

Teuvo Honkanen

LANGATON INTERNET-YHTEYS
VUOKRATTAVILLE LOMA-
ASUNNOILLE

Raudanniemen loma-asunnot

Opinnäytetyö
Tietotekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 13.5.2011
Tekijä(t) Honkanen Teuvo Niilo Olavi		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Tietotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Langaton Internet-yhteys vuokrattaville loma-asunnoille		
Tiivistelmä Mikkeliissä sijaitsevat Raudanniemen loma-asunnot ovat asiakkaiden keskuudessa tunnettuja korkeasta laatutasostaan. Asiakkaitten toiveita kuunnellaan ja yksi tällainen toive oli Internet-yhteyden saaminen loma-asuntoon. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli vastata tähän toiveeseen kevään 2011 aikana suunnittelemalla alueelle langaton lähiverkko, josta on yhteys 3G-verkkoon. Teoriaosuudet laadittiin kirjallisuuslähteiden, aiheeseen liittyvien opintokurssien materiaalien ja laitevalmistajien ohjeiden avulla. Tilannetta arvioitiin karttapalvelun, radioaaltojen ja antennien teoriaan perustuvan tiedon avulla sekä paikanpäällä myös yrityksen omistajien kanssa. Asennetun verkon kuuluvuutta mitattiin Ekahaun HeatMapper-mittausohjelmalla. Dokumentti kirjoitettiin Microsoft Wordilla. Työn tavoite saavutettiin ja nykyisin alueen neljään loma-asuntoon on olemassa langaton Internet-yhteys. Saadun palautteen perusteella loma-asuntojen asiakkaat ovat käyttäneet Internet-yhteyttä jo ennakoitua enemmän.		
Asiasanat (avainsanat) Langattomat lähiverkot, radiotekniikkaa, antennitekniikkaa		
Sivumäärä 46	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Juutilainen Matti		Opinnäytetyön toimeksiantaja Kiinteistöyhtymä Luukkonen Petteri ja Luukkonen Terho

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Date of the bachelor's thesis 13 May 2011	
Author(s) Honkanen Teuvo Niilo Olavi	Degree programme and option Information Technology	
Name of the bachelor's thesis Wireless Internet access for rental holiday homes		
Abstract The holiday homes of Raudanniemi located in Mikkeli are known for their high level of quality among the customers. The wishes of customers are taken into account and one of them was for Internet access for the holiday homes. The purpose of this bachelor's thesis was meet this wish during the spring 2011 by designing a wireless LAN for the area with 3G access to the Internet. The theory of this bachelor's thesis was done by using literature, material related to study courses and with the instructions of equipment manufacturers. The situation was assessing using maps and theory about antenna and radio technology and becoming familiar with the site with the company's owners. After Installing the network, its coverage was measured by the Ekahau HeatMapper measurement program. The documentation was written by the Microsoft Word program. The aim of the work was achieved and now there are four holiday homes with wireless Internet access. Based on the feedback from the customers of holiday homes the usage of Internet connection is already used more than anticipated.		
Subject headings, (keywords) Wireless local area networks, radio technology, antenna technology		
Pages 46	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Juutilainen Matti	Bachelor's thesis assigned by Kiinteistöyhtymä Luukkonen Petteri ja Luukkonen Terho	

LYHENTEET

AES	Advanced Encryption Standard
AM	Amplitude Modulation
A-MPDU	Aggregate MAC Protocol Data Unit
A-MSDU	Aggregate MAC Service Data Unit
ASK	Amplitude Shift Keying
BPSK	Bipolar Phase Shift Keying
BSS	Basic Service Set
CCK	Complementary Code Keying
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection
DBPSK	Differential Bipolar Phase Shift Keying
DoS	Denial-of-Service
DQPSK	Differential Quatrature Phase Shift Keying
DS	Distribution System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
ESS	Extended Service Set
FDM	Frequency Division Multiplexing
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
HR/DSSS	High Rate / Direct Sequence Spread Spectrum
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
MAC	Media Access Control
MBSS	Mesh Basic Service Set
MIMO	Multiple Output Multiple Input
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OOK	On Off Keying
PCI	Peripheral Component Interconnect
PoE	Power over Ethernet
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quatrature Phase Shift Keying
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service
SSID	Service Set Identifier
SSL	Secure Sockets Layer
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
USB	Universal Serial Bus
VLAN	Virtual Local Area Network
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WDS	Wireless Distribution System
WEP	Wireless Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPA2	Wi-Fi Protected Access2

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	RADIOTEKNIKKAA	2
2.1	Sähkömagneettinen spektri	2
2.2	Sähkömagnetismin keksiminen	2
2.3	Radioaaltojen olemassaolo	4
2.4	Radioaaltojen ominaisuuksia	5
3	ANTENNIEN OMINAISUUKSIA	8
3.1	Yleistä tietoa antenneista	8
3.2	Antennien kentät	8
3.3	Antennin hyötysuhde ja efektiivinen pinta-ala	10
3.4	Monopoli- ja diboliantennit	11
3.5	Yagi-antenni	12
3.6	Log-periodinen diboliantenni	12
3.7	Pieni silmukka-, quad- ja heliksiantenni	12
3.8	Apertuuri- eli selkeän geometrisen muodon antennit	13
3.9	Radioaaltojen modulointimenetelmiä	13
4	LANGATON LÄHIVERKKO	20
4.1	Standardeja	20
4.2	Langattoman verkon tietoturva	28
4.3	Langattoman verkon osat	32
5	LANGATTOMAN LÄHIVERKON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	34
5.1	Verkon rakentaminen yrityksen toiveiden mukaisesti	34
5.2	Tilannearvio ja hankinnat	36
5.3	Laitteiden asetukset	36
5.4	Laitteiden asennukset	41
5.5	Langattoman lähiverkon toimivuuden mittaus	42
6	YHTEENVETO	43
	LÄHTEET	45

