

Samuli Koivisto

# WLAN-verkon suunnittelu Suomalais-venäläiselle koululle

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Tietotekniikka  
Opinnäytetyö  
24.05.2012

Tekijä(t) Otsikko	Samuli Koivisto WLAN-verkon suunnittelu Suomalais-venäläiselle koululle
Sivumäärä Aika	34 sivua + 1 liite 24.05.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Tietotekniikka Ville Jääskeläinen ATK vastaava Paula Ala-Viinikka
<p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin langattomiin lähiverkkoihin ja verkon suunnitteluun. Työ tehtiin Suomalais-venäläiselle koululle.</p> <p>Tutkimus aloitettiin perehtymällä WLAN tekniikoihin ja standardeihin kirjallisuuden ja verkkolähteiden avulla. Lisäksi työssä tutustuttiin hieman antennien ja tukiasemien toimintaan. Työn tarkoituksena oli rakentaa toimiva verkko kattamaan koko Suomalais-venäläisen koulun alue.</p> <p>Teoriaosuuden jälkeen seurasi langattoman verkon suunnittelun Suomalais-venäläiselle koululle. Helsingin ammattikorkeakoulu Metropolia tarjosi lainaan työssä tarvittavan mittausteijäistön, joka käsitti kannettavan tietokoneen sekä Ekahau Site Survey ohjelmiston. Työssä tarvittiin myös muutamaa tukiasemaa, jotka sain lainaksi Zyxeliltä.</p> <p>Työn aikana kävi ilmi, että teoriassa suunniteltu langaton verkko ei välttämättä käytännössä olekaan toimiva. Teorian ja mittausten pohjalta saatujen tulosten perusteella langatonta verkkoa ei tulla rakentamaan koululle ainakaan kokonaisuudessaan. Työn alussa asettama tavoite koko koulun kattavasta verkosta olisi mahdollista toteuttaa, mutta ei kustannustehokkaasti.</p>	
Avainsanat	WLAN, IEEE 802.11, Ekahau Site Survey, langaton lähiverkko, peittoalue

Author Title	Samuli Koivisto Designing wireless network for Finnish-Russian school
Number of Pages Date	34 pages + 1 appendice 24.05.2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Telecommunication Technology
Instructors	Ville Jääskeläinen, Principal Lecturer Paula Ala-Viinikka, IT manager
<p>The purpose of this final year project was to explore wireless local area networks and to design a WLAN. The project was executed in cooperation with the Finnish-Russian school.</p> <p>The study started off by getting familiar with the WLAN technology and standards using literature and web sources. Also the operation of antennas and base stations were briefly explored. The target of the study was to build an operating WLAN to cover the whole area of the Finnish-Russian school.</p> <p>The theoretical part of the study was followed by the designing of WLAN. Helsinki Metropolia University of applied sciences lent the required measurement systems that contained of a laptop with Ekahau Site Survey software. Also in this study a few base stations were needed, which were provided by Zyxel.</p> <p>During the study, it became clear that the theoretically designed wireless network might not work in practice. On the basis of the results gained by theory and measurements the WLAN will not be built as planned at the start of the study. Covering the whole property of the school with wireless network is possible, but it will not be cost-effective.</p>	
Keywords	WLAN , IEEE 802.11, Ekahau Site Survey, wireless local area network, coverage

## Sisällys

LYHENNELUETTELO	6
1 Johdanto	1
2 WLAN-standardit	3
2.1 IEEE -standardit	3
2.1.1 802.11	3
2.1.2 802.11a	4
2.1.3 802.11b	4
2.1.4 802.11g	5
2.1.5 802.11n	5
2.1.6 Muut 802.11x-standardit	6
2.2 Wi-Fi-määritelmä	6
2.3 HiperLAN/1 ja /2	7
3 Langattomat verkot	8
3.1 Eri tyyppiset verkot	8
3.1.1 WPAN (langaton lähiverkko)	8
3.1.2 WLAN (langaton lähiverkko)	9
3.1.3 WMAN (langaton kaupunkiverkko)	9
3.1.4 WAN (Langattomat laajaverkot)	9
3.2 WLAN-verkon rakenne	10
3.3 Tietoturvallisuus	11
3.3.1 Palvelunestohyökkäys (Dos)	11
3.3.2 Luvaton verkon käyttö	12
3.3.3 Langattoman verkon suojaaminen	13
4 Tukiasemat ja antennit	16
4.1 Tukiaseman toiminta	16
4.2 Tukiasemien vertailu	17
4.3 Antennit	18
4.3.1 Ympärisäteilevä antenni	19
4.3.2 Suunta-antenni	20
5 Verkon teoreettinen suunnittelu	22

5.1	Tukiasemamallin valinta	23
5.2	Tukiasemien sijoittelu	25
6	Mittausmenetelmät	26
6.1	Mittauksissa käytetty laitteisto	26
6.2	Ekahau Site Survey	27
7	Verkon mitoitus ja tulokset	29
8	Yhteenveto	33

## Liitteet

Liite 1. SKV:n pohjapiirrustukset

## LYHENNELUETTELO

WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkko.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standarsoimisjärjestö.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum. Suorasekvenssi hajaspektri.
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing. Modulointi menetelmä, joka perustuu tiedon siirtoon yhtäaikaaisesti usealla toisiaan häiritsemättömällä taajuudella.
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output. Tekniikka, joka perustuu useamman antennin samanaikaiseen käyttöön lähetyksessä ja vastaanotossa.
WPA	Wi-Fi Protected Access. Välivaiheen tietoturvatekniikka.
MAC	Media Access Control. Osajärjestelmä, joka joitaa verkon varaamisen ja itse liikennöinnin.
QoS	Quality of Service. Laadun valvonta.
HiperLAN	High Performance Radio Local Area Networks. ETSI:n standardoima nopea langaton lähiverkko .
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Eurooppalainen standarsoimisjärjestö.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum. Taajuushyppely hajaspektri.
WPAN	Wireless Personal Area Network. Langaton likiverkko.
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network. Langaton kaupunkialueverkko.
WAN	Wide Area Network. Laajaverkko.
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access. Laajemman kantaman langaton laajakaistatekniikka.
IBSS	Independent Basic Service Set. Itsenäinen peruspalveluryhmä.
BSS	Basic Service Set. Peruspalveluryhmä.
SSID	Service Set Identifier. Langattoman lähiverkon verkkotunnus.
ESS	Extended Service Set. Laajennettu palveluryhmä.
WEP	Wired Equivalent Privacy. Langattoman tiedonsiirron ensimmäinen salausmenetelmä

TKIP	Temporal Key Integrity Protocol. Langattomien lähiverkkojen tietoturva protokolla.
CCMP	Counter Mode with CBC-MAC Protocol. Langattomien lähiverkkojen salausprotokolla.
AES	Advanced Encryption Standard. Langattomassa tiedonsiirrossa käytetty lohkosalausmenetelmä.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol. Verkkoprotokolla, joka jakaa olemassa olevasta ip-avaruudesta osotteita laitteille.
PoE	Power over Ethernet. Tekniikka, jolla tukiasema saa virran lähiverkkokaapelista.
PSK	pre-shared key. Esijaettu avain.

## 1 Johdanto

Langaton viestintä ei ole mikään nykypäivän keksintö, vaan langatonta viestintää on käytetty jo vuosisatojen ajan. Nykypäivänä langaton viestintä liitetään nopeasti älypuhelmiin, taulutietokoneisiin, kannettaviin tietokoneisiin tai muihin elektronisiin mukana kannettaviin laitteisiin. Entisajan merimiehetkin käyttivät langatonta viestintää lähettämällä valosignaaleja toisille laivoille. Myös esimerkiksi intiaanit osasivat hyödyntää langatonta viestintää heiluttamalla puhvelinnahkaa savuavan nuotion päällä. Entisajan langattomuudella ongelma oli, että viestien lähettäminen pitkän matkan päähän oli vaikeaa. Nykypäivän langaton tekniikka on poistanut etäisyysongelman jossain määrin. Kuitenkin signaalin kuuluvuus on edelleen yksi keskeisimmistä asioista, joka tulee ottaa huomioon verkkoa suunniteltaessa.

Edellä mainitut esimerkit ovat langatonta viestintää, mutta langattomalla verkolla tarkoitetaan kahden tai useamman tietokonelaitteen välistä viestintää. Tietokonelaitteella tarkoitetaan laitetta, jossa on prosessori, muistia ja jonkinlainen liitäntä verkkoon. Nykypäivänä useissa arkisissa laitteissa on liitäntämahdollisuus WLAN-verkkoon (Wireless Local Access Network). Langattomuuden suurimpia hyötyjä on päätelaitteen kanssa liikkuminen verkon peittoalueella pysyen jatkuvasti yhteydessä verkkoon. Toinen suuri hyöty on, että tiloihin, mihin perinteisen kupari- tai kuituverkon rakentaminen ei ole mahdollista, voidaan rakentaa langaton verkko

Langattoman viestinnän yksi kulmakivi on turvallisuus. Tietoturvariski johtuu siitä, että langattomuus perustuu radioteitse siirrettävään dataan, jonka kuunteleminen on mahdollista. Verkon yksinkertainen suojaaminen kotiverkossa on suhteellisen helppoa ja nopeaa, mutta samalla antaa se mahdollisuuden verkkoon tunkeutumiselle.

Yleisimmin käytössä oleva standardi WLAN-verkoille on IEEE:n määrittelemä 802.11, joka julkaistiin 26.7.1997. Myöhemmin standardin kehitys on jakautunut useampiin erillisiin työryhmiin, jotka keskittyvät pääsääntöisesti johonkin tiettyyn osa-alueeseen. Ensimmäisten WLAN-verkkojen nimellinopeus oli 1 tai 2 Mbit/s, mutta nykypäivän verkoilla pystytään saavuttamaan teoreettinen 600 Mbit/s nopeus, joka käytännössä tosin toimii vain 100–200 Mbit/s nopeuksilla.



Tässä työssä perehdytään langattomien verkkojen rakenteeseen sekä laitteistoon, joka mahdollistaa niiden rakentamisen. Lisäksi mitoitetaan ja rakennetaan langaton verkko jo olemassa olevan lähiverkon rinnalle Suomalais-venäläiselle koululle.

## 2 WLAN-standardit

### 2.1 IEEE -standardit

IEEE on maailman suurin ammatillinen järjestö, jonka päämääränä on edistää teknologista innovointia ja huippuosaamista ihmiskunnan hyväksi. Järjestöllä on yli 400 000 jäsentä yli 160 eri maassa. Eniten jäseniä järjestöllä on Yhdysvalloissa. IEEE:n toiminnan piiriin kuuluu teknisten alojen keskeisten standardien määrittely ja tieteellisten julkaisujen tekeminen. Kuitenkaan tällä yhdistyksellä ei ole oikeutta julkaista maakohtaisia tai kansainvälisiä standardeja, vaan esimerkiksi ISO ottaa IEEE:n määritelmät käyttöönsä ja julkaisee ne omilla standardinumeroillaan. Tässä työssä perehdytään tarkemmin 802.11-standardeihin, jotka koskevat WLAN-tekniikkaa.

#### 2.1.1 802.11

802.11 on ensimmäinen WLAN-standardi, joka ratifioitiin 1997. Julkaisun aikaan sen enimmäisnopeus 2 Mbit/s oli riittävä, mutta nykypäivänä ei kyseisetä tekniikkaan enää juuri käytetä sen toiminnan hitauden takia. 802.11 toimii 2,4 GHz taajuudella, ja se sisältää taajuushyppelyspektrin. Tukiasema pystyi muodostamaan taajuushyppelyn 15 eri hyppelykuvion mukaan, joka puolestaan mahdollisti 15 tukiaseman toiminnan samalla alueella. Standardi tuki myös suorasekvenssihajaspektrin (DSSS) käyttöä, missä lähetettävä signaali on sekoitettu valitulla hyötykuormaa nopeammalla sekoitusbittikuvioilla, jonka jälkeen saatu bittikuvio moduloidaan kanta-aaltoon.

