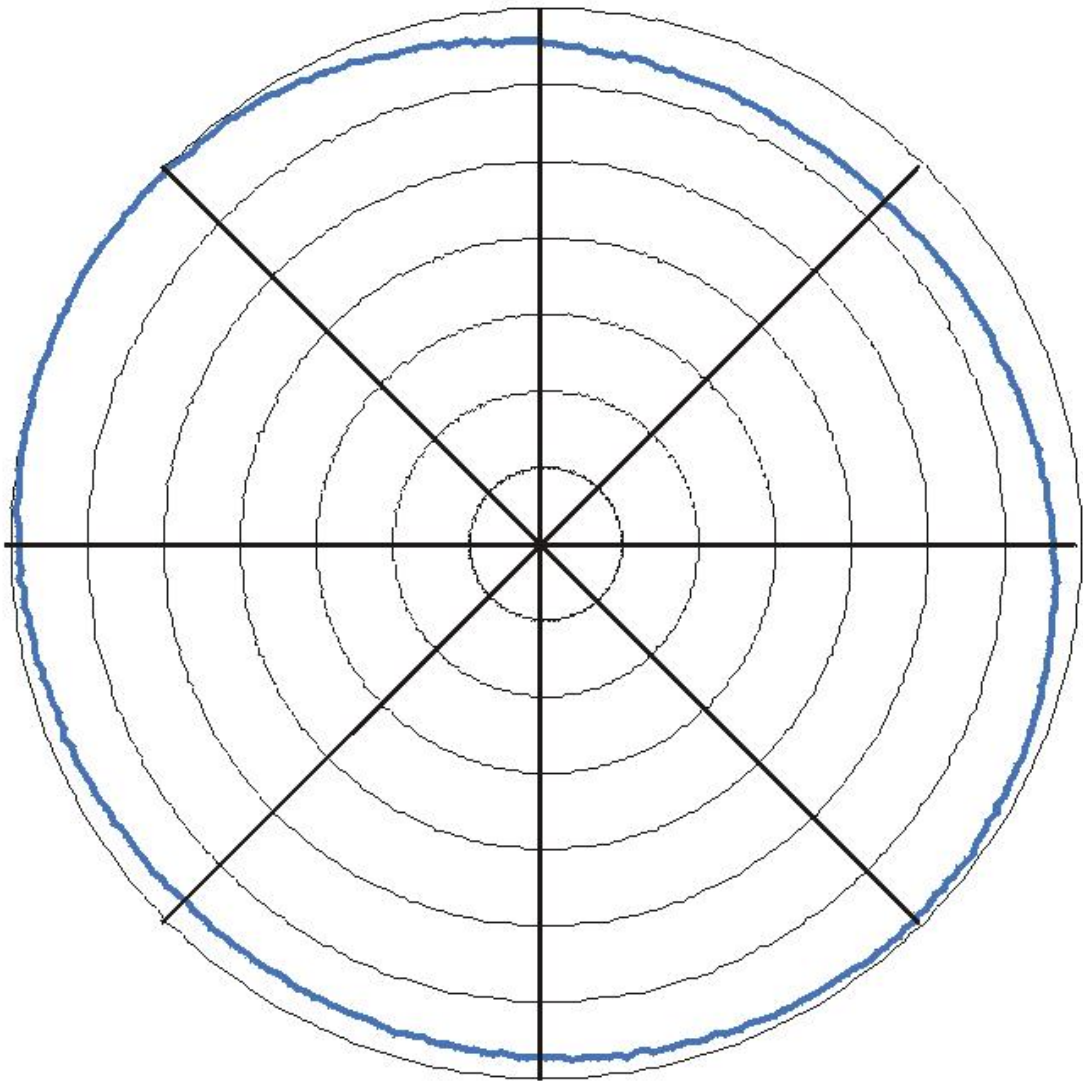


Kuva 32. AIR-ANT2506 antennin H-plane säteilykuvio [37].



12/803

Kuva 33. AIR-ANT5160V antennin E-plane säteilykuvio [38].



121804

Kuva 34. AIR-ANT5160V antennin E-plane säteilykuvio [38].

## Liite 11: Cisco Aironet Four-Element Dual-Band Omnidirectional Antenna ominaisuudet



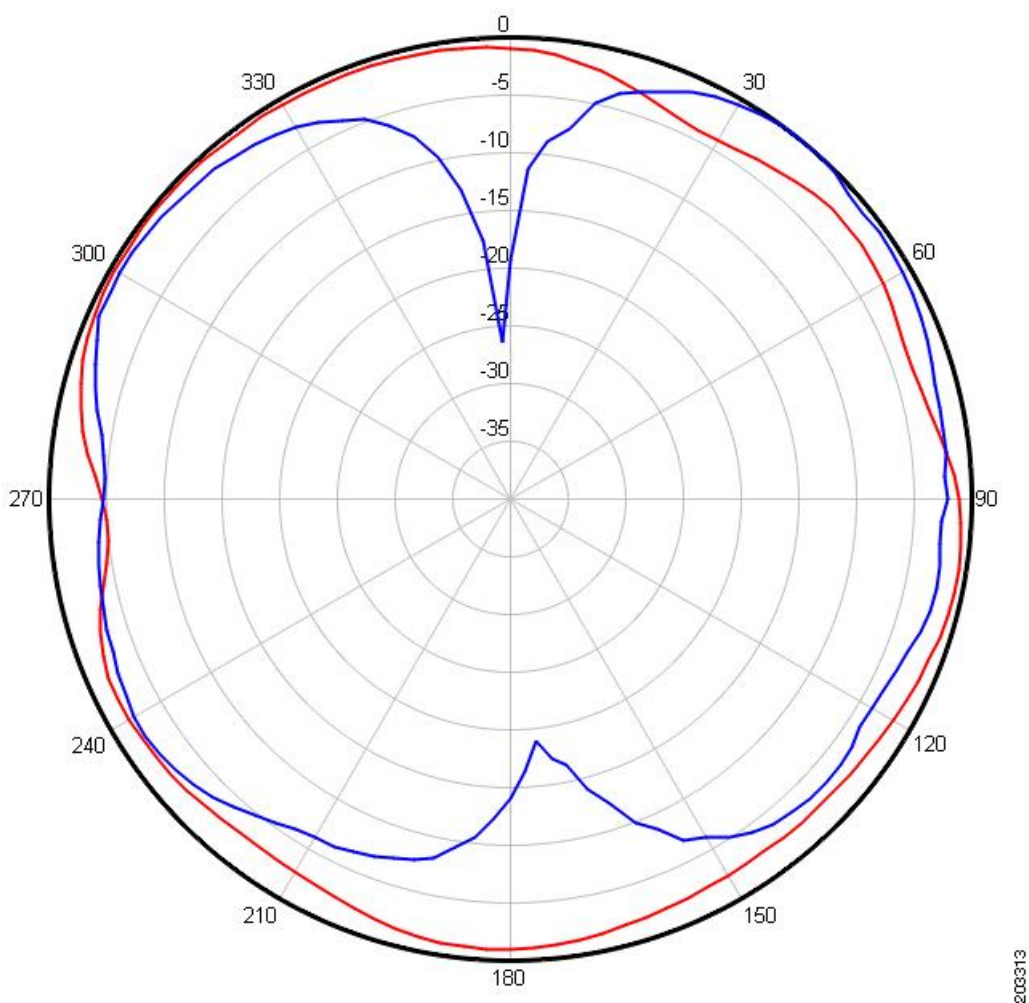
Kuva 35. Cisco Aironet Four-Element Dual-Band Antenna [29].

- Malli: AIR-ANT2451V
- Taajuudet ja vahvistus:
  - 2,4 – 2,5 GHz / 2 dBi
  - 5,15 – 5,85 GHz / 3 dBi
- Polarisaatio: lineaarinen
- Antenni: ympärisäteilevä