Vuonna 1999 IEEE julkaisi kaksi uutta standardia 802.11a:n ja 802.11b:n, jotka nopeuttivat langatonta tiedonsiirtoa. Kirjain standardin perässä ilmaisee julkaisujärjestyksen, mutta esimerkiksi 802.11a on Euroopassa paljon harvinaisempi kuin 802.11b. A ja b standardit julkaistiin samaan aikaan. /1, s. 124./

### 2.1.2 802.11a

802.11a määrittelee langattoman verkon toiminnan 5 GHz kaistalla käyttäen OFDM-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 54 Mbit/s enimmäisnopeudella. Tekniikan yleistymisen ongelmaksi muodostui laitteiden saatavuus, ja ensimmäiset 5 GHz:n kaistalla toimivat piirit tulivat myyntiin vasta vuonna 2000. Standardi on käytössä lähinnä vain Yhdysvalloissa ja Japanissa. Standardin eduksi voisi laskea sen, että 5 GHz kaistalla on enemmän tilaa, jolloin käyttäjälle voidaan tarjota parempaa suorituskykyä. Myös suuri osa häiriöitä aiheuttavista laitteista, kuten langattomat puhelimet ja mikroaaltouunit toimivat 2,4 GHz:n kaistalla. Standardin tekniikan heikkoutena on se, että tukiasemien peittoalueet ovat huomattavasti pienemmät kuin matalammalla taajuudella toimivien tukiasemien. Ongelmaksi muodostuu myös yhteensopimattomuus 802.11b/g-standardien kanssa. /1, s. 124-126./

### 2.1.3 802.11b

802.11b-standardi on oikeastaan vain alkuperäisen 2,4 GHz kaistalla toimivan tekniikan laajennus. Standardi tukee nopeuksia aina 11 Mbit/s:iin asti. Huonoissa olosuhteissa ja kaukana peittoalueen reunoilla verkon toiminta jatkuu edelleen matalilla 1 ja 2 Mbit/s:n nopeuksilla. Järjestelmä on siis yhteensopiva vanhemman standardin nopeuksien kanssa. Myös uudempi 802.11g on osittain yhteensopiva tämän standardin kanssa.

Matalammalla taajuudella saavutetaan suurempi peittoalue varsinkin sisätiloissa, koska pidempi aallonpituus takaa signaalille paremman seinien läpäisykyvyn. Standardin heikkous kuitenkin on 11 Mbit/s:n maksiminopeus, mikä ei riitä kuin kevyeen internetin käyttöön. Ongelmaksi muodostuu myös se, että 2,4 GHz:n kaistalla on vain kolme kanavaa, jotka eivät ole päällekkäin. Jos tukiasemat käyttäisivät päällekkäisiä kanavia, ne häiritsisivät toisiaan. Tästä syystä usein tukiasemat ohjelmoidaan käyttämään vain näitä kolmea eri kanavaa, jotka rajoittavat kokonaiskapasiteettia huomattavasti. /1, s. 126-127./

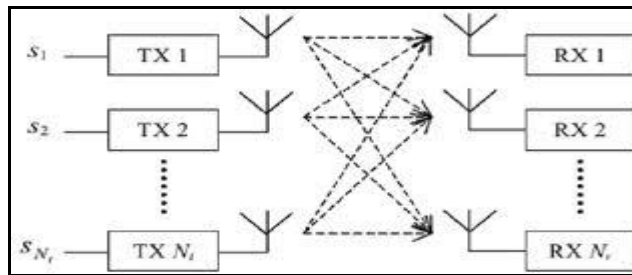
#### 2.1.4 802.11g

Vuonna 2003 IEEE julkaisi 802.11g-standardin. Määritelmä on yhteensopiva 802.11b:n kanssa ja nostaa nopeuden aina 54 Mbit/s:iin asti käyttäen 2,4 GHz:n kaistaa ja OFDM-tekniikkaa. Standardia koskee edelleen 2,4 GHz:n taajuudella toimivien langattomien laitteiden aiheuttama häiriö. 802.11g:ssä on myös vain kolme kanavaa, jotka eivät ole lainkaan päällekkäin. /1, s. 127./

#### 2.1.5 802.11n

802.11n on IEEE:n vuonna 2009 julkaisema 2,4 GHz ja 5 GHz kaistoja tukeva ja jopa (teoreettisesti) 600 Mbit/s:n nopeuksiin pystyvä WLAN-standardi. Yksi tekijä, joka mahdollistaa suuremmat nopeudet, on standardin toimiminen leveämmällä 40 MHz:n kaistanleveydellä, kun taas vanhemmat standardit toimivat vain 20 MHz:n kaistanleveydellä. Tosin jos 802.11n-standardia tukevan tukiaseman peittoalueella on yksikin vanhempaa standardia käyttävä laite tiputtaa tukiasema automaattisesti kaistanleveyden alas 20 MHz:n, joka tietenkin hidastaa tiedonsiirtonopeutta. Nykyään tosin lähes kaikki uudet päätelaitteet tukevat 802.11n-tekniikka. Laajennus on yhteensopiva aiemmin julkaistujen standardien kanssa, mutta tietenkin päätelaitteen käyttämä tekniikka voi rajoittaa nopeutta. Tosin uudemmissa kannettavissa tietokoneissa on tuki 802.11n-tekniikalle.

802.11n-standardin tukiasemat tukevat MIMO-tekniikkaa (Multiple Input and Multiple Output), jossa lähetykseen ja vastaanottoon käytetään useampaa antennia (kuva 1). MIMO-tekniikan suurin hyöty on tiedonsiirron parempi luotettavuus. Sama tieto kulkee montaa eri reittiä, joten jos jokin reitti estyy, on todennäköistä, että toinen reitti on vielä toiminnassa. Toinen hyöty saadaan maksimoimalla tiedonsiirtonopeus. Jos lähettimellä ja vastaanottimella on sama määrä antennia, voidaan data pilkkoa osiksi, ja jokainen antenni lähettää yksilöllisen osan viestistä rinnakkain samalla lähetyiskanavalla. Vastaanottopäässä viesti kootaan taas kokonaiseksi. Näin saavutetaan huomattavasti suurempi siirtonopeus yhden antennin käyttöön verrattuna. /2./



Kuva 1. MIMO-tekniikka.

Mimo-tekniikassa jokainen antenni lähettää dataa jokaiseen vastaanottavaan antenniin, ja jokainen antenni vastaanottaa dataa jokaiselta lähettävältä antennilta.

### 2.1.6 Muut 802.11x-standardit

IEEE on julkaissut useita muitakin 802.11-lisäominaisuusstandardeja. Näillä standardeilla on pyritty luomaan parannuksia tietoturvaan, käytettävyyteen ja yhteensopivuuteen. Standardit on tosin nimetty aikajanallisesti työryhmien perustamisvuoden mukaan, ei julkaisuvuoden mukaan. Seuraavana on muutama esimerkki lisäominaisuusstandardeista.

- 802.11e (v.2005) sisälsi parannuksia palvelun laatuun sekä pakettien nopeampaan uudelleenlähetykseen, mikä parantaa suorituskykyä.
- 802.11i (v.2004) sisältää parannuksia tietoturvaan. WPA2-salaus (Wi-Fi protected access) toteuttaa standardin ja on edelleen käytössä.
- 802.11s (tulossa) sisältää tuen Wireless Meshille, eli langattomalle reitittämiselle, joka muistuttaa kansainvälistä postilaitosta, jossa eri maiden postilaitokset "reitittävät" lävitseen kulkevan postin. Se mahdollistaa tukiasemien vaihdon ilman verkon katkeamista.

## 2.2 Wi-Fi-määritelmä

Usein käsitteet WLAN ja Wi-Fi menevät yleiskielessä sekaisin. Wi-Fi on kuitenkin Wi-Fi Alliancen tavaramerkki, joka osaltaan määrittelee WLAN-laitteiden yhteensopivuutta. Laitteet, jotka ovat saaneet Wi-Fi sertifikaatin, ovat todennäköisemmin yhteensopivia kuin ilman sertifikaattia olevat laitteet. Sertifikaatin saadakseen laitteet käyvät läpi tarkan testin missä testataan MAC-kerroksen (Media Access Control) ja fyysisen

kerroksen toimintoja. Lisäksi sertifiointi sisältää turvallisuusmääritysten, QoS:n (Quality of Service) ja tehon säästön testauksen. Useat yritykset vaativat nykyään laitteiltaan Wi-Fi-sertifikaatit, jotta tulevaisuudessa verkon laajentaminen on tällöin paljon helpompaa. /3./

### 2.3 HiperLAN/1 ja /2

Eurooppalaisen standardointijärjestön ETSI:n (European Telecommunications Standard Institute) oma standardi langattomille verkoille on HiperLAN (High Performance Radio LAN). Standardin kehitys alkoi jo vuonna 1991, mutta se julkaistiin vasta vuonna 1998. HiperLAN muistuttaa 802.11a:ta monin tavoin. Se käyttää 5 GHz kaistaa ja OFDM-tekniikkaa. Alkuperäinen ensimmäinen versio saavutti 23,5 Mbit/s:n nopeuden ja seuraava vuonna 2000 julkaistu HiperLAN/2 saavutti jo 54 Mbit/s nopeuden. Samankaltaisuudet tosin suurimmalta osalta loppuivatkin siihen. Ongelmaksi HiperLAN:n yleistymiselle tuli suurten valmistajien tuki IEEE:n standardeille. ETSI onkin keskittynyt nykypäivänä enemmän matkapuhelinverkon standardeihin. Taulukossa 1 on vertailtu eri standardien tekniikoita ja nopeuksia. /1, s. 131-133./

Taulukko 1. Eri standardien vertailu.

<b>Standardi</b>	<b>Julkaisuvuosi</b>	<b>Käytetty taajuus</b>	<b>teoreettinen Max. nopeus</b>	<b>Kantama sisällä</b>	<b>Käytetty modulointi</b>
802.11	1997	2,4 GHz	2 Mbit/s	~20 m	FHSS ja DSSS
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbit/s	~35 m	OFDM
802.11b	1999	2,4 GHz	11 Mbit/s	~40 m	DSSS
802.11g	2003	2,4 GHz	54 Mbit/s	~40 m	DSSS ja OFDM
802.11n	2009	2,4/5 GHz	600 Mbit/s	~70 m	OFDM
HiperLAN/1	1998	5 GHz	23,5 Mbit/s	~35 m	OFDM
HiperLAN/2	2000	5 GHz	54 Mbit/s	~35 m	OFDM

### 3 Langattomat verkot

#### 3.1 Eri tyyppiset verkot

Nykypäivinä verkot voidaan jakaa useaan eri ryhmään. Jako voidaan tehdä verkon fyysisen peittoalueen perusteella. Verkkoja on olemassa hyvinkin pienistä, muutamien kymmenien metrien peittoalueesta, suuriin maailmalaaajuisiin peittoalueisiin. Seuraavassa taulukossa 2 on vertailtu ja esitelty muutama erilainen verkko tyyppi. /1, s. 3-5./

Taulukko2. Eri verkkotyyppien vertailu

<b>Tyyppi</b>	<b>Peittoalue</b>	<b>Suorituskyky</b>	<b>Standardit</b>
Langaton henkilökohtainen verkko (WPAN)	Langattoman laitteen lähiympäristö	Heikko	802.15.1(blueetooth) 802.15.4(ZigBee)
Langaton lähiverkko (WLAN)	Koti, rakennus tai rakennusalue	Hyvä	802.11(WLAN), HiperLAN
Langaton kaupunkiverkko (WirelessMAN)	Kaupungin laajuinen	Hyvä	802.16(WiMAX), valmistajakohtaiset
Laajaverkko (WAN)	Maailmanlaajuinen	Alhainen	2G, 3G ja 4G

##### 3.1.1 WPAN (langaton lähiverkko)

Henkilökohtaisella verkolla tarkoitetaan käyttäjän ja laitteen ympärille muodostuvaa verkkoa. Esimerkiksi älypuhelimella käyttäjä voi luoda ympärilleen joitakin metrejä peittävän Bluetooth-verkon. Verkon siirtokapasiteetti on alhainen, mutta riittävä tarkoitettuun käyttöön. Käyttötarkoituksia ovat esimerkiksi kuulokkeiden liittäminen langattomasti kännykkään tai tietojen synkronoiminen puhelimen ja tietokoneen välillä. /1, s. 5-7./

### 3.1.2 WLAN (langaton lähiverkko)

Langattomalla lähiverkolla tarkoitetaan tavallisen LAN-verkon muodostamista ilman päätelaitteisiin tulevia verkkojohtoja. Nykypäivänä pystytään suhteellisen edullisesti saamaan riittävää suorituskykyä langattomaan verkkoon. Eri standardeja ja niiden suorituskykyä käydään tarkemmin läpi kappaleessa 3. Langattomalla verkolla käyttäjälle tarjotaan mahdollisuus helpompaan liikkumiseen verkon peittoalueella. WLAN-verkko antaa yrityksille mahdollisuuden tarjota asiakkailleen pääsyn kannettavilla tai älypuhelimilla verkkoon, mikä olisi suhteellisen haasteellista tavallista lähiverkkoa käyttäen. /1, s. 7-9./

### 3.1.3 WMAN (langaton kaupunkiverkko)

Vaikka IEEE:n standardia 802.16 kutsutaan virallisesti langattomaksi kaupunkiverkoksi, on WiMAX-termi (Worldwide Interoperability for Microwave Access) yleistynyt käytössä. WiMAX-verkkoa voidaan verrata WLAN-verkkoon, mutta sen peittoalue on huomattavasti suurempi. Teoriassa kantama voisi olla jopa 50 km ,mutta käytännössä jo 20 km etäisyys vaatii suoran näköyhteyden tukiasemaan. Kantamaan vaikuttavat sääolosuhteet ja fyysiset esteet päätelaitteen ja tukiaseman välillä. /1, s. 9-11./

### 3.1.4 WAN (Langattomat laajaverkot)

Langattomiksi laajaverkoiksi voisi laskea esimerkiksi teleoperaattoreiden tarjoamat mobiiliyhteydet. Nykypäivänä operaattoreiden tekemä kansainvälisenyhteistyön seurauksena on mahdollista, että suomalaisen teleoperaattorin asiakas pystyy käyttämään mobiililaajakaistaa eri puolilla maapalloa. Tämä edellyttää tietenkin sitä, että suomalaisella operaattorilla on sopimus paikallisen operaattorin kanssa. Tätä sopimusta kutsutaan verkkovierailu- eli roaming-sopimukseksi. Suomalaisen operaattorin asiakas pystyy tällöin käyttämään datayhteyttä ulkomaillakin, mutta ainakin vielä dataroaming on edelleen suhteellisen kallista. /1, s.11-13./

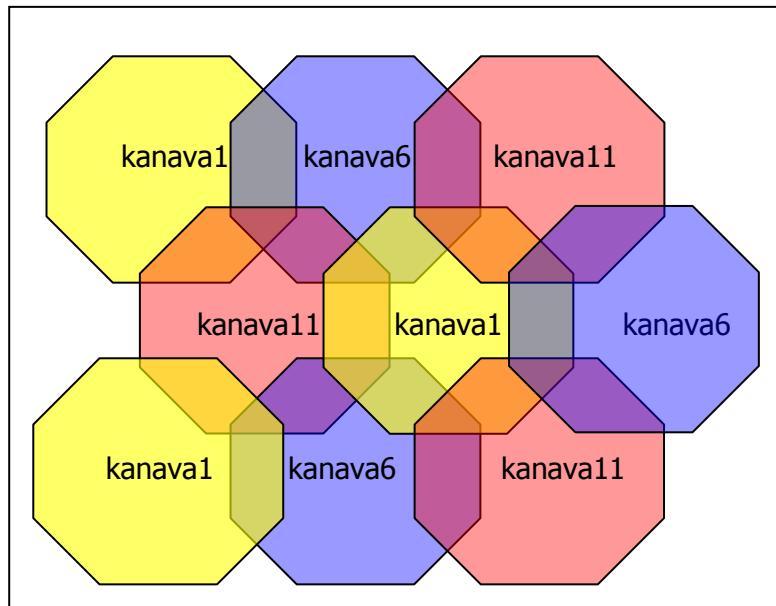


### 3.2 WLAN-verkon rakenne

Langattomalla verkkokortilla varustetut päätelaitteet voivat muodostaa yhteyksiä keskenään ilman erillistä liityntäpistettä. Tällaista verkkoa kutsutaan Ad-hoc-verkoksi. Tässä ensimmäinen kone muodostaa IBSS:n (Independent Basic Service Set) ja alkaa lähettää merkkisignaalia, jota tarvitaan asemien synkronointiin. Tällä tekniikalla voidaan mahdollistaa esimerkiksi tiedostojen jakamista koneilta toisille langattomasti. Ad-Hoc-verkko ei välttämättä ole lainkaan yhteydessä verkon koneiden ulkopuolelle.

Normaalia kotiloissa käytettävää langatonta verkkoa, jossa on yksi tukiasema ja yksi tai useampi päätelaite, kutsutaan peruspalveluryhmäksi (BSS, Basic Service Set). Päätelaitteet käyttävät liityntäpisteen eli tukiaseman määrittelemää kanavaa ja SSID-tunnusta (Service Set Identifier). BSS-verkko on kuitenkin peittoalueeltaan ja kapasiteetiltaan rajallinen. Tarvittaessa suurempaa peittoaluetta tarvitaan useampia BSS-soluja. Useamman solun infrastruktuurista verkkoa kutsutaan ESS-verkoksi (Extended Service Set). Solut kannattaa yhdistää toisiinsa langallisella verkolla, jos se on mahdollista, mutta tilanteessa, jossa tukiasema sijoitetaan paikkaan, minne langallista verkkoa ei ole vedetty, voidaan tukiasemat yhdistää langattomasti toisiinsa. Tätä kutsutaan tukiasemien siltaamiseksi. Siltaamalla verkon suorituskyky huononee, ja täten suositellaankin langallisten liityntäpisteiden käyttämistä.

ESS-verkossa tulee 802.11b/g-standardia käytettäessä ottaa huomioon, että vierekkäisillä tukiasemilla pitää olla eri kanavat käytössä, etteivät ne häiritsisi toisiaan. Pienissä verkoissa, jotka pystytään rakentamaan 2 tai 3 tukiasemalla voidaan jokainen tukiasema konfiguroida käyttämään eri kanavaa, mutta laajemmissa verkoissa on kanavien käyttäminen uudelleen väistämätöntä (kuva 2). /4, s.132-134./



Kuva 2. Kanavien käyttö uudelleen.

### 3.3 Tietoturvaluisuus

Tietoturva on yksi langattomien verkkojen suurimpia haasteita, koska viestisignaalit ovat avoimesti tavoitettavissa niiden kulkiessa ilmassa. Periaatteessa ainoa mahdollisuus saada täysin suojattu tietokone on asentaa kone ilman verkkokorttia huoneeseen, joka on tarkoin vartioitu. Yhdysvaltojen viranomaiset käyttävät tätä tapaa kaikkein arkaluontoisimpien tietojen säilyttämiseen. Käytäntö ei tietenkään ole kovin toimiva yrityskäytössä. Langalliseen verkkoon tunkeutuminen edellyttää pääsemistä fyysisesti yrityksen tiloihin, mikä tarjoaa jo suhteellisen hyvän tietoturvan. Langattoman verkon huono puoli onkin se, että verkkoon pääseminen on mahdollista rakennuksen ulkopuolelta. Tukiasemien kantamat saattavat olla hyvissä olosuhteissa jopa 200–300 metriä, joten jos tukiasemat on sijoitettu huonosti, voi tunkeutuja päästä verkkoon käsiksi hyvinkin etäältä rakennuksen ulkopuolelta.

#### 3.3.1 Palvelunestohyökkäys (Dos)

Yksi riski langattomassa verkossa on palvelunestohyökkäys. Poiketen muista tietoturvariskeistä ei palvelunestohyökkäyksellä ole tarkoitus tunkeutua verkkoon vaan vain lamauttaa se. Myös langalliset verkot voivat olla tämän tyyppisen hyökkäyksen kohteena, mutta koska tukiasemien datansiirtokapasiteetti on rajallinen, on

langattoman verkon lamauttaminen helpompaa. Onkin syytä tehdä suunnitelma ja miettiä, mitä haittoja yritykselle aiheutuu, jos verkko lamaantuu. Suomalais-venäläiselle koululle suunnittelemani langaton verkko on vain langallisen verkon lisä, joten palvelunestohyökkäys ei todennäköisesti lamauttaisi koko verkkoa.

Palvelunestohyökkäyksiä on erityyppisiä. Yksi vaihtoehto on väsytyshyökkäys. Väsytyshyökkäyksessä hakkeri lähettää valtavan määrän hyödyttömiä paketteja, joka kuluttaa verkon resurssit. Googlega hakemalla löytyy useita ohjelmia joilla hakkeri voi toteuttaa hyökkäyksen, joten palvelunestohyökkäyksen toteuttaminen on suhteellisen helppoa.

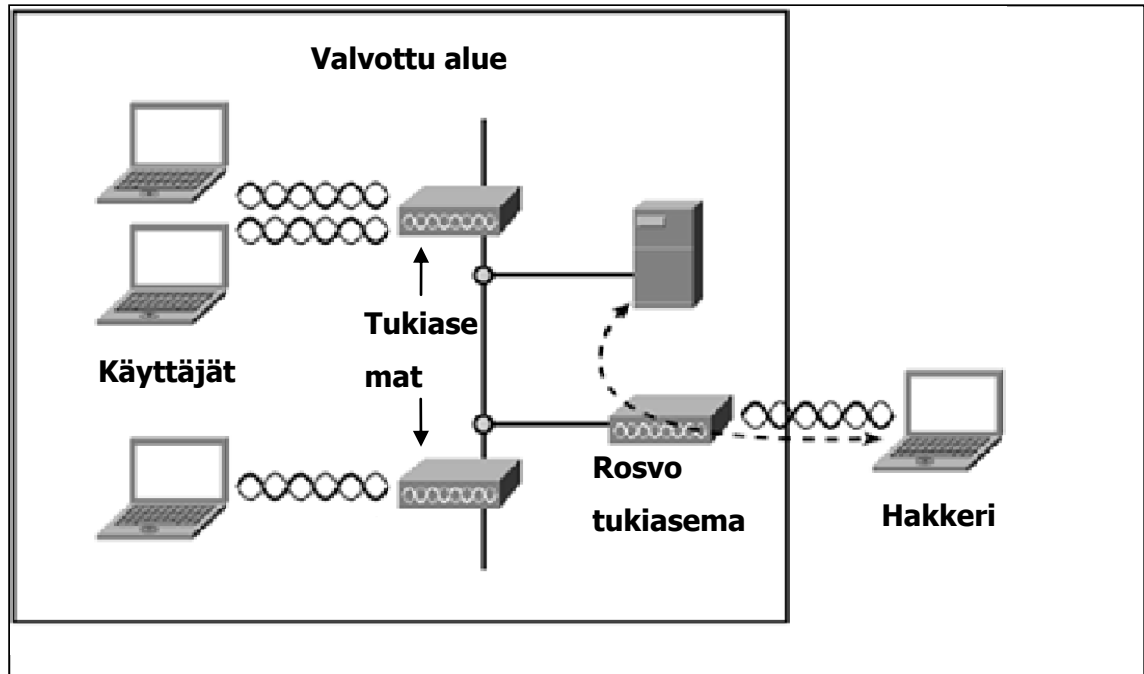
Toinen palvelunestohyökkäystapa on häiritä langatonta verkkoa voimakkaalla radiosignaalin avulla. 802.11-protokollan tukiasemat ovat niin kohteliaita, että antavat hyökkäyssignaalin hallita radiotietä niin kauan kuin se on päällä. Tämä tapa on hyökkäjälle kuitenkin riskialtis, koska se vaatii pääsyä lähelle langatonta verkkoa ja voimakasta radiosignaalin lähettämistä, minkä paikantaminen verkkoanalysointien avulla on helppoa. Häirintä voi tietenkin olla tahatontakin. Aiemmassa kappaleessa kerroin, kuinka mikroaaltouunit ja langattomat puhelimet toimivat samalla taajuudella kuin langattomat verkot ja niiden häirintää voi verrata palvelunestohyökkäykseen. /1, s.176-178./

### 3.3.2 Luvaton verkon käyttö

Luvattomalla verkon käytöllä tarkoitetaan sitä, että suojaamatonta tai suojattua verkkoa käyttää ulkopuolinen henkilö. Vuoden 2011 alussa voimaan tulleen uuden lain mukaan Suomessa ei enää ole laitonta käyttää naapurin verkkoa, jos se on salaamaton. Salattuun verkkoon tunkeutuminen ja sen käyttäminen on edelleen rangaistava teko. Luvattomalla käytöllä voidaan esimerkiksi yrittää peittää jälkiä, jos hakkeri tekee verkossa jotain laitonta.