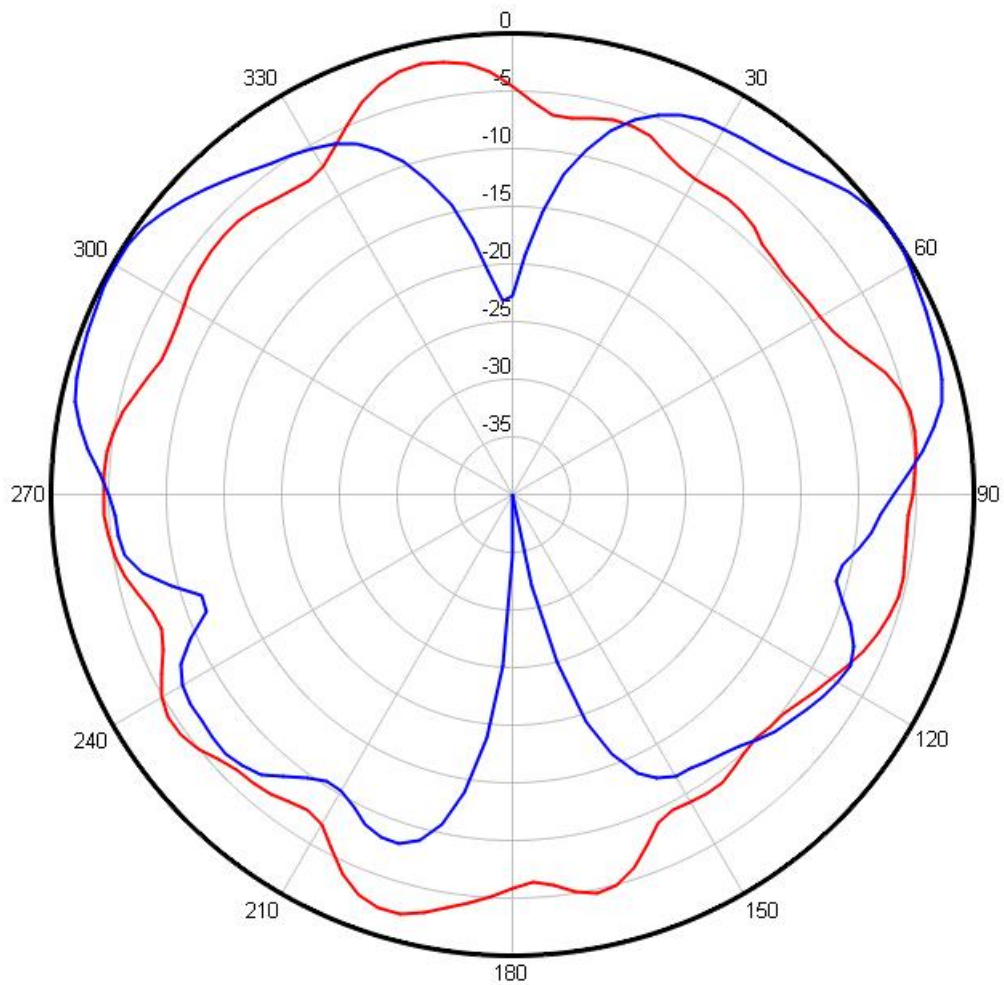
[16.]

## Liite 12: Cisco AIR-ANT2451V antennin E- ja H-plane kuvaajat

E-plane kuvaa antennin sähkökentän vektoria ja sen voimakkaimman säteilyn suuntaa. H-plane kuvaa antennin magneettikentän vektoria ja sen voimakkaimman säteilyn suuntaa. E- ja H-plane ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Pystysuoraan polarisoidun dipoliantennin E-planen kuvaaja on usein kolmiulotteisen donitsin muotoinen. H-plane kuvaaja on tämän donitsin poikkileikkaus eli ympärämäinen. [18; 19; 20.]




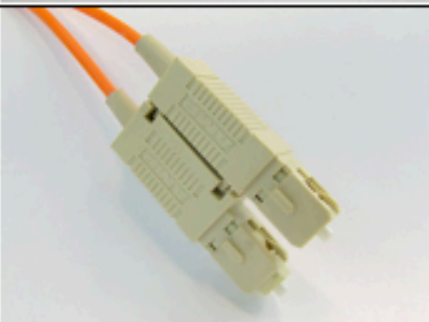
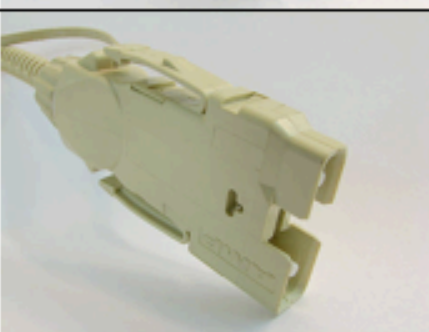


Kuva 36. 2,4 GHz E- ja H-plane kuviot. Ympyrän kehällä asteet ja säteittäisillä viivoilla antennin vahvistus (dBi). Sinisellä viivalla on merkitty E-plane ja punaisella viivalla H-plane. [16.]



200315

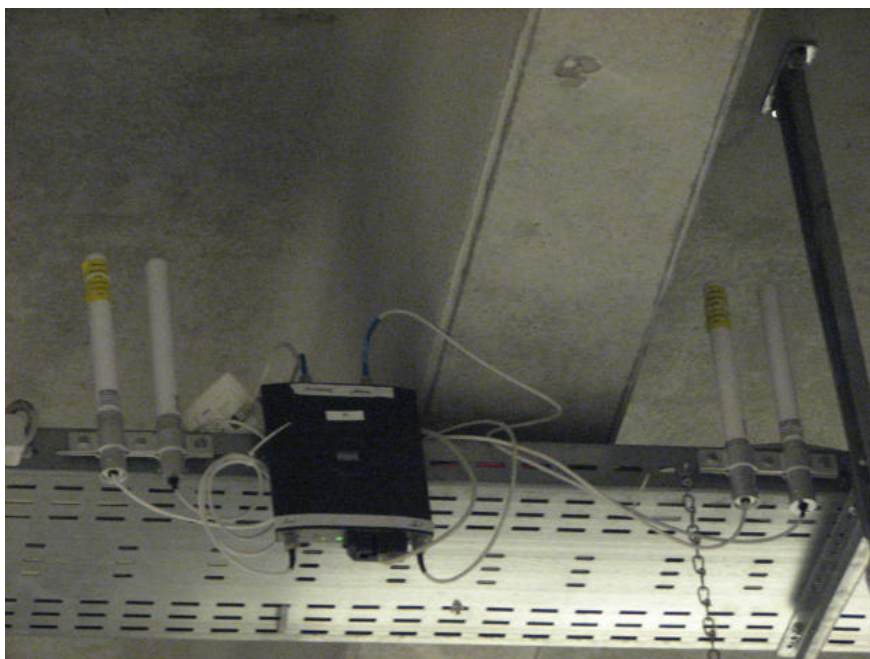
5 GHz E- ja H-plane kuviot. Ympyrän kehällä asteet ja säteittäisillä viivoilla antennin vahvistus (dBi). Sinisellä viivalla on merkitty E-plane ja punaisella viivalla H-plane. [16.]

**Liite 13: Kuituliittimet**

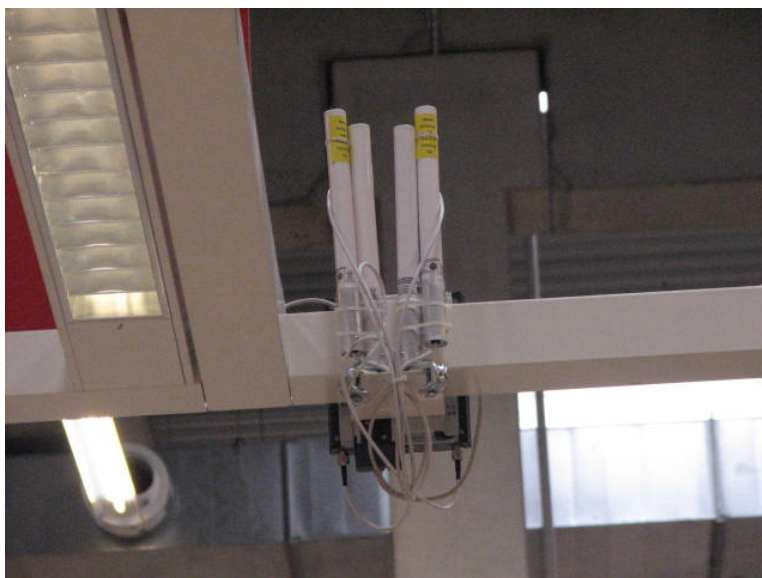
Connector	Type
	LC
	SC
	FDDI
	ST
	SMA

Kuva 37. Projektin dokumentaatiosta otettuja kuvia kuituliittimistä.

### Liite 14: Vääriä tukiasema asennuksia



Kuva 38. Tukiasema on liian lähellä betonipylvästä.



Kuva 39. Antennit on asennettu liian matalalle ja liian lähelle toisiaan.



Kuva 40. Antenni on asennettu vaakatasoon, mutta pitäisi asentaa pystysuoraan kuten tukiasemakin on asennettu.