Vaikka verkko olisi suojattukin riittävästi, voi verkkoon tunkeutumisen mahdollistaa rosvotukiasema. Rosvotukiasemalla tarkoitetaan tukiasemaa, jonka hakkeri on asentanut tai mahdollisesti suojaamattoman tukiaseman on saattanut asentaa tahattomasti yrityksen työntekijä (kuva 3). Työntekijä saattaa asentaa itselleen

paremman kuuluvuuden tai suuremman kaistan toivossa uuden tukiaseman eikä osaa suojata asemaa riittävästi, jonka jälkeen hakkerilla on mahdollisuus tunkeutua verkkoon helposti.



Kuva 3. Rosvotukiasema voi tarjota hakkerille pääsyn verkkoon.

### 3.3.3 Langattoman verkon suojaaminen

WLAN-verkon suojaamiseen on monia eri keinoja, joita kannattaa käyttää. Yksi perusasia suojaamisessa on verkkoon liittymisen suojaaminen salasanalla. Vaikka nykyään useiden laajakaistatarjoajien laitteisiin on esiasennettuna joku suojausmenetelmä, löytyy kaupunkialueelta paljon suojaamattomia verkkoja. Ekahau-ohjelmalla pystyy kuuntelemaan ja helposti selvittämään kaikki kuuluvat verkot ja niiden suojaukset lähistöllä. Tein Helsingissä omakotitaloalueella muutaman kilometrin mittaisen autolenkin ja skannasin Ekahauilla kuuluvat langattomat verkot. Tuloksena oli se, että kokonaisuudessa verkkoja löytyi lähes 200, joista täysin suojaamattomia oli 34. Tulos hämmästyttää, koska nykyään yleensä operaattoreilta otettujen liittymien mukana tulevat laitteet on jo valmiiksi suojattu.

Toinen tärkeä asia on suunnitella verkon ja tukiasemien sijoittelu siten, että peittoalue ei ole turhan iso. Esimerkiksi suunta-antenneilla pystytään rajoittamaan verkon

kuulumista verkon reunalta vain haluttuun suuntaan. Myös rakenteellisilla ominaisuuksilla pystytään estämään peittoalueen turhaa leviämistä. Metallipohjaisilla maaleilla esimerkiksi voidaan rajoittaa verkon kuulumista yrityksen tilojen ulkopuolelle. Ikkunoissa voidaan käyttää kuparilämpöeristettä tai metallikalvopohjaa. Kuitenkin verkon ylläpitäjän kannattaa selvittää, kuinka laajalle alueelle verkko kuuluu. /1, s.177-188./

Ensimmäinen 802.11-standardin suojausmenetelmä oli WEP (Wired Equivalent Privacy). Tämä suojausmenetelmä antaa verkolle oikeastaan enemmän näennäistä suojaa kuin oikeaa suojaa. Suojaus perustuu datan salaamiseen. Salaamisessa käytetään 40 bittistä WEP-avainta ja 24-bittistä satunnaisesti luotua alustusvektoria. WEP sisällyttää alustusvektorin selväkielisenä lähetettävään kehykseen, minkä avulla vastaanottaja pystyy käyttäjän määrittelemän julkisen avaimen kanssa purkamaan salauksen ja tulkitsemaan viestin. Alustusvektorin toistuvalla vaihtamisella WEP pyrkii suojaamaan verkkoa. /5./

Ongelmaksi muodostuvatkin suhteellisen lyhyet alustusvektorit ja kiinteät esijaetut avaimet. Koska alustusvektorit toistuvat käytössä, pystyy hakkeri dataliikenteen määrästä riippuen suhteellisen nopeastikin purkamaan salauksen. 64-bittinen salausavain on murrettavissa, kun paketteja on kerätty noin 10 000-20 000 kappaletta. Hakkeri ohjelmallisesti yrittää löytää paketeista tiettyjä tietoja, joiden avulla ohjelma pystyy muodostamaan jaetun salausavaimen. Tästä seuraa tietenkin se, että hakkeri pystyy purkamaan jaetun salaisen avaimen avulla verkon minkä tahansa 802.11-kehysten. /6./

TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) on lagattomien verkkojen suojaamiseen tarkoitettu protokolla, joka luotiin, kun havaittiin WEP:n ongelmat. Sitä kutsuttiin myös nimellä WPA (Wi-Fi Protected Access) . TKIP paransi suojausta luomalla väliaikaisen avaimen, joka vaihtui aina 10 000 paketin välein. Tämä estää hakkeria kuuntelemasta dataliikennettä ja päättelemään jaettua avainta. Nykyään kuitenkin yleisimmin käytössä on IEEE:n 802.11i standardin mukainen WPA2 salaus, joka käyttää TKIP:tä tai CCMP:tä (Counter Mode with CBC-MAC Protocol). Salauksessa käytetään 128 bittistä salausavainta, joka lisää avaimien kokonaismäärää huomattavasti. WPA mahdollistaa

myös uudenlaisen AES salausmekanismin, joka on lohkosalausmenetelmä, mitä ei ole toistaiseksi ainakaan pystytty murtamaan. /7./

Edellä mainitut suojausmenetelmät ovat vain eräitä vaihtoehtoja. Langattoman verkon suojaamiseen on paljon muitakin mahdollisuuksia. Tämä työ ei kuitenkaan perehdy itse verkon suojaamiseen niin paljoa vaan enemmän verkon perussuojaamiseen ja suunnitteluun. Yleisimmin kotiverkoissa käytetään WPA- tai WPA2-suojausta, jonka käyttöönotto on erittäin helppoa.

## 4 Tukiasemat ja antennit

Tukiasemalla tarkoitetaan laitetta, joka yhdistää langattomassa verkossa radioteitse päätelaitteen kiinteään verkkoon. WLAN-verkossa tukiasema toimii sekä vastaanottimena että lähettimenä. Tukiasemalle annetaan SSID-tunnus eli "verkon nimi". Useimmille nykypäivän tukiasemille voidaan antaa useampi SSID tunnus, joka mahdollistaa useamman virtuaalisen WLAN-verkon luomisen yhdellä tukiasemalla. Useamman verkon hyöty on siinä, että esimerkiksi kouluympäristössä voidaan henkilökunnalle tarjota vapaa pääsy kaikkialle koulun sisäverkkoon sekä internetiin ja oppilaille tarjota verkko, joka mahdollistaa vain internetin selailun. Tässä kappaleessa perehdytään tukiasemien ja erityyppisten antennien toimintaan.

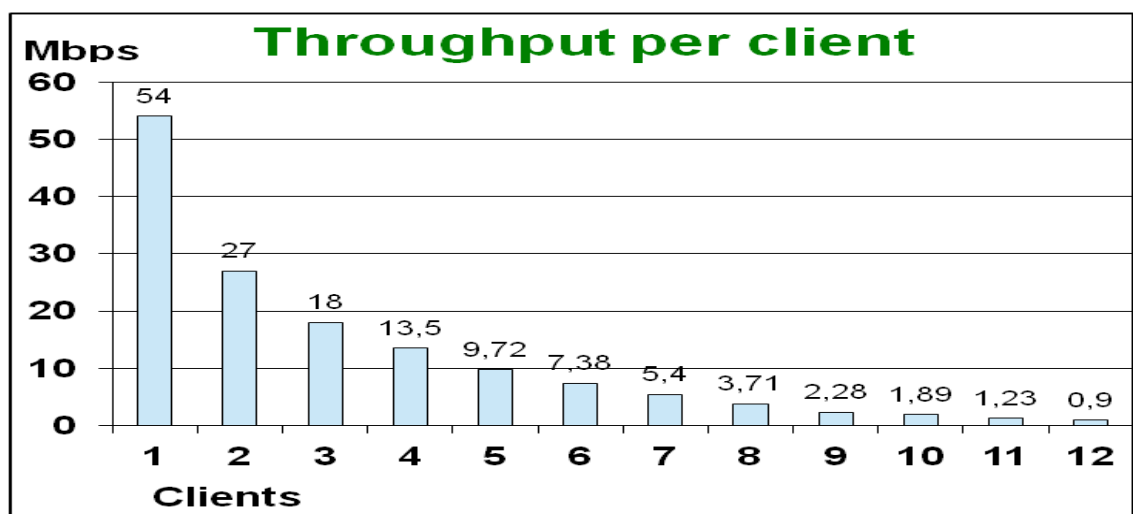
### 4.1 Tukiaseman toiminta

Usein kuluttajakäytössä riittävän peittoalueen ja siirtokapasiteetin saamiseksi riittää yksi tukiasema, jolloin kuluttajan ei juuri tarvitse itse muuta tehdä kuin suojata verkkonsa. Yleensä operaattorilta saa laajakaista sopimuksen yhteydessä modeemin ja tukiaseman, WLAN-tukiasema saattaa olla integroituna modeemiin. Laitteet on esiasennettuja, jolloin pelkkä laitteiden kytkeminen seinään riittää verkon luomiseksi. Kaupunkialueella, missä langattomia verkkoja on pienellä alueella useita, kannattaa verkon suojaamisen lisäksi kiinnittää huomiota kanavan valintaan. Internetistä on saatavilla ilmaiseksi ohjelmia, joilla pystyy tarkistamaan kuuluvat verkot ja selvittää verkkojen käyttämät kanavat.

Yrityskäytössä ja tiloissa, joissa tarvitaan laajempaa peittoaluetta, täytyy käyttää useampaa tukiasemaa. Tällöin tukiasemien käyttöönotossa tulee huomioida muutama asia. Tärkein määriteltävä asia on se, että tukiasemille annetaan kaikille sama SSID-tunnus ja salasana, jotta käyttäjät pystyvät liikkumaan langattoman verkon peittoalueella ja pääteaseman vaihtaessa tukiasemaa tarvittaessa. Toinen merkittävä tekijä asennuksessa on kanavien valinta. Tukiasemien täytyy tietenkin olla samassa verkossa keskenään. Liittyessään langattomaan verkkoon käyttäjän päätelaite pyytää tukiasemalta IP-osoitetta, jonka DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) antaa

sille. Verknylläpitäjä on määritellyt IP-osoiteavaruuden, josta DHCP jakaa osoitteet. Langatonta verkkoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös IP-osoitteiden riittävyys.

Teoriassa yksi tukiasema pystyy palvelemaan noin 10 käyttäjää samanaikaisesti edes kohtuullisella tiedonsiirtonopeudella. Kuvassa 4 on esitetty tiedonsiirtokapasiteetti käyttäjää kohden teoreettisella 54 Mbit/s nopeudella. Todellisuudessa kuvassa esitetyt tiedonsiirtonopeudet voi vielä puolittaa, jolloin 10 käyttäjällä yhden tukiaseman siirtokapasiteetti jokaiselle käyttäjälle on hieman alle 1 Mbit/s. Tämän takia mahdollisiin ruuhkapaikkoihin tarvittaisiin kuormantasausta tukevat tukiasemat.



Kuva 4. Tiedonsiirtokapasiteetti käyttäjää kohden. /8./

#### 4.2 Tukiasemien vertailu

Markkinoilta löytyy tukiasemia useilta eri valmistajilta ja useasta eri hintaluokasta. Halvimmat kotikäyttöön tarkoitetut tukiasemat osuvat hintaluokaltaan 50–100 euron väliin. Yrityskäyttöön suunnattujen tukiasemien hinnat lähtevät reilusta 100 eurosta ja nousevat noin 500 euroon asti riippuen, kuinka tehokasta ja monipuolista tukiasemaa tarvitaan. Yrityskäyttöön suunnatut tukiasemat ovat kotikäyttöön suunnattuja käyttövarmempia ja helpommin käyttöönotettavia ja ylläpidettäviä. Yksi merkittävä ero kalliimpien ja halpojen laitteiden välillä on PoE-tuki (Power over Ethernet), joka ei sido tukiaseman sijaintia siihen, että läheltä pitäisi löytyä virtapistoke. Jotta virransyöttö onnistuisi, vaaditaan Ethernet-kaapelin toiseen päähän PoE-kytkin tai jos kytkimet ovat



vanhoja vaihtoehtoisesti voi kytkimen ja tukiaseman väliin laittaa PoE-toistimen, josta tukiasema saa virtansa.