## Liite 15: Pre-Site Surveyn tulokset

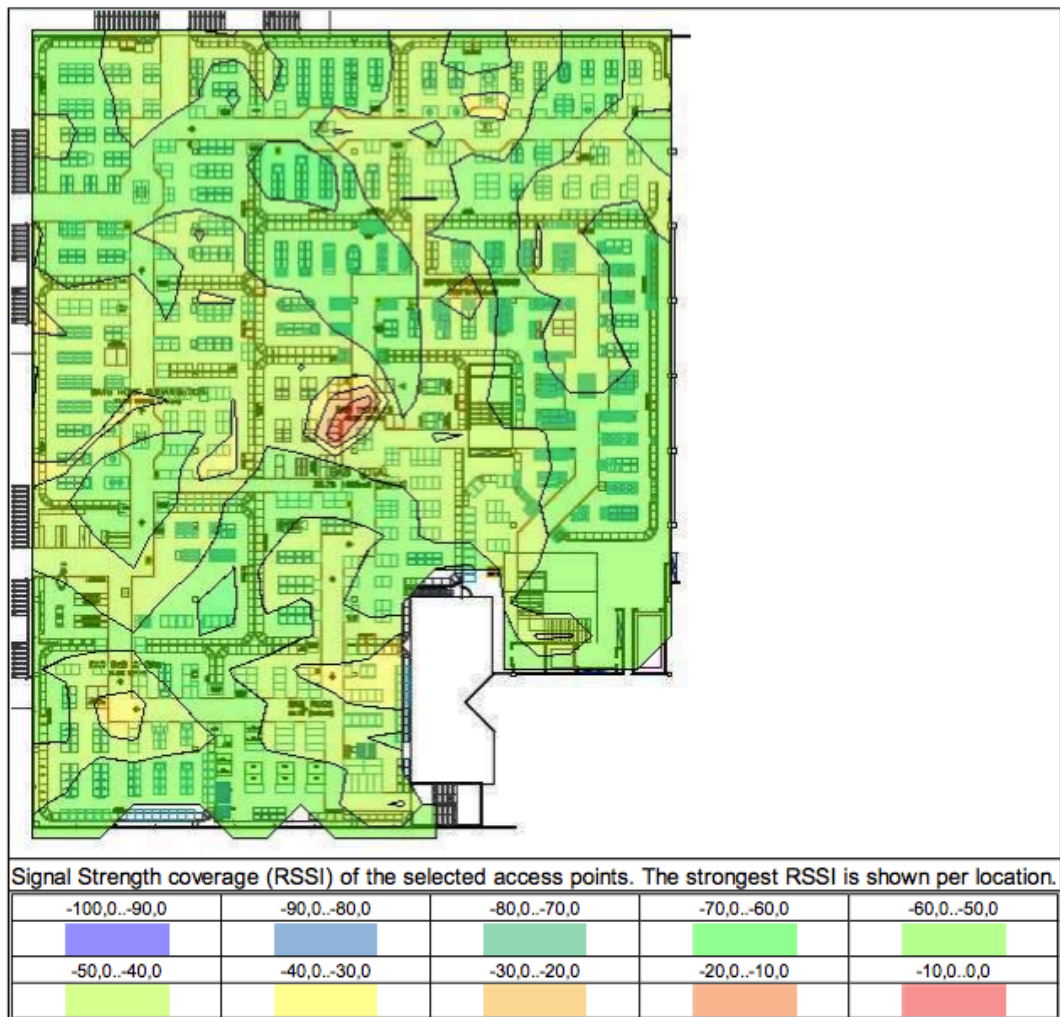
Alla on esitetty tulokset alakerran myyntitiloista sekä sen jälkeen korkeavaraston toisesta puolikkaasta.

### Sample Points and Access Point Locations



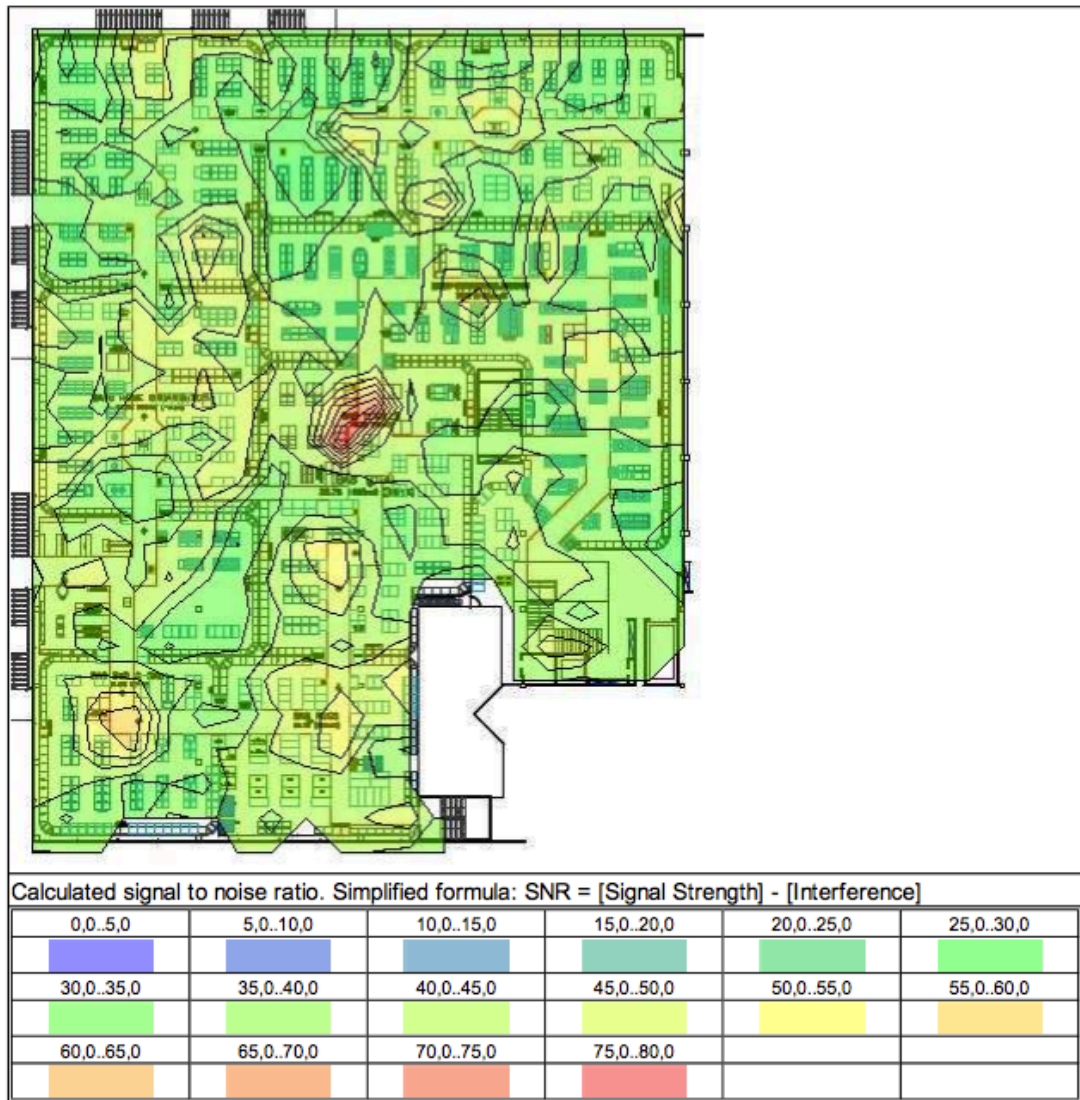
Kuva 41. Kuvassa näkyy vihreinä pisteinä kuinka kannettava on kulkenut myyntiosaston käytävillä. Keskellä olevat punaiset pisteet ovat simuloitua tukiasemat.

## Signal Strength



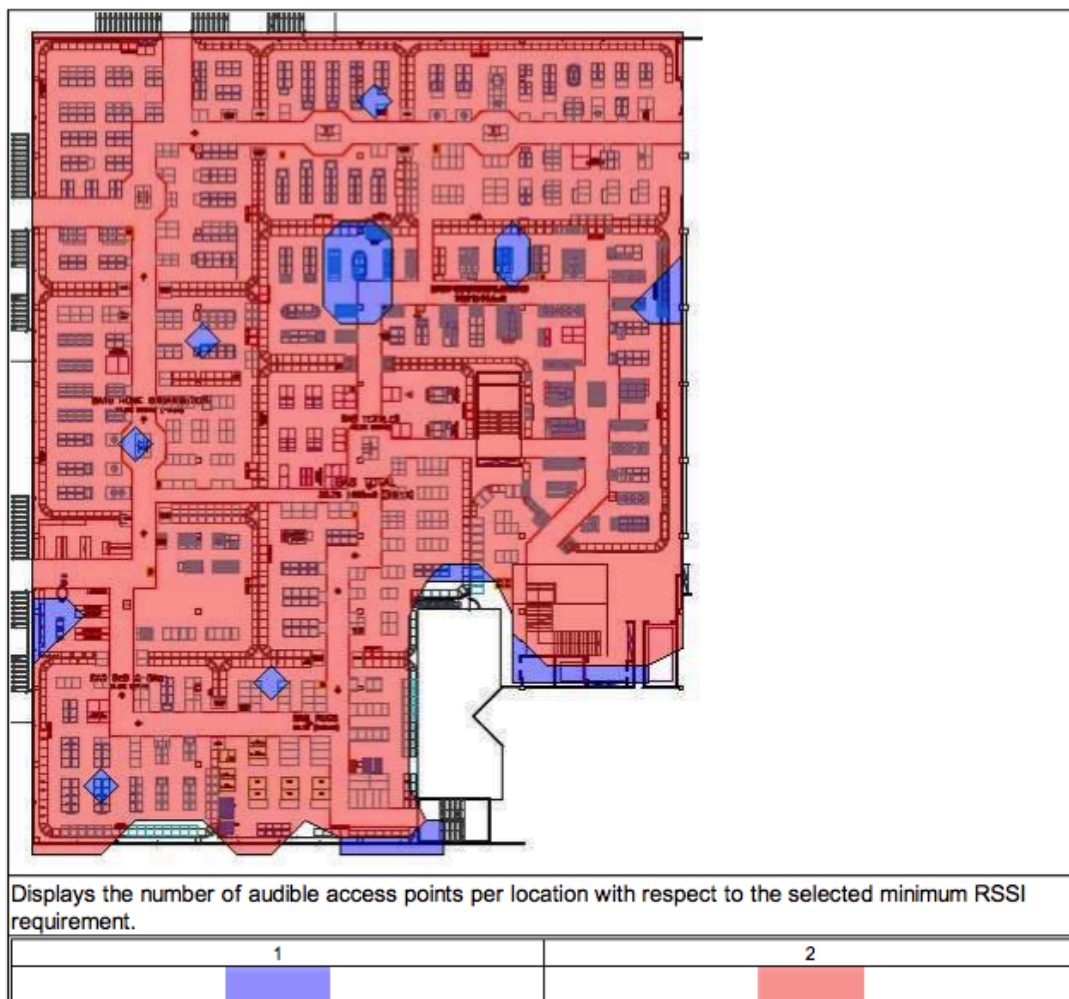
Kuva 42. RSSI (Recieved Signal Strenght Indication). Kuvasta näkee kuinka voimakas signaali on kun edetään kauemmas tukiasemasta. Voimakkuuteen vaikuttaa signaalin kulkureitillä olevat esteet, kuten seinät.