Eri valmistajien tukiasemat samassa hintaluokassa ovat valmistajien tietojen ilmoittamien teknisten tietojen mukaan suhteellisen yhteneväisiä. Suurimmat erot löytyvät laitteiden koosta ja asennettavuudesta. Monissa laitteissa mukana tulevat ulkoiset antennit ovat vahvistukseltaan muutaman dBi:n luokkaa.

Itse perehdyin tarkemmin Zyxelin valmistamiin tukiasemiin. Merkittävimmät erot edullisemman NWA-1100-N-tukiaseman ja NWA-3000-sarjan tukiasemiin on kuormantasausominaisuus ja hallittavuus. Kuormantasauksella tarkoitetaan sitä, että jos pienellä alueella on paljon käyttäjiä voidaan tukiasemat asentaa jakamaan käyttäjät keskenään, eikä päätelaite yhdisty aina siihen tukiasemaan, mistä saa parhaan signaalin. NWA-1100-mallilla saman voi tehdä säätämällä lähetystehoja siten, että pienen alueen kuorma tasaantuisi useammalle tukiasemalle. NWA-3166-mallista löytyy lisäksi ominaisuus, joka mahdollistaa sen, että yhdellä 3166 tukiasemalla voidaan hallita 24 muuta 3000 sarjan tukiasemaa. Tämä ominaisuus helpottaa entisestään tukiasemien hallittavuutta laajoissa asennuksissa.

### 4.3 Antennit

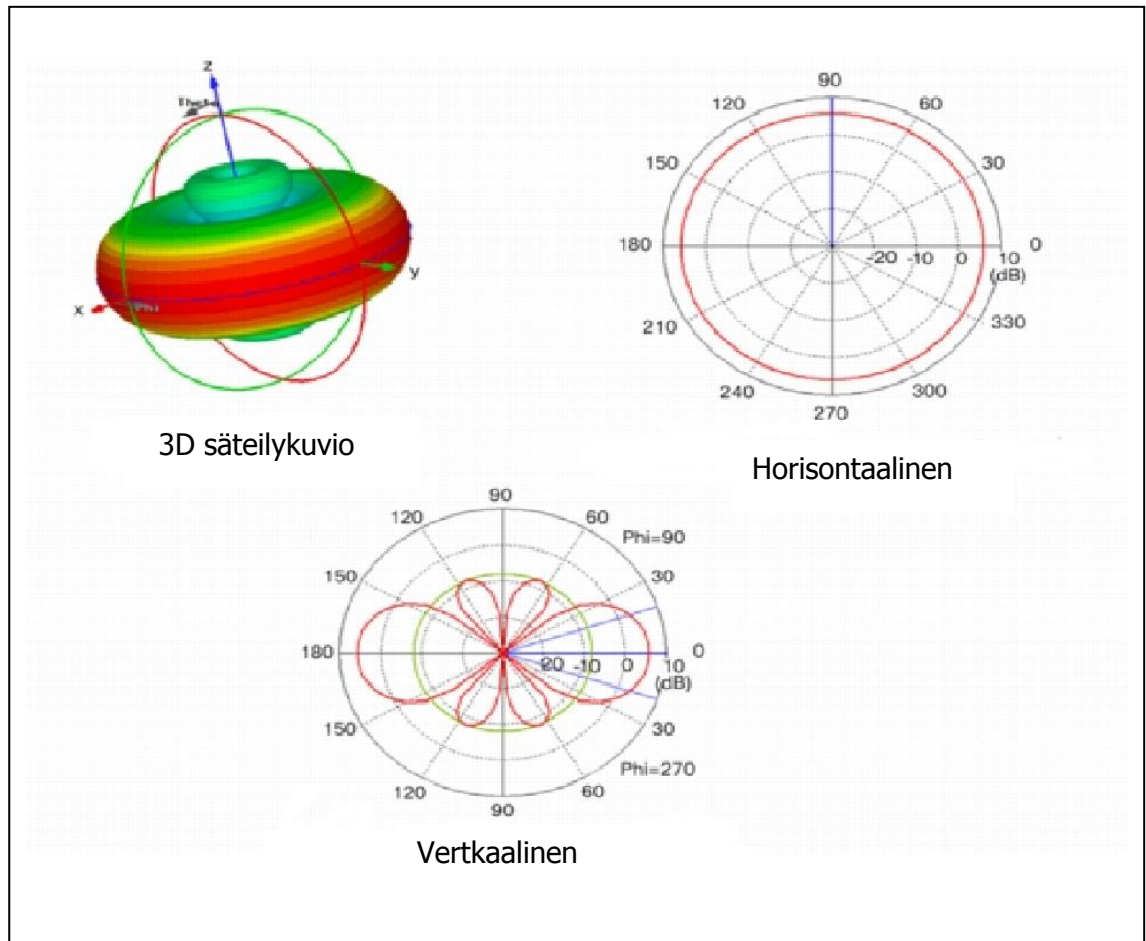
Langattomassa tiedonsiirrossa pyritään siihen, että saadaan siirrettyä tietoa laitteelta toiselle ilman turhia johtoja. Antennin avulla saadaan johdossa kulkeva sähkömagneettinen energia siirrettyä ilmaan ja vastaanottopäässä päinvastoin ilmasta johtoon. On olemassa paljon erilaisia antennejä, mutta yleisimmin WLAN-verkoissa käytössä on ympärisäteilevä antenni tai suunta-antenni. Yleisimmin tukiasemissa on antennit integroituna, mutta vaihtoehtoisesti antennin voi asentaa johdon päähän, jolloin tukiaseman sijoitus ei määrittele antennin sijaintia. Teoriassa ympärisäteilevää antennia voi pitää isotrooppisena säteilijänä, joka lähettää ja vastaanottaa säteilyä samalla teholla joka suunnasta. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, vaan kaikissa antenneissa on jonkin verran suuntaavia vaikutuksia. /9, s. 32./

#### 4.3.1 Ympärisäteilevä antenni

Ympärisäteilevä antenni on oikea valinta silloin, kun pyritään saamaan maksimaalinen peittoalue vaakatasossa. Kuvasta 5 nähdään, kuinka ympärisäteilevän antennin horisontaalinen säteilykuvio on lähes symmetrinen. Pystysuunnassa antennin säteilykuvio saattaa olla epäsymmetrinen, koska yläpuolelle hukkaan menevää säteilytehoa halutaan yleisesti välttää. Jos verkko rakennetaan useampaan kerrokseen, tulee antenneja valitessa ottaa huomioon myös vertikaalinen säteily. Yksinkertaisin ympärisäteilevän antennin toteutustapa on puolenaallon dipoliantenni. Dipolin pituus määräytyy käytettävän taajuuden aallonpituuden puolikkaasta. 2,4 GHz:n taajuudella toimivan verkon antennien pituus on noin 6 cm, joka saadaan laskettua kaavasta 1.

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{1}$$

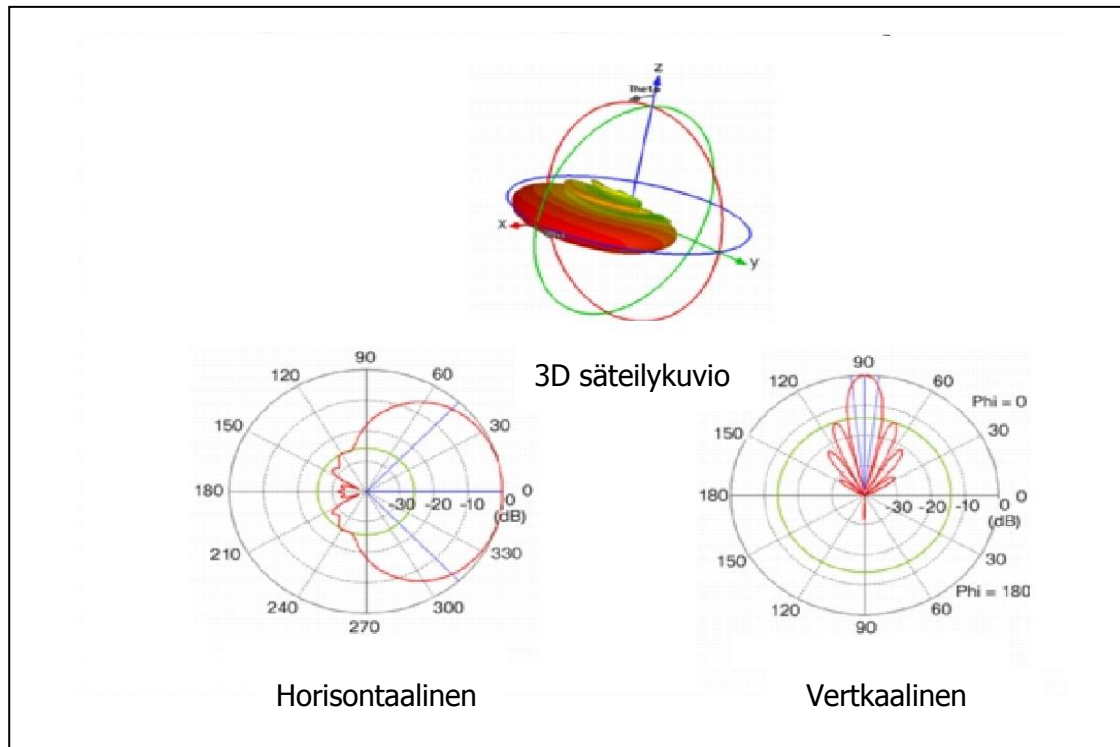
$\lambda$  ilmaisee aallon pituutta,  $v$  signaalin nopeutta ja  $f$  taajuutta. Jakamalla  $\lambda$  kahdella saadaan oikea antennin pituus. /9, s 33./



Kuva 5. Ympärisäteilevän antennin suuntakuviot. /10./

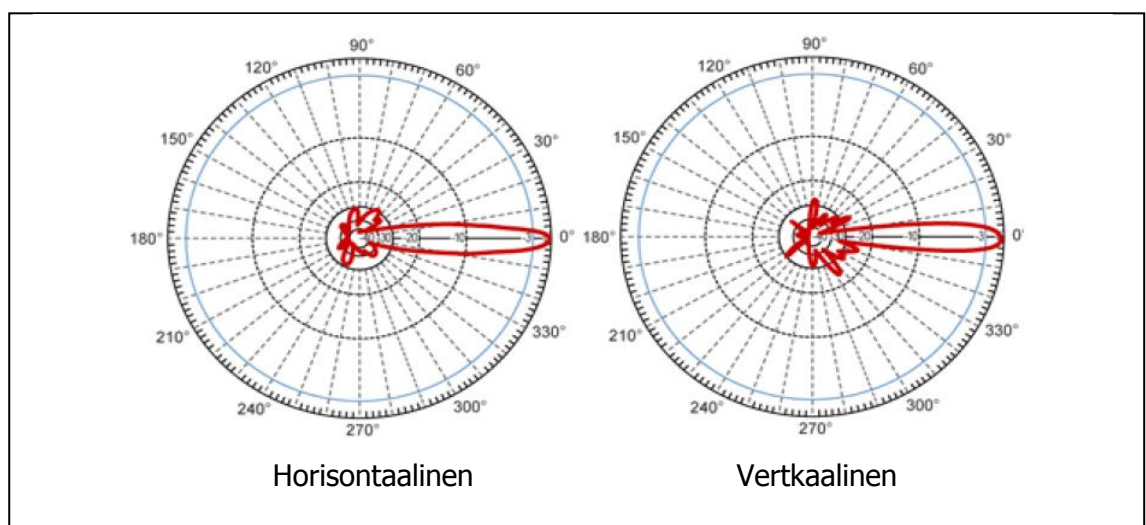
#### 4.3.2 Suunta-antenni

Suunta-antennilla tarkoitetaan antennia, joka vastaanottaa ja lähettää signaaleja halutuista suunnista paremmin kuin muista suunnista. Tukiaseman ja antennin sijoituspaikasta ja käyttötarkoituksesta riippuen on joissain tilanteissa hyvä käyttää suuntaavaa antennia, ettei tehoa hukattaisi esimerkiksi rakennuksen ulkopuolelle. Esimerkiksi halutun peittoalueen reunalla on hyvä käyttää 180 asteen sektoriantennia ja suunata se sisäänpäin. Samoin peittoalueen kulmalla voidaan käyttää 90 asteen sektoriantennia. Kuvassa 6 on esitetty 90 asteen sektoriantennin suuntakuvio. 180 asteen antennin suuntakuvioiden keila on vain laajempi.