### Signal-to-Noise Ratio



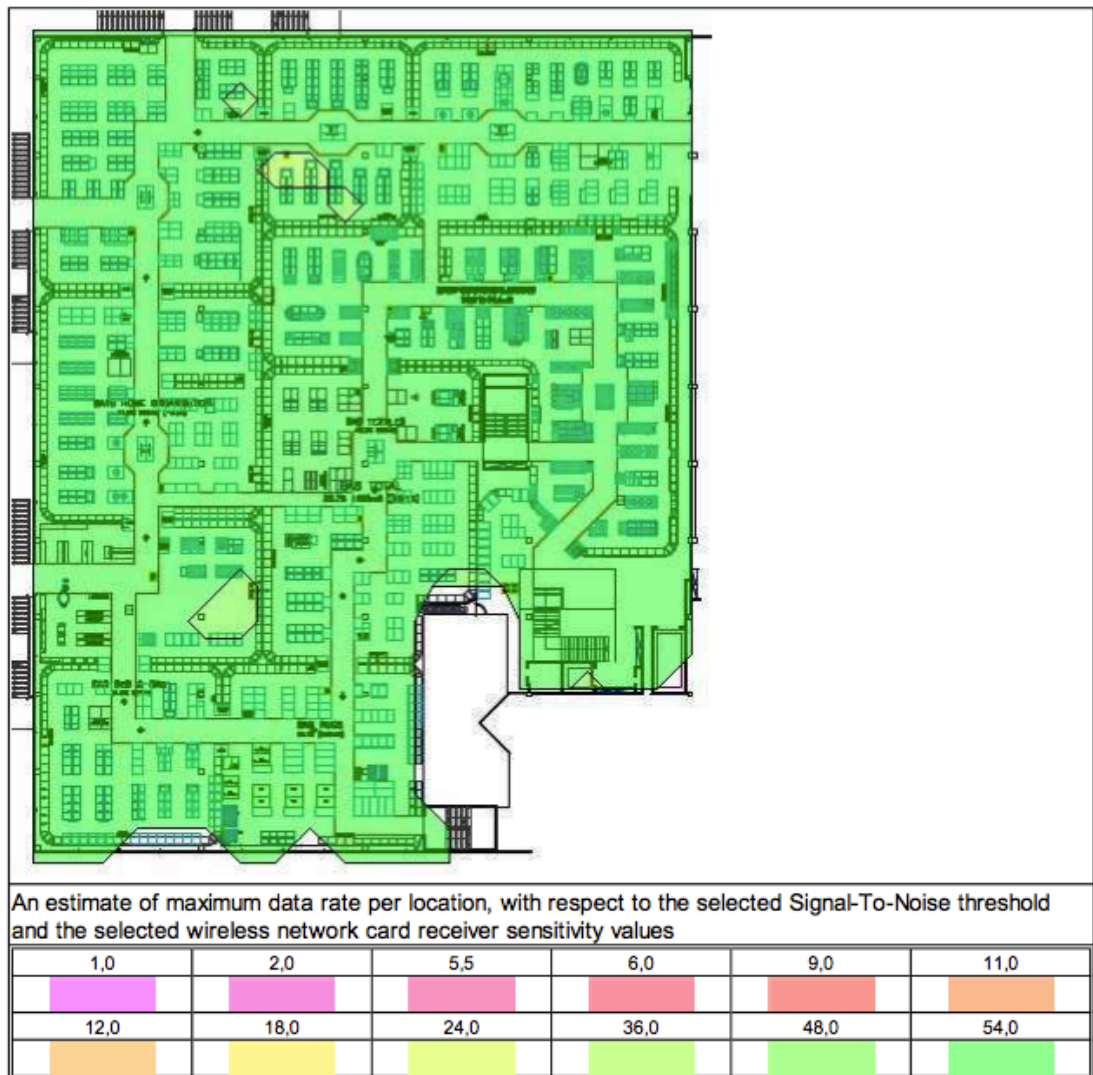
Kuva 43. Kuvassa signaali-kohina suhde laskettuna kaavalla:  $SNR = \text{signaalin voimakkuus} - \text{häirintä}$ .

### Access Point Count

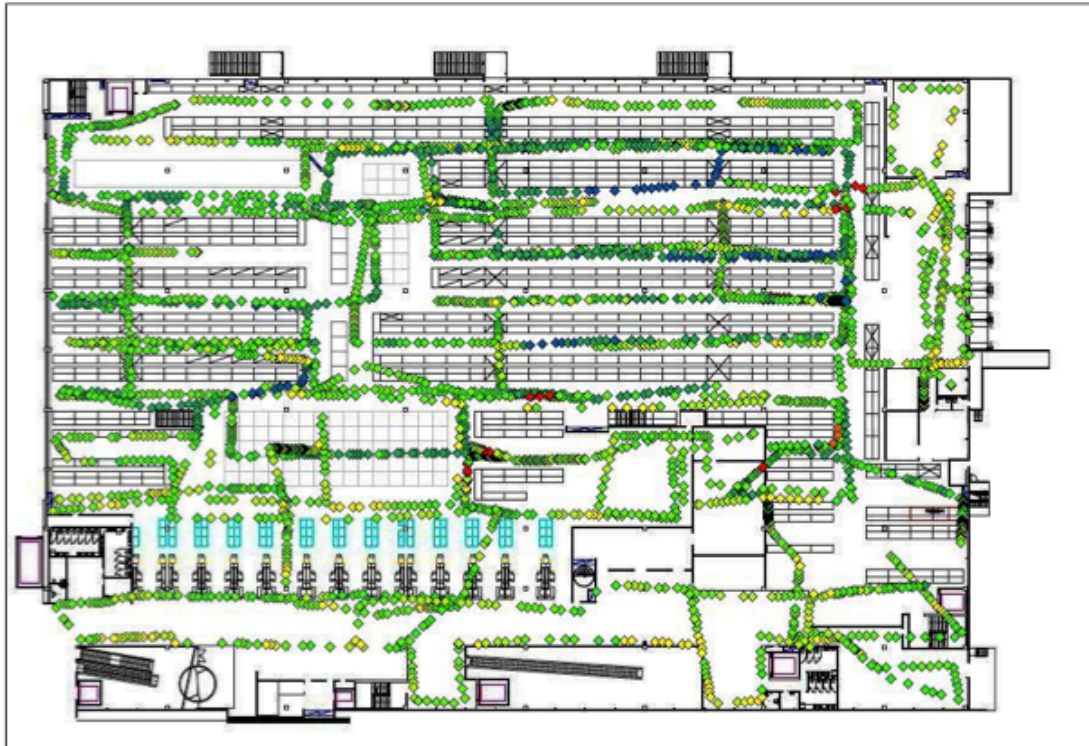


Kuva 44. Punaisilla alueilla päätelaite on kahden tukiaseman alueella, jolloin yhteys säilyy vaikka toinen tukiasema lakkaisi toimimasta. Violetilla alueella päätelaite on yhden tukiaseman varassa.

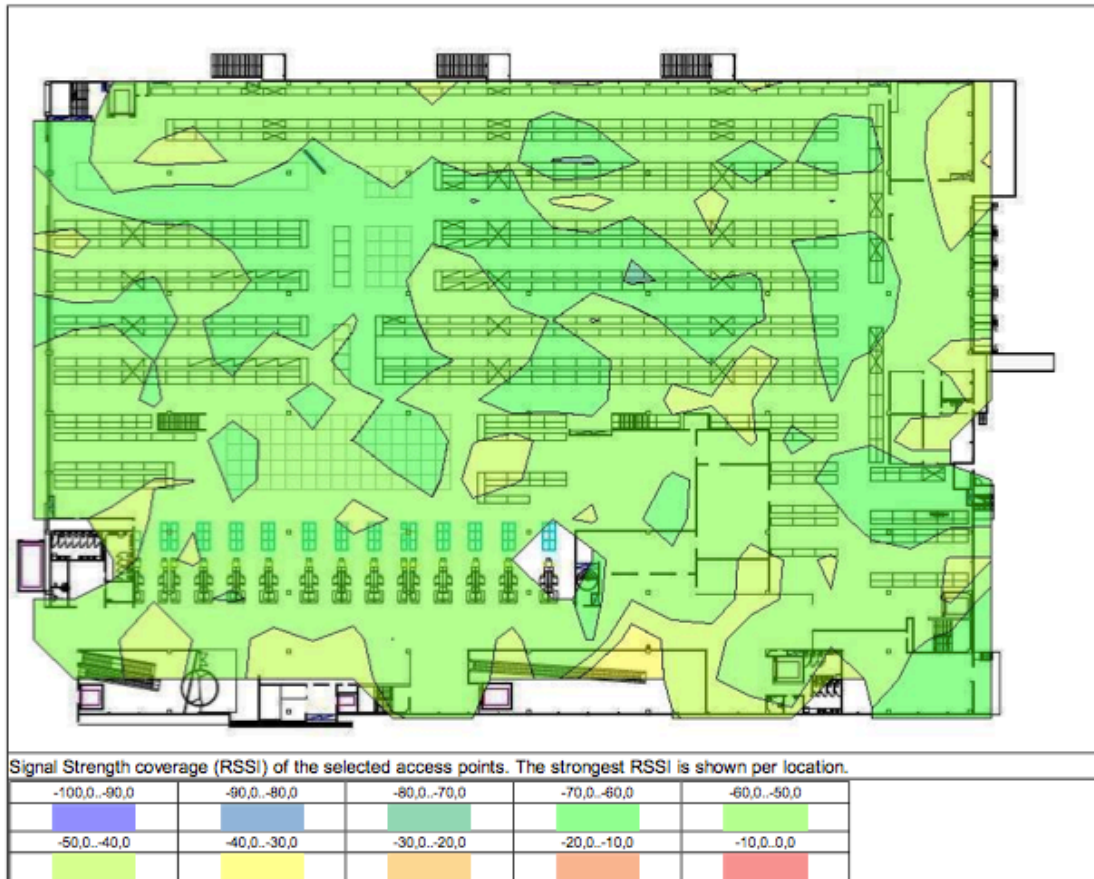
## Data Rate



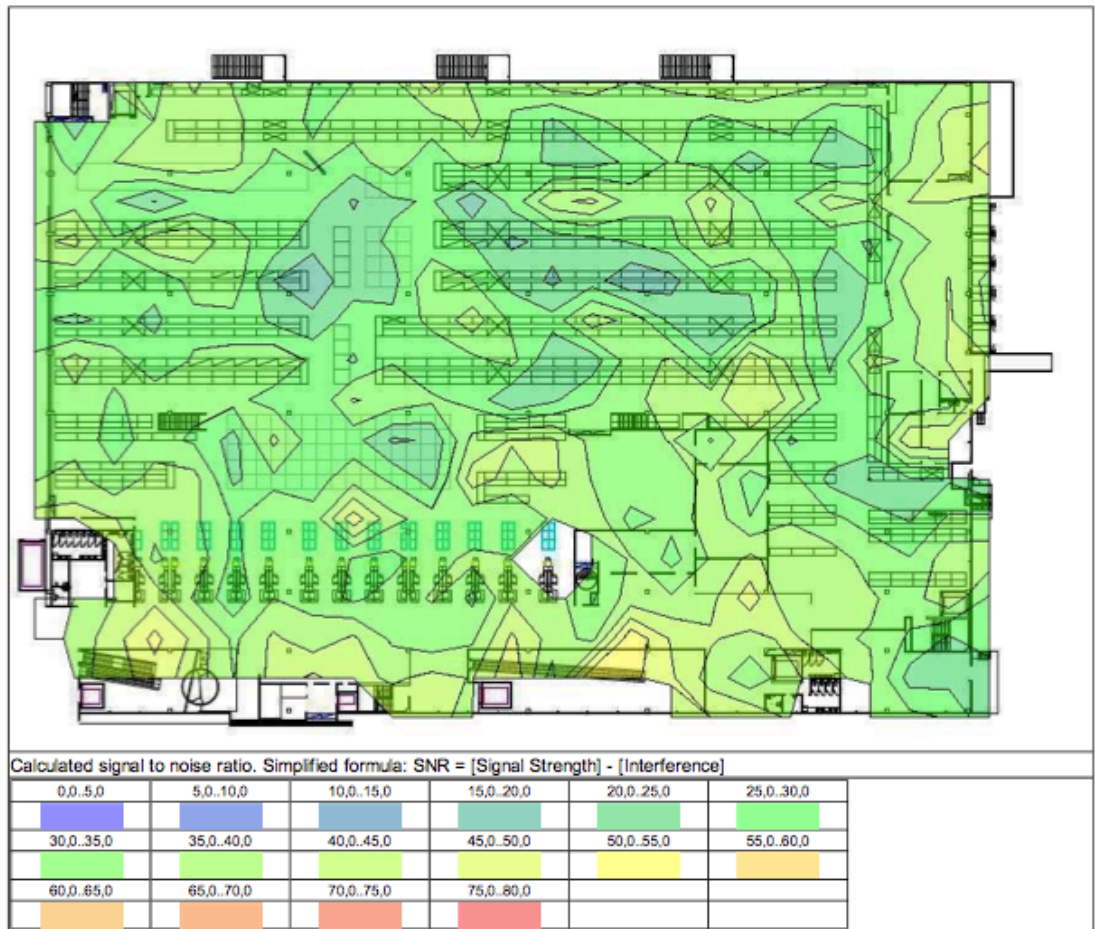
Kuva 45. Saavutettu siirtonopeus paikkaan nähden. Koko osaston alueella siirtonopeus näyttää saavuttavan asetetut tavoitteet.

**Sample Points and Access Point Locations**

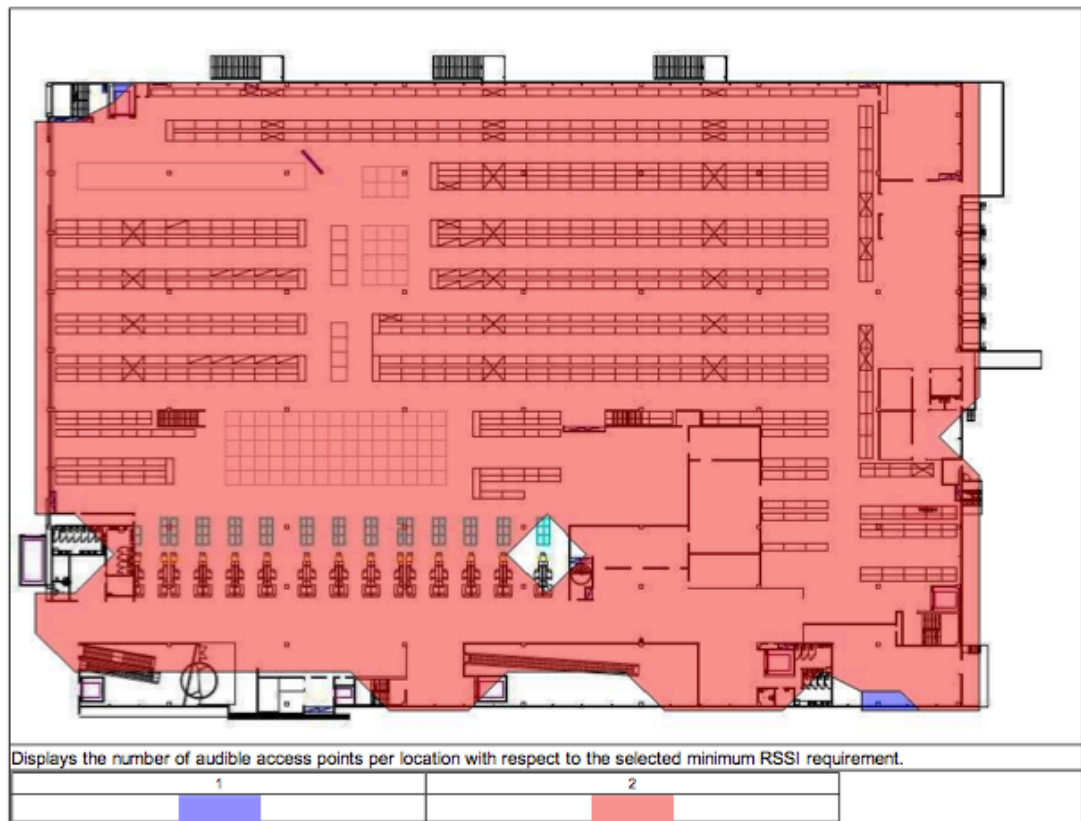
Kuva 46. Sama kuva kuin kuva 41, mutta korkeavaraston puolelta. Kuvan perusteella voidaan päätellä, että Site Survey katselmus tavaratalon kokoisessa rakennuksessa vaatii paljon kävelyä ja aikaa.