Kuva 6. 90 asteen sektoriantennin suuntakuviot. /11./

Sektoriantenneissa säteilykeila on edelleen suhteellisen laaja verrattuna lautasantennin säteilykuvioon. Lautasantennin säteilykuvio horisontaalisesti ja vertikaalisesti saattaa olla vain reilut 10 astetta (kuva 7). Lautasantennilla suurin osa vahvistukseen käytettävästä tehosta suunnataan kapeaan keilaan, jolloin tehoa ei hukkaannu. Tämä mahdollistaa pitkätkin kantamat.



Kuva 7. Lautasantennin säteilykuvio /11./

## 5 Verkon teoreettinen suunnittelu

Suomalais-venäläisen koulun tilat koostuvat neljästä siivestä sekä erillisestä juhlasalin rakennuksesta (liite 1). Juhlasalin siipi päätettiin jättää suunnitelmien ulkopuolelle, koska langattoman verkon hyödyt eivät olisi siellä kovin suuret. Lisäksi muutaman vuoden kuluttua juhlasalin siivessä suoritettavat ylioppilaskokeet tullaan mahdollisesti tekemään tietokoneella, jolloin siellä olevan verkon kanssa joudutaan tekemään erikoisratkaisuja. Myös esikoulun siiven toinen ja kolmas kerros jäi suunnitelmien ulkopuolelle, koska verkolle ei ole siellä tarvetta.

Kolme siivistä on pituudeltaan noin 60 metriä ja niissä on keskimäärin 6–8 luokkahuonetta. Lukion siipi on hieman lyhyempi, mutta siivessä sijaitsee kirjasto sekä opettajanhuone, joten siellä voidaan olettaa olevan suurin kapasiteetin tarve. Tarkoituksena oli, että langaton verkko saataisiin kuulumaan kaikkiin luokkiin. Alustavasti suunnittelussa oletettiin, että yhdellä tukiasemalla saadaan yksi käytävä peitettyä, mutta seinät vaimensivatkin enemmän kuin oli odotettu. Signaalien kuuluminen kerrosten välillä oli myös suhteellisen huono. Alakerrasta signaali kuului yläkertaan vähän paremmin, kuin toisinpäin, koska suurin osa tukiasemista piti sijoittaa välikattoon piiloon, jotta kukaan ei niihin turhaan koskisi.

Verkon suunnittelu aloitettiin kartoittamalla langattoman verkon käyttötarpeet ja rajoitukset. Yksi rajoittava tekijä oli se, että tukiasemien sijoittelu tulisi tehdä niin, että oppilaat eivät niihin pääsisi käsiksi. Toinen tukiasemien sijoitteluun vaikuttava tekijä oli olemassa oleva Ethernet verkko, sekä missä sen liityntäpisteet sijaitsivat. Koululla on tällä hetkellä kaksi erillistä verkkoa. Toinen on hallinnolle rakennettu verkko ja toinen opetukselle, jonne oppilaatkin pääsevät. Lopulta päädyttiin tulokseen, että hallinnon verkko saa turvallisuussyistä ja todellisen langattoman verkon tarpeettomuuden takia jäädä langalliseksi. Langattoman verkon kapasiteetin vaatimukset vaihtelevat lähes olemattomasta suhteellisen suureen, joten todellinen kapasiteetin tarve ilmeneekin vasta käytössä.

## 5.1 Tukiasemamallin valinta

Työn suunnitteluvaihe aloitettiin valitsemalla tukiasematyypin, jota käytettiin verkon toteuttamiseen. Suomalais-venäläinen koulu on valtion koulu, joka tarkoittaa, että tukiasemien hankinta tulee tehdä tiettyjen määräysten mukaisesti, jolloin valikoimassa ei ole niin paljon vaihtoehtoja kuin jos langattoman verkon rakentaisi yksityiselle sektorille. Mallin valintaan vaikutti esimerkiksi se, että verkko pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Tukiasemamalli, jolla lähdettiin verkkoa suunnittelemaan ja rakentamaan oli Zyxelin NWA-1100-N-tukiasema (kuva 8). Malli tukee 802.11n-standardia ja pystyy teoriassa jopa 300 Mbit/s nopeuteen. Malli tukee myös MIMO-tekniikkaa, jolla saadaan taattua parempi signaali. Tukiasemamallin hyviin puoliin lukeutui myös se, että se tukee PoE-tekniikkaa, jolla voidaan syöttää tukiaseman käyttöjännite verkkojohdosta, eikä näin ollen tarvita erillisiä virtalähteitä. NWA-1100-N-malli mahdollistaa myös neljän SSID:n käytön. Tämä mahdollistaa kaikille avoimen verkon käyttörajoitusten helpomman määrittelyn. Tukiasemasta puuttuu kuormantasaus ominaisuus, joka löytyisi kalliimmasta mallista. Lukion siivessä ja kirjaston alueella kuormantasaukselle saattaisi olla tarvetta, joten suunnitelmassa päädyttiin siihen, että näille alueille kannattaa valita Zyxelin 3000-sarjan tukiasemat, joista kuormantasaus löytyy.



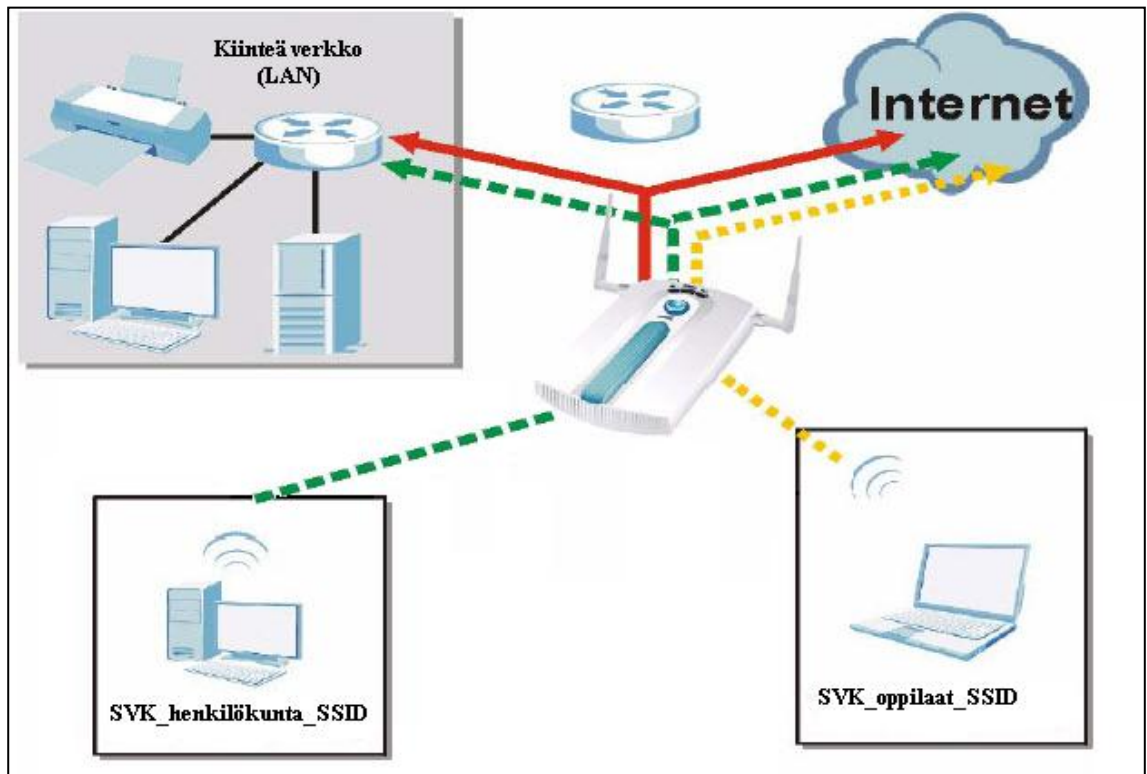
Kuva 8. NWA-1100-N-tukiasema



Kuva 9. NWA-3166-tukiasema

Useamman SSID:n käyttö tarkoittaa käytännössä sitä, että oppilaiden verkon käyttöä voitaisiin rajata. Kuvasta 9 ilmenee, kuinka käytännössä useamman SSID:n käyttö koululla tapahtuisi. Molemmat verkot voisivat olla näkyviä, mutta käyttäjät pääsisivät vain verkkoon, johon heillä on esijaettu salasana. Kuvassa esitetty jako on vain yksi

mahdollisuus. Oppilaille tarvittaisiin mahdollisesti myös pääsy joihinkin osiin kiinteää verkkoa, koska heillä on koulun palvelimella omia kansioita. Tukiasemat tukevat neljän erillisen SSID:n käyttöä, joka mahdollistaisi vielä esimerkiksi vierailijoille oman verkon tekemisen.



Kuva 9. Useamman SSID:n käyttö.

Ominaisuuksien ja hinnan lisäksi mallin ja valmistajan valintaan vaikutti se, että Zyxel tarjosi mahdollisuuden heidän omaan koulutukseensa tukiasemista ja lupasi antaa lainaksi tukiasemia, joilla pystyttiin verkkoa mitoittamaan ilman että vielä tarvitsee tukiasemia ostaa. Verkon mitoittamiseen saatiin lainaksi kaksi NWA-3160-N-tukiasemaa ja yksi NWA-3166-tukiaseman. Molemmissa malleissa lähetystehot olivat jotakuinkin samoja kuin NWA-1100-N-mallissa, joten niitä pystyttiin käyttämään verkon mitoituksessa. 3166-mallissa lähetysteho oli hieman suurempi, joten mittausvaiheessa kyseinen malli sijoitettiin paikkaan missä tarvittaisiin kuormantasausta ja täten kyseistä mallia.

## 5.2 Tukiasemien sijoittelu

Tukiasemien sijoittelun suunnittelemisen voi tehdä muutamalla eri periaatteella. Sijoittelu voidaan joko aloittaa jostain nurkasta ja lähteä etenemään siitä järjestelmällisesti eteenpäin, tai suunnittelu voidaan aloittaa keskeltä, ruuhkaisimmasta paikasta, ja lähteä siitä etenemään järjestelmällisesti. Pohjaratkaisultaan koulu on suhteellisen yksinkertainen suunnittelun kannalta. Pitkien siipien takia suunnittelu toteutettiin aloittamalla nurkasta ja etenemällä koulun ympäri järjestelmällisesti. Mittausvaiheessa käytössä oli vain kolme tukiasemaa, joten jouduttiin tekemään pieniä kompromisseja mittauksien aikana.

Koululla Ethernet-verkon kaapelointi on suhteellisen kattava ja joka luokassa on kaksi liityntäpistettä lankaverkkoon. Tukiasemat kuitenkin kannatti sijoittaa käytävän puolelle paremman kuuluvuuden takia, jonka takia tarvittaisiin läpivientejä luokista käytävälle. Sähkönsyöttö tulisi tapahtumaan joko PoE-hubien avulla tai paikoin suoraan sähköverkosta.



## 6 Mittausmenetelmät

### 6.1 Mittauksissa käytetty laitteisto

Koulualueen laajuudesta johtuen ei voitu hankkia tarvittavaa määrää tukiasemia, vaan jouduttiin pärjäämään ja kierrättämään tukiasemia ympäri aluetta. Käytössä oli kolme tukiasemaa. Lisäksi tarvittiin kannettavan tietokoneen, joka saatiin lainaksi Metropoliasta. Kannettavaan tietokoneeseen oli esiasennettu tarvittavat ohjelmat, sekä Ekahaun oma langaton verkkokortti. Laitteiston tarkempi kuvaus on seuraavassa.

Zyxel NWA-3160-N tukiaseman tärkeimmät ominaisuudet

- tukee IEEE 802.11 b/g/n-standardeja
- kaksi ulkoista antennia ja yksi radikanava
- useamman SSID:n käytön tuki
- maksimitiedonsiirtonopeus 120 Mbit/s
- maksimilähetysteho 18 dBm(b/g) ja 15 dBm(g/n)
- PoE-tuki
- WPA/WPA2-PSK –salauksen tuki
- konfigurointi mahdollista selaimella
- mitat : 198 mm x 138 mm x 45 mm paino 439 g.

Tukiasema on helppo sijoittaa pienen kokonsa ansiosta. Antennien takia tukiaseman korkeus kasvoi hieman. /12./

Zykel NWA3166 tukiaseman tärkeimmät ominaisuudet

- tukee IEEE 802.11 a/b/g/n-standardeja
- kaksi sisäistä antennia ja yksi radikanava
- maksimitiedonsiirtonopeus 100-110 Mbit/s
- maksimilähetysteho 17 dBm(b/g) ja 17 dBm(g/n)
- PoE-tuki
- WPA/WPA2-PSK –salauksen tuki
- konfigurointi mahdollista selaimella
- kuormantasauksen tuki
- mitat :198.5 mm x 138.5 mm x 47.5 mm paino 420 g,

Lähes samankokoinen kuin 3160-malli, mutta sisäiset antennit helpottavat asennusta.  
/13./

Fujitsu-Siemens kannettavan tietokoneen ominaisuudet.

- Intel Core 2 Duo P8400 2,26 GHz
- 3 GB keskusmuistia
- 160 GB kovalevy
- integroitu Intel WiFi Link 5300 AGN-verkkokortti
- Ulkoinen Ekahau USB-NIC-300-verkkokortti
- MS Windows XP professional-käyttöjärjestelmä
- Ekahau Site Survey 5.5-ohjelma

## 6.2 Ekahau Site Survey

Verkon suunnitteluun ja mitoittamiseen apuna käytettiin Ekahau-nimistä ohjelmaa. Ekahau on työkalu, jolla voidaan helposti pohjapiirustusten avulla mitoittaa verkkoa ja suunnitella tukiasemien sijoittelua.

Ohjelmasta löytyy työkalu, joka laskee teoriassa tarvittavien tukiasemien määrän. Käyttäjän tarvitsee ladata ohjelmaan rakennuksen pohjapiirustus ja merkitä siihen mittakaava sekä mahdollisimman tarkasti kaikki signaalin kulkua heikentävät tekijät, kuten seinät, kirjahyllyt, ikkunat, palo-ovet yms. Tämän jälkeen täytyy määritellä

haluttu peittoalue. Ohjelmalla pystyy myös suunnittelemaan verkon rakennukseen, jossa on useampi kerros. Pohjapiirustuksiin tarvitsee vain määritellä kohdistuspisteet, joiden avulla ohjelma kohdentaa pohjapiirustukset päällekkäin. Lisäksi on mahdollista simuloida verkkoon haluttu määrä verkkoa kuormittavia päätelaitteita.

Kun pohjapiirustukseen oli merkitty suurin osan seinistä, saatiin automaattisella suunnittelutyökalulla lopputulos, että tukiasemia tarvittaisiin koko koulun kattavan verkon rakentamiseen noin 50 kappaletta. Tämä ei kuitenkaan ollut haluttu lopputulos, koska alkuperäisen suunnitelman mukaan oli laskettu, että 15 tukiasemalla saataisiin peittoalue kattamaan koko koulun. Tukiasemien määrän ero johtui oletettavasti siitä, että työkalu laski pelkästään teoriassa, kuinka hyvin signaalit kuuluvat seinien ja esteiden lävitse.

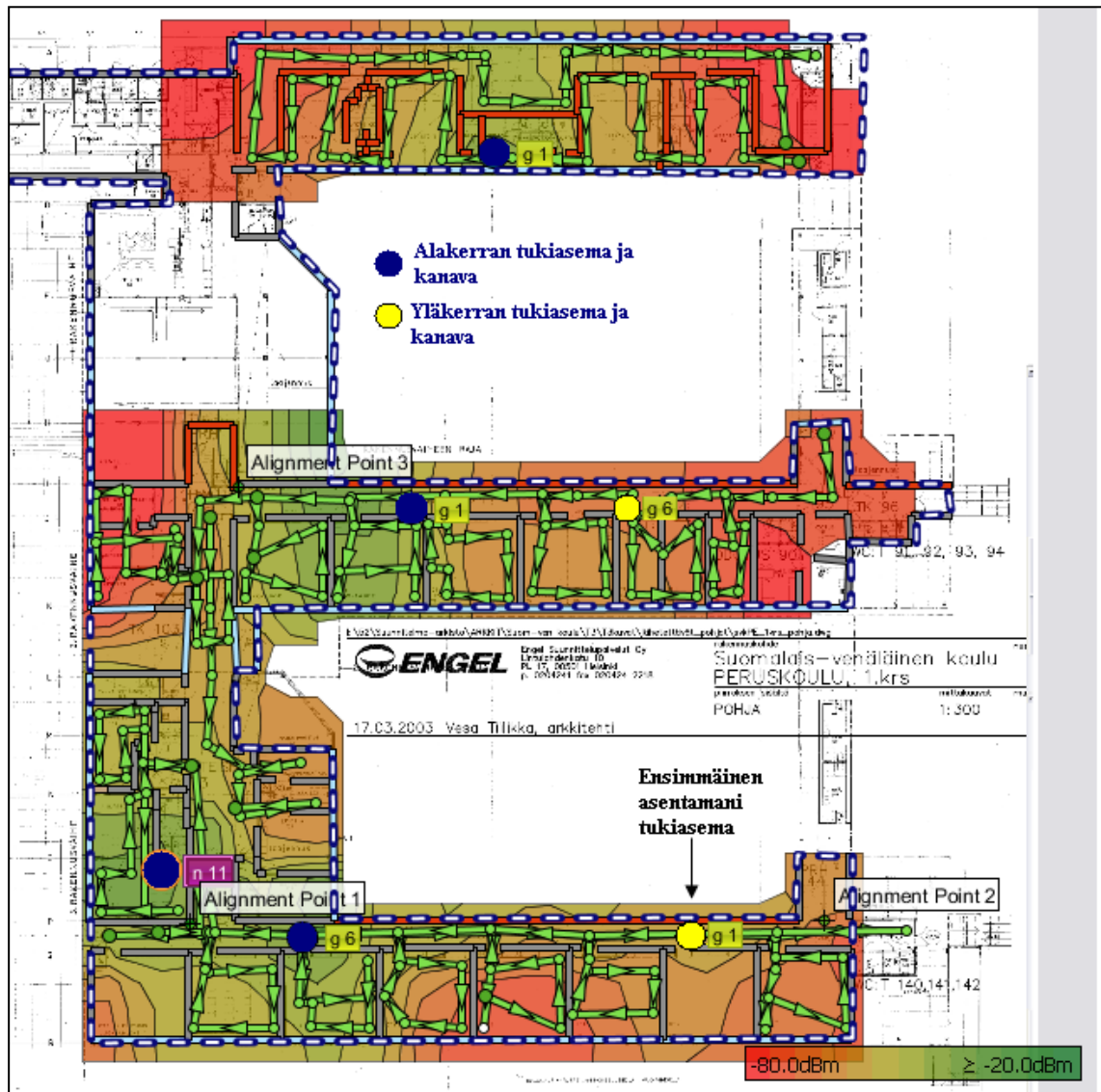
## 7 Verkon mitoitus ja tulokset

Kuvissa 11 ja 12 näkyvät saadut mittaustulokset. Ohjelman käyttö oli yksinkertaista ja verkon peittoalueen mitoittaminen oli sillä helppoa. Käytännössä ohjelmaan ladattiin Suomalais-venäläisen koulun pohjapiirustukset ja kerrokset kohdistettiin päällekkäin. Pohjapiirustuksiin asetettiin mittakaava, piirettiin seinät ja määritettiin haluttu peittoalue. Seinien piirtäminen ei olisi ollut välttämätöntä, mutta helpottaa kartan tulkitsemista. Tukiasemien asentamisen jälkeen aloitettiin mittaaminen.

Mittaaminen tapahtui siten, että karttaan merkittiin sijainti, mistä lähdettiin liikkeelle ja sen jälkeen lähdettiin kiertämään luokasta toiseen. Aina pysähtyessä tai käännyttyessä merkittiin sijainti mahdollisimman tarkasti kartalle, jolloin ohjelma tallensi siinä kohdassa kuuluvan signaalin vahvuuden. Kuvassa näkyvä viiva osoittaa kuljetun reitin, ja jokaisessa vihreän pallon kohdalla merkittiin sijainti. Jotkin luokat olivat remontin takia suljettuja eikä niihin päässyt mittaamaan verkon kuuluvuutta, mutta ohjelma arvioi kuuluvuuden niihinkin luokkiin. Koska käytössä oli vain kolme tukiasemaa jouduttiin mittaukset välillä keskeyttämään ja siirtämään tukiasemia uusille paikoille, jonka jälkeen mittausten tekoa jatkettiin.

Verkon peittoalueen mitoitus aloitettiin peruskoulun ala-asteen siivestä. Tukiasemien sijainnit näkyvät kuvasta 11. Ensimmäisen tukiaseman sijoitettiin yläkäytävälle noin 20 metrin päähän käytävän päästä, tukiaseman kanavaksi valittiin kanavan 1. Toisen tukiasema asennettiin toimimaan kanavalla 6 alakertaan noin 20 metrin päähän käytävän toisesta päästä. Kolmas käytössä ollut tukiasema asennettiin toimimaan kanavalla 11 opettajanhuoneeseen ala-asteen ja yläasteen siipien väliin. Kuvasta 11 näkee tukiasemien sijainnin ja mitatun signaalin vahvuuden. Signaalin vahvuuden mittaamisen jälkeen ala- ja yläkäytävästä siirrettiin tukiasemat yläasteen siipeen. Opettajanhuoneessa oleva tukiasema jätettiin paikoilleen. Tämän jälkeen kierrettiin kuvan osoittamaa reittiä ja mitattiin verkon kuuluvuutta ympäri yläasteen siipeä, jonka jälkeen ohjelma taas piirsi signaalin voimakkuutta kuvaavan värikartan. Esikoulun siivessä käytettiin vain yhtä tukiasemaa johtuen siitä, että verkon kapasiteetin tarve on niin pieni, että yhdellä tukiasemalla ja tehokkaalla ympärisäteilevällä antennilla sinne saadaan riittävä peittoalue. Esikoululla ei ole valmista kaapelointia, joten kyseinen

ratkaisu on helpompi ja edullisempi kuin käyttää kahta tukiasemaa ja kaapeloida molemmille Ethernet-verkko.