**Signal Strength**

Kuva 47. Korkeavaraston signaalin voimakkuudet. Valkoinen kohta kuvassa on katvealue. Näitä yllättäviä katvealueita varten oikeita mittaustuloksia tarvitaan.

**Signal-to-Noise Ratio**

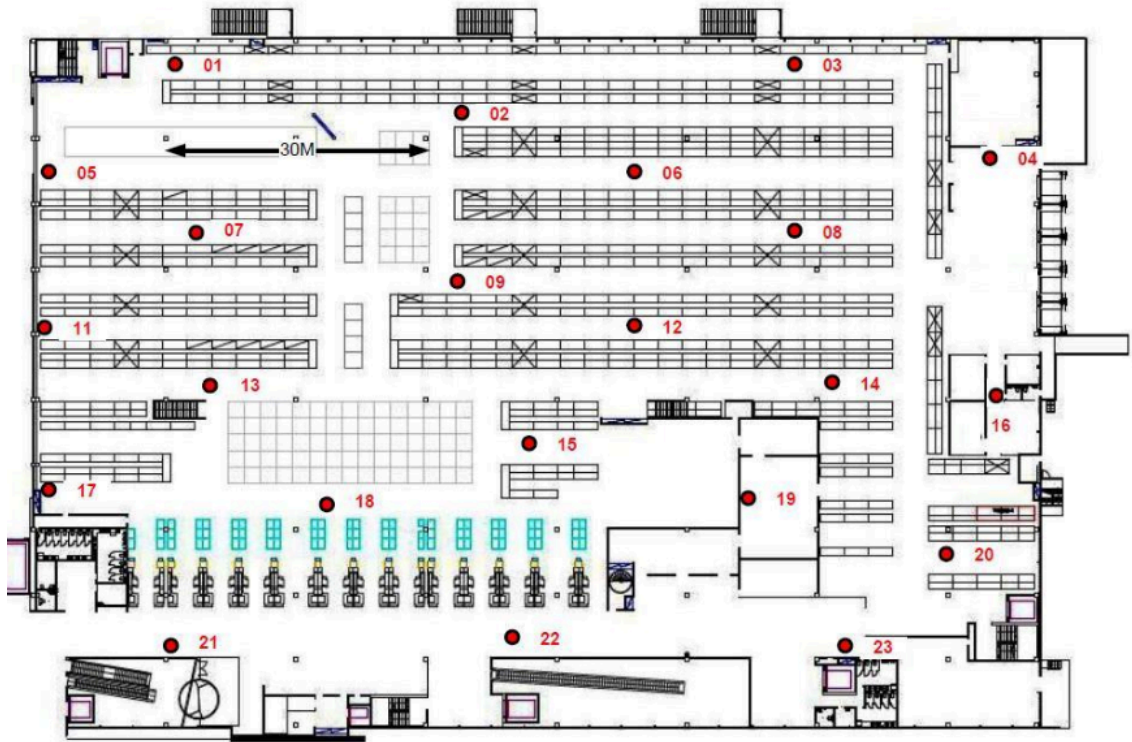
Kuva 48. Korkeavaraston signaali-kohina suhde. Kuvasta havaitaan, että korkeavarastossa olevat suuret ilmastointi putket sekä korkeat metalliset varastohyllyt aiheuttavat jonkin verran häiriötä.

**Access Point Count**

Kuva 49. Käytännössä katsoen koko korkeavaraston alueella päätelaite saa aina yhteyden kah-teen tukiasemaan.

**Data Rate**

Kuva 50. Korkeavarastossa on muutama kohta joissa siirtonopeus putoaa jopa 18 – 24 Mbps. Nämä kohdat ovat kuitenkin todella pieniä, noin muutaman neliömetrin kokoisia alueita, eivätkä vaikuta käytännössä työskentelyyn heikentävästi.

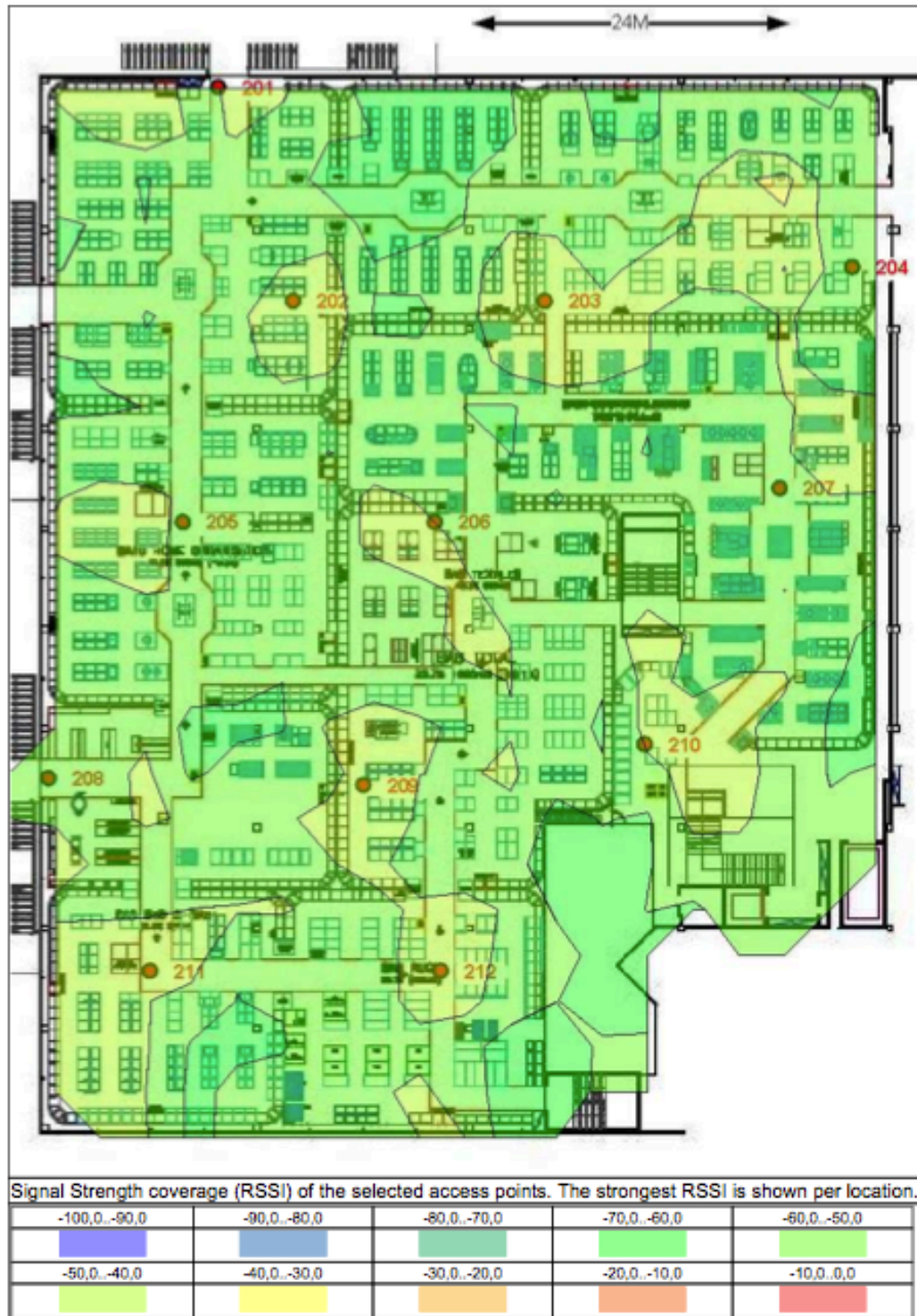


Kuva 51. Tukiasemien suunnitellut paikat korkeavarastossa.

## **Liite 16: Post-Site Surveyn tulokset**

Ensiksi on esitetty alakerran myyntiosaston tulokset ja sitten korkeavaraston toisen puolikkaan tulokset.