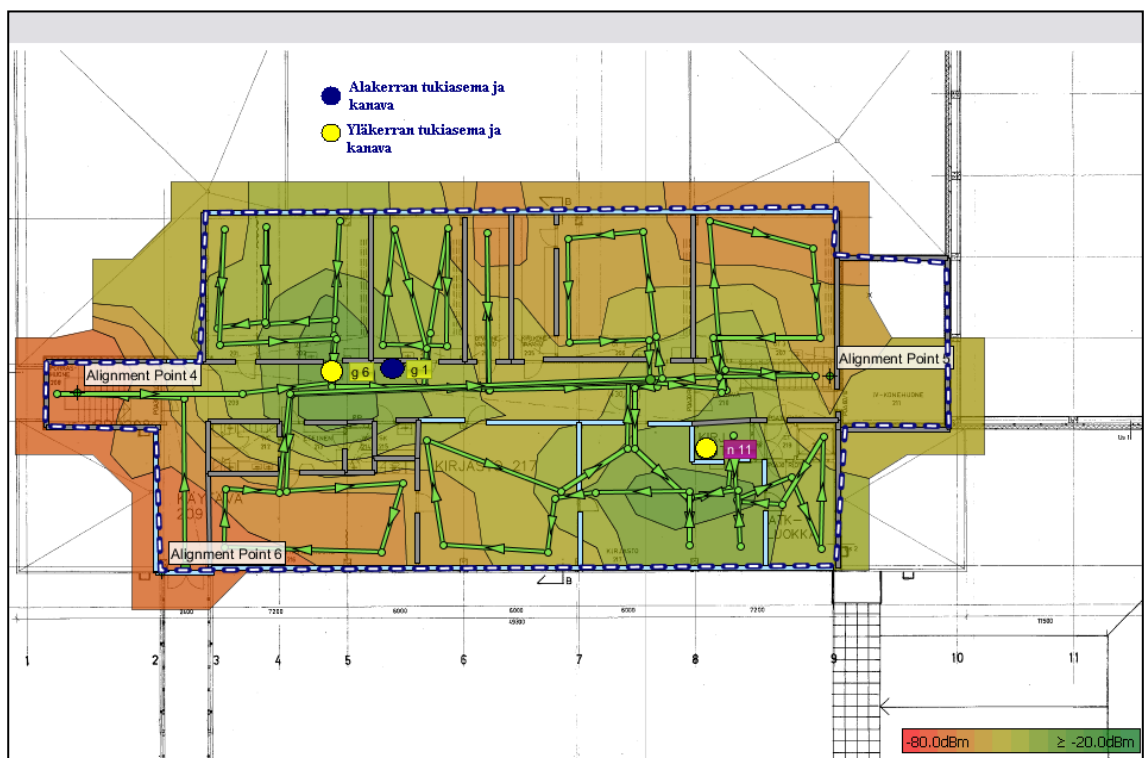


Kuva 11. Peruskoulun 1. kerros

Kuvasta nähdään, että yksi tukiasema jokaiselle käytävälle riittää melkein peittoalueen luomiseen, mutta signaalin vahvuus alkaa olla paikoitellen niin huono, että käytännössä verkko ei toimisi. Vihreä väri ilmaisee suhteellisen pientä vaimennusta, ja vihreillä alueilla tiedonsiirto toimii ilman ongelmia. Punainen väri ilmaisee suurempaa vaimennusta aina -80 dBm:iin asti. Langaton verkko toimii edelleen -80 dBm:n vaimennuksella, mutta silloin alkaa tiedonsiirtonopeus kärsiä, ja bittivirheiden mahdollisuus kasvaa. Yli -80 dBm:n vaimennusta voidaan pitää niin suurena, ettei verkko toimi enää, joten se ilmaistaan kartassa valkoisena katvealueena. Jos käytössä

olisi ollut useampia tukiasemia mittauksia tehtäessä, olisi kullekin käytävälle asennettu kaksi tukiasemaa, jolloin signaali olisi ollut riittävän voimakas kaikissa luokissa.

Lukion siipeen, joka on sen verran peruskoulun siivestä irrallaan, että peruskoulun puolen tukiasemat eivät juurikaan sinne kuulu, asennettiin toiseen kerrokseen kaksi tukiasemaa kuvan 12 osoittamalla tavalla. Kolmas tukiasema asennettiin alakertaan. Toisessa kerroksessa sijaitsee koulun kirjasto ja lukion opettajanhuone, jossa verkon kapasiteetin tarve olisi suurin. Kahden tukiaseman avulla käyttäjiä voisi toisessa kerroksessa olla samanaikaisesti noin 20. Todennäköisesti käyttäjiä tulisi olemaan kuitenkin enemmän, jolloin kaksi tukiasemaa ei riittäisi. Toimiva ratkaisu olisi käyttää toisessa kerroksessa kolmea Zyxelin 3000-sarjan tukiasemaa kuormantasauksella, jolloin käyttäjiä voisi verkossa olla samanaikaisesti noin 30 ja kuuluvuus olisi hyvä koko kerroksessa.



Kuva 12. Lukion 2. kerros

Kuvasta nähdään kuljettu reitti ja mittauspisteet. Kahdella tukiasemalla toisessa kerroksessa signaalin voimakkuus on riittävä kaikkialla, mutta kapasiteetti ei todellisessa käytössä olisi riittävä.

Kuvissa 11 ja 12 näkyvien mittausten lisäksi suoritettiin mittaukset samalla tavalla peruskoulun toisessa kerroksessa ja lukion ensimmäisessä kerroksessa. Mittaustulokset olivat yhteneviä kuvissa näkyvien mittausten kanssa. Käytännön syistä johtuen mittaukset suoritettiin koululla aikaan, jolloin luokissa ei ollut opetusta ja muutenkin koulu oli melkein tyhjä, joten mittaustulokset ovat hieman harhaanjohtavia, koska ihmiskeho vaimentaa signaalia jonkin verran.

Edellä olevien tulosten perusteella voidaan päätellä, että alussa esitetyn tavoitteen saada verkon peittoalue kattamaan koko koulun alue, ei ole taloudellisesti järkevää. Oman näkemykseni mukaan langattoman verkon tarpeellisuus siivissä, missä on pelkästään opetusluokkia, joihin jokaiseen on Ethernet-yhteys, ei ole riittävä siihen, että jokaiselle käytävälle asennettaisiin kaksi tukiasemaa. Mielestäni tarpeet kohtaisivat kohtuulliset kustannukset jos langattoman verkon toteuttamisessa keskityttäisiin pelkästään alueille, joilla verkosta olisi suurin hyöty. Alueet mihin itse keskittyisin, olisivat ala-asteen opettajanhuone, lukion toinen kerros ja esikoulu, koska siellä ei tällä hetkellä ole minkäänlaista verkkoa. Ala-asteen opettajanhuoneen verkon saisi toteutettua yhdellä NWA-1100-N-tukiasemalla. Esikoululle ei tällä hetkellä ole edes vielä kaapeloitu Ethernetiä, joten vaihtoehtoja olisi kaksi. Ensinnäkin olisi mahdollista asentaa sinne yksi NWA-1100-N-tukiasema missä olisi riittävän tehokkaat ympärisäteilevät antennit. Zyxelin ANT1106 ympärisäteilevä 6 dBi:n vahvistuksella oleva antenni olisi riittävä. Toinen vaihtoehto olisi kaapeloida liityntäpisteet Ethernet-verkkoon kahdelle tukiasemalle.

Mikäli verkon rakentamisen kustannustehokkuuteen ei tarvitsisi kiinnittää niin paljon huomiota, langattoman verkon voisi toteuttaa koululle seuraavanlaisesti. Ala-asteen ja yläasteen käytävillä kullekin tarvitsisi asentaa kaksi NWA-1100-N-tukiasemaa. Lisäksi ala-asteen opettajanhuoneeseen tarvittaisiin yksi tukiasema. Lukion siipeen toiseen kerrokseen tarvittaisiin kolme NWA-3166-tukiasemaa ja alakertaan kaksi NWA-1100-N tukiasemaa. Esikoululle riittäisi toinen edellä mainituista ratkaisuista. Kokonaisuudessa toimivan langattoman verkon luomiseksi koululle tarvittaisiin NWA-1100-N-tukiasemia 12 kappaletta ja NWA-3166-N-tukiasemia kolme kappaletta. Lisäksi tarvittaisiin kaksi ANT1106-antennia.

## 8 Yhteenveto

Tässä insinöörityössä käsiteltiin langattoman lähiverkon suunnittelemista ja toimintaa kouluympäristössä. Alkuun työssä tutustuttiin langattoman verkon standardeihin ja tekniikoihin. Lisäksi työssä tutustuttiin tukiasemien ja antennien toimintaan ja sivuttiin hieman tietoturvallisuutta. Loppuosassa insinöörityötä keskityttiin langattoman verkon suunnitteluun Suomalais-venäläiselle koululle.

Työssä tarvittava laitteiston konfigurointi ja asennus onnistui ilman suurempia ongelmia. Mittauksissa käytetyn Ekahau ohjelmiston käyttö oli yksinkertaista siinä määrin kuin sitä itse tarvitsin. Ekahauilla pystyisi tekemään paljon syvällisempää tarkastelua langattoman verkon toiminnasta, mutta tässä työssä tärkeintä oli saada mitoitettua toimiva langaton verkko koululle. Zyxeliltä lainaan saamieni tukiasemien esiasentaminen sujui selainpohjaisesti erittäin helposti ja tukiasemien sijoittelu välikattoon onnistui ilman suurempia ongelmia.

Langattomuus verkoissa on monissa tilanteissa erittäin käytännöllistä ja tarpeellistakin. Alustavasti työn tarkoituksena oli rakentaa toimiva langaton verkko koululle, mutta tutkimuksen aikana ilmenneiden seikkojen takia valmista langatonta verkkoa ei tulla tämän työn puitteissa toteuttamaan. Peruskouluympäristöön missä on jo valmiiksi suhteellisen kattava langallinen verkko, ei ole tarpeellista eikä kustannusten takia järkevää rankentaa WLAN verkkoa rinnalle. Kuitenkin langatonta verkkoa kannattaa miettiä asennettavaksi tiettyihin osia koulua, missä käyttö olisi suurempaa ja täten verkon rakentamiselle olisi paremmat perusteet. Mikäli langaton verkko tullaan koululle tulevaisuudessa toteuttamaan, kokonaisuudessaan tai osittain, työni tarjoaa sille käyttökelpoisen suunnitelman.

Tulevaisuudessa niihin osiin koulua, minne langallinen verkko ei vielä mene kannattaa langatonta verkkoa todennäköisesti harkita kaapeloinnin sijaan. Jossain vaiheessa, jos opetuksessa lisätään tietotekniikan ja langattomien laitteiden käyttöä, tulee langattoman verkon tarpeellisuutta arvioida uudestaan.



## VIITELUETTELO

- /1/ Geier Jim – suom. Holttinen Jarmo Langattomat verkot, EDITA, Helsinki 2005.
- /2/ MIMO – YourDictionary, [verkkolähde, viitattu 28.9.2011]  
<http://computer.yourdictionary.com/mimo>.
- /3/ Wi-Fi CERTIFIED™ Makes It Wi-Fi, An Overview of the Wi-Fi Alliance Approach to Certification [verkkolähde, viitattu 7.12.2011]  
[http://www.wi-fi.org/files/WFA\\_Certification\\_Overview\\_WP\\_en.pdf](http://www.wi-fi.org/files/WFA_Certification_Overview_WP_en.pdf).
- /4/ Puska Matti, Langattomat lähiverkot Talentum, Helsinki, 2005.
- /5/ WEP – Networkworld , [verkkolähde, viitattu 27.9.2011]  
<http://www.networkworld.com/details/715.html>.
- /6/ WEP-salauksen murtaminen [verkkolähde, viitattu 16.2.2012]  
<http://www.tietojesiturvaksi.fi/content/wep-salauksen-murtaminen>.
- /7/ IEEE std 802.11-2007 [verkkolähde, viitattu 27.9.2011]  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>.
- /8/ Karvonen Jan, Wireless Lan Level 1, PP esitys, Zyxel [viitattu 23.11.2011] .
- /9/ Jochen Schiller – Mobile Cpmunications second edition, Perarson Education Limited, Edinburgh, 2003.
- /10/ Antenna patterns and their meaning – Cisco [verkkolähde, viitattu 28.9.2011]  
[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/prod\\_white\\_paper0900aecd806a1a3e.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html).
- /11/ Datasheet – L-com [ verkkolähde, viitattu 28.9.2011]  
[http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS\\_HG2430G.PDF](http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG2430G.PDF).
- /12/ Tuoteseloste – Zyxel [verkkolähde, viitattu 23.11.2011]  
[http://www.zyxel.com/fi/fi/products\\_services/nwa3000\\_n\\_series.shtml](http://www.zyxel.com/fi/fi/products_services/nwa3000_n_series.shtml).
- /13/ Tuoteseloste – Zyxel [verkkolähde, viitattu 23.11.2011]  
[http://www.zyxel.com/fi/fi/products\\_services/nwa3000\\_series.shtml](http://www.zyxel.com/fi/fi/products_services/nwa3000_series.shtml).

## **SVK:n pohjapiirtukset**

Liitteet poistettu.