### Received Signal Strength



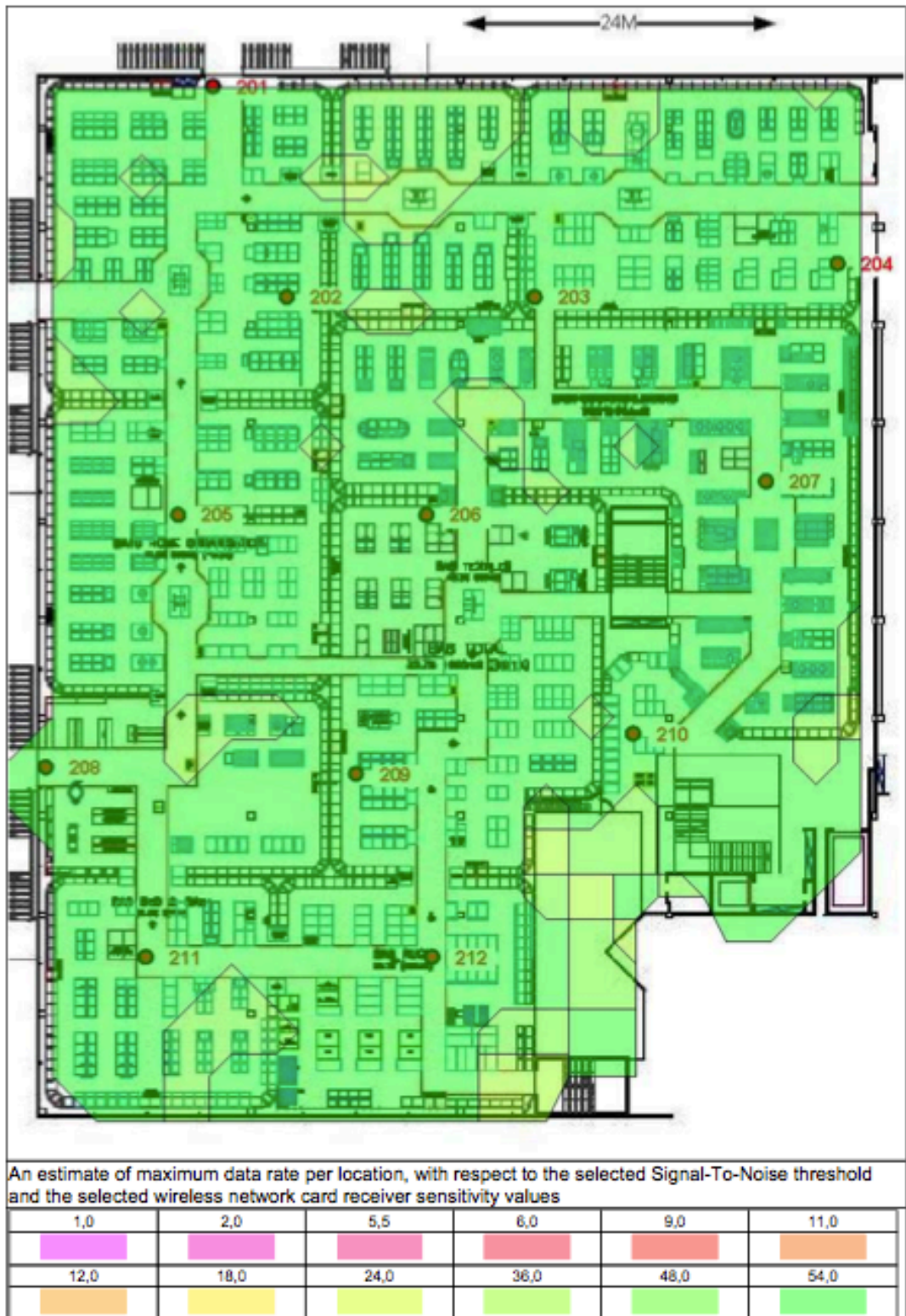
Kuva 52. Kuvassa olevat punaiset pisteet ovat tukiasemia. Tilanne aiempaan mittaukseen on parantunut ja signaalin voimakkuus on hyvä kaikkialla osaston alueella.

### Signal-to-Noise Ratio



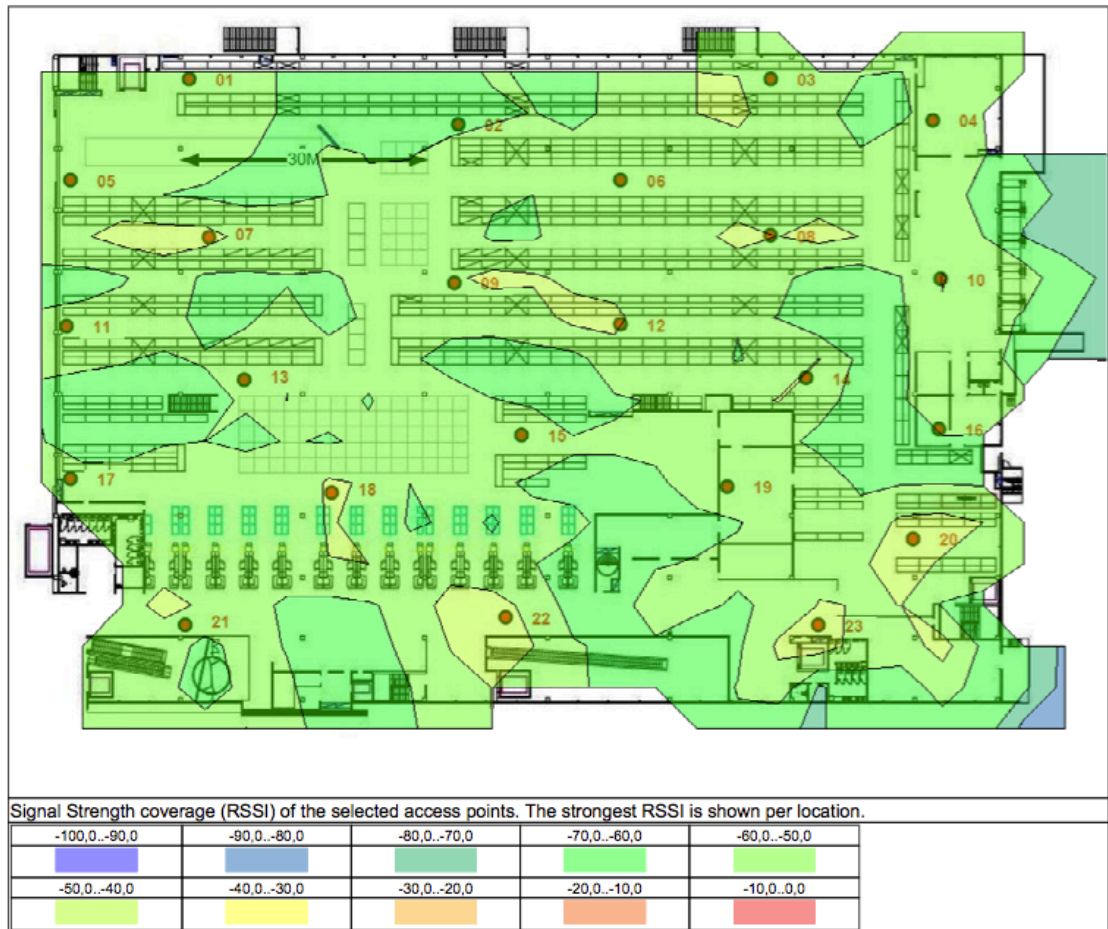
Kuva 53. Signaali-kohina suhteen kuvaaja alakerran myyntiosastosta.

## Data Rate



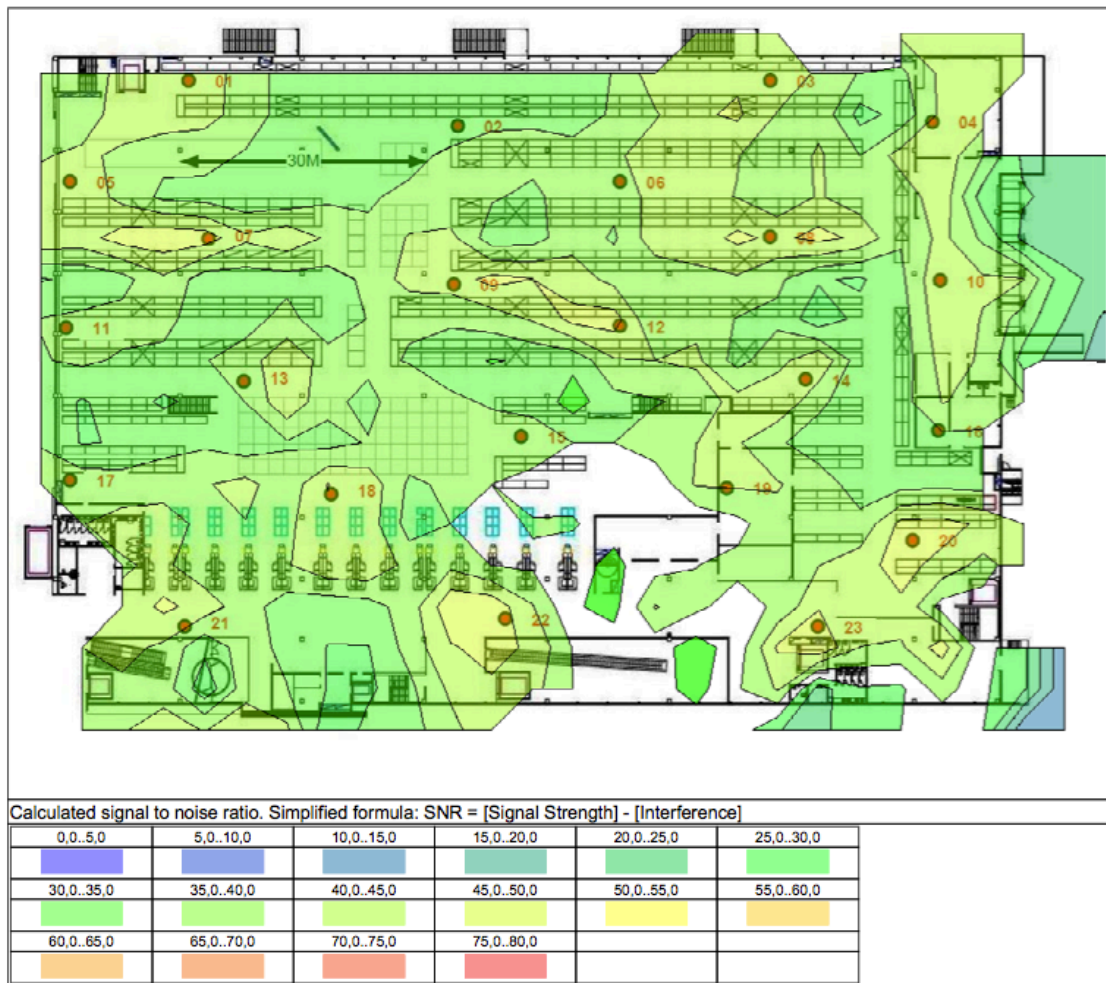
Kuva 54. Osaston siirtonopeus paikasta riippumatta on 36 Mbps ja suurimassa osassa jopa 54 Mbps.

### Received Signal Strength



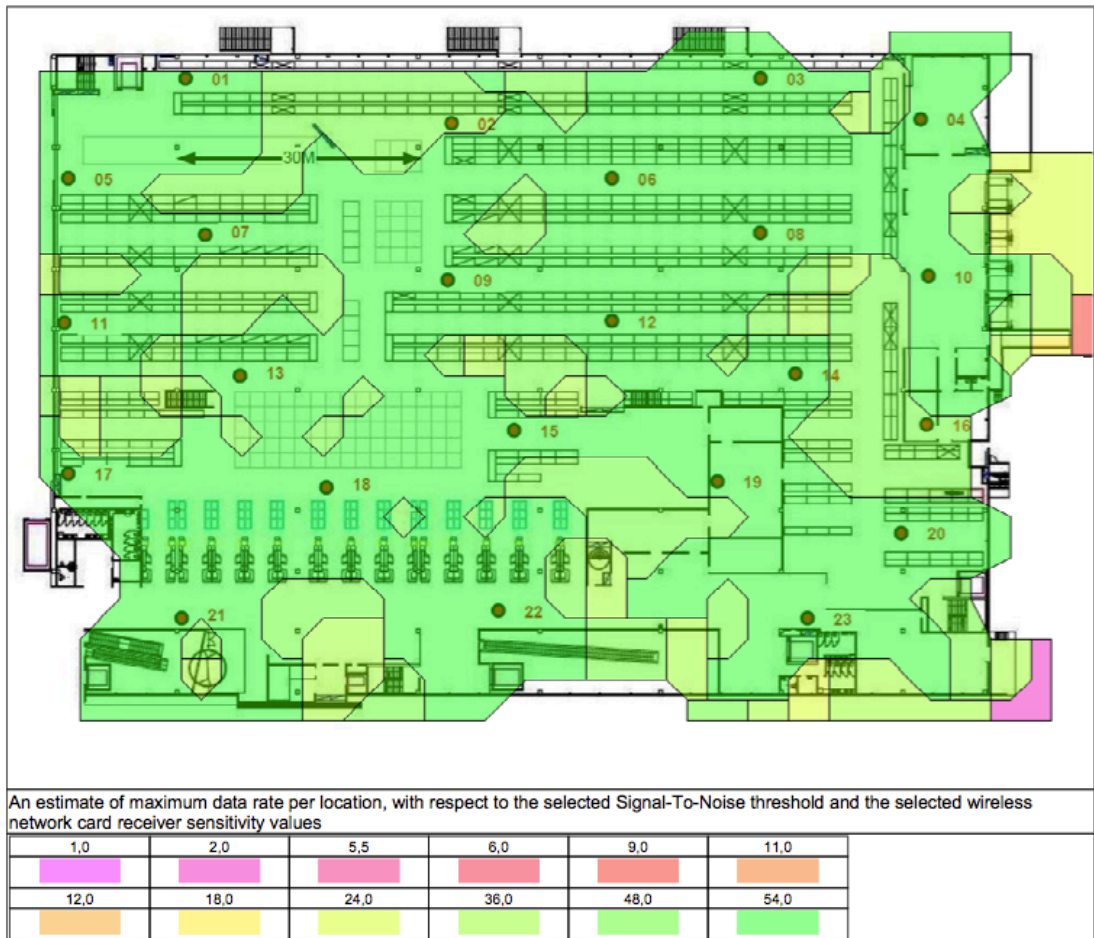
Kuva 55. Korkeavaraston signaalin voimakkuudet. Havaitaan, että signaalin voimakkuus on usein heikoimmillaan suoraan tukiaseman alapuolella.

## Signal-to-Noise Ratio

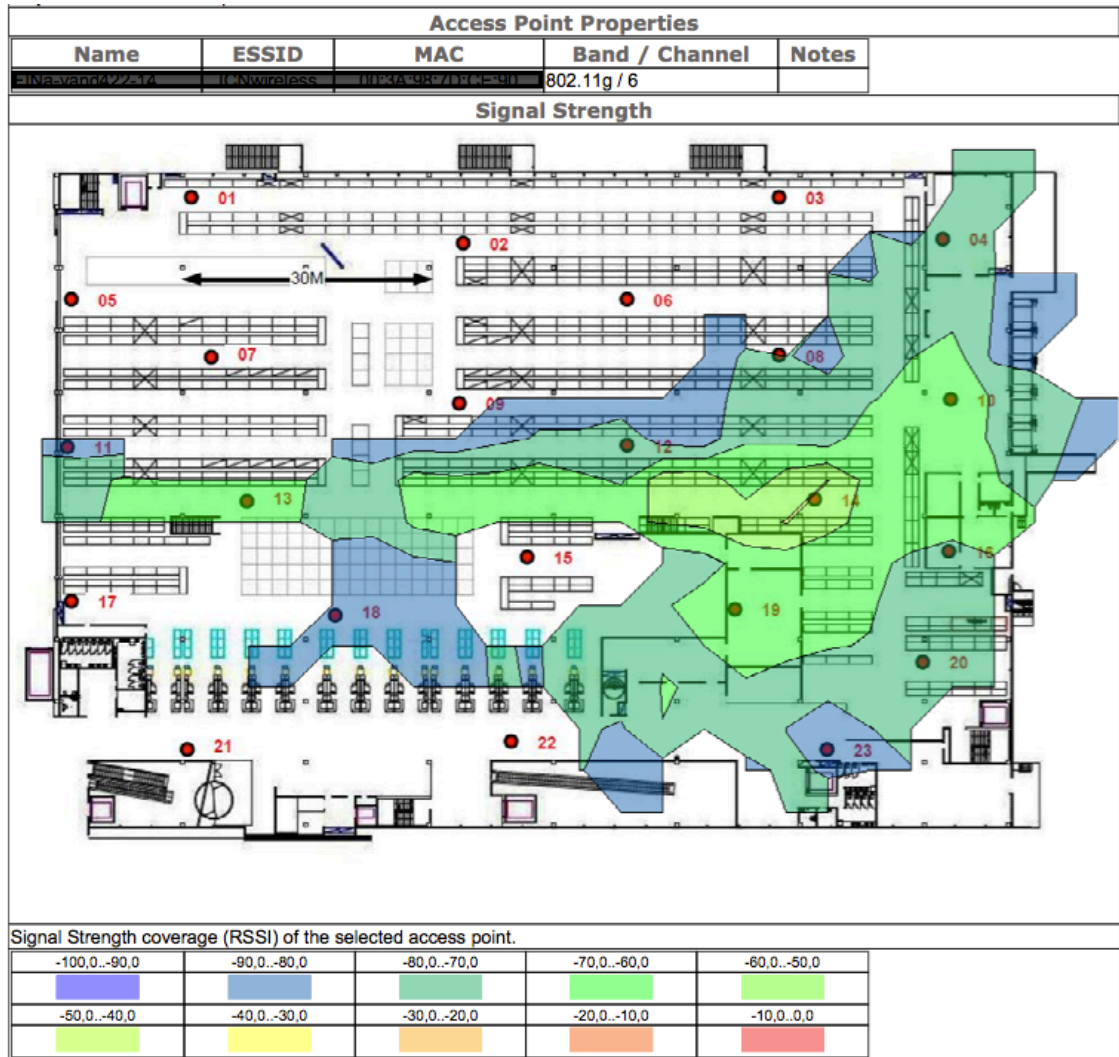


Kuva 56. Korkeavaraston signaali-kohina suhteet. Valkoinen alue oli osittain pois käytöstä mitauspäivänä.

## Data Rate



Kuva 57. Korkeavaraston siirtonopeudet ovat pääasiassa 54 Mbps ja joissakin kohdissa 48 – 36 Mbps. Punainen alue rakennuksen kulmassa on sellaista varastoa jossa signaalia ei tarvita koskaan.



Kuva 58. Jokaisesta 54:stä tukiasemasta oli Post-Site Surveyssa tällainen kuva, jossa mitattiin ainoastaan kyseisen tukiaseman signaalin voimakkuutta.