LIITTEET

- 1 Antennin vastaanottoteho
- 2 Tukiaseman lähetysteho
- 3 Fresnel-kehän laskuri

1 JOHDANTO

Raudanniemen seitsemän vuokrattavan loma-asunnon omistajilla on alueella sijaitsevassa omakotitalossaan ollut Internet-yhteys jo noin vuosikymmenen ajan. Aluksi Internet-yhteys toimi lankapuhelinverkossa modeemin avulla. Silloinen palveluntarjoaja lopetti kuparikaapelia pitkin tulleen puhelinyhteyden ja tarjosi tilalle langattoman puhelinyhteyden, jonka nopeus oli verrattavissa ISDN-yhteyteen.

Lopulta puhelinyhteyden hinta nousi liian suureksi, joten Raudanniemen loma-asuntojen omistajat luopuivat siitä. Internet-yhteys oli edelleen tarpeen ja ratkaisu ongelmaan oli Digitan tarjoama @450. Palveluntarjoajaksi Raudanniemen asukkaat valitsivat Soneran, jolta ostivat myös tarvittavan laitteiston.

Palveluntarjoajat ovat laajentaneet viime vuosina 3G-verkkojensa kuuluvuutta. Raudanniemen alue on nykyisin 3G-verkon peittoalueella. Puhelinmyyjä DNA:lta soitti Raudanniemen yrittäjille ja tarjosi @450:een verrattuna huomattavasti edullisemmän ja hieman nopeamman laajakaistaliittymän, joka sisälsi 3G-modeemin. Raudanniemen asukkaat ottivat tarjouksen vastaan ja nykyisin palvelun tarjoaa DNA 3G-verkossaan.

Yrittäjälle oli tullut kyselyjä Internet-yhteydestä myös loma-asuntojen asiakkailta, joten tämän työn sisältö ja päämäärä oli suunnitella ja toteuttaa tämä visio käytännössä. Ainoaksi ratkaisuksi nopealla aikataululla ja ilman kaapeleita toteutettuna jää laajakaistayhteyden jakaminen langattomasti ilmatietä pitkin. Edelleen suhteellisen pitkät loma-asuntojen väliset etäisyydet ja vaihtelevat maasto-olosuhteet asettavat omat haasteensa myös langattomalle verkkoyhteydelle.

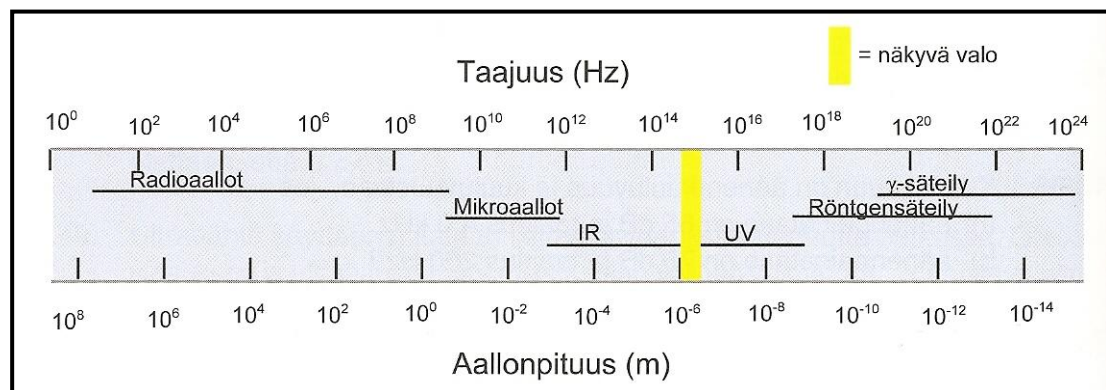
Siksi luvussa kaksi pohditaan radioaaltojen taustaa, radiosignaaleja sekä niiden etenemistä ja modulointimenetelmiä. Antenneista ja niiden ominaisuuksista kerrotaan luvussa kolme. Antennit ovat tärkeässä roolissa, koska loma-asunnot sijaitsevat Saarijärven rannan suuntaisesti lähes etelästä koilliseen ja niiden väliset lyhimmät suorat etäisyydet ovat 90-155 metriä. Luvussa neljä käydään läpi tärkeimpiä langattoman lähiverkon standardeja, tietoturvaa ja langattoman lähiverkon osat. Luvussa viisi toimitetaan langaton lähiverkko käytännössä ja testataan sen toimivuus. Luvussa kuusi tehdään yhteenveto työstä.

2 RADIOTEKNIKKAA

Opinnäytetyön radiotekniikkaa osiossa käsitellään historiaa säteilyn spektrin löytymisestä radioaaltoihin. Tämän jälkeen pohditaan radioaaltojen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä. Seuraavaksi on asiaa modulaatioista ja niiden tekniikasta. Kaikki tämä on olennaista langattomista lähiverkoista puhuttaessa, koska langattomat lähiverkot toimivat radioteitse.

2.1 Sähkömagneettinen spektri

Kaikkea ei voi tarkastella ihmisaistien, mutta välineitä tällaisten ilmiöiden tarkasteluun on saatu tekniikan kehittymisen myötä. Ihmissilmä kykenee havaitsemaan kaikesta avaruudesta tulevasta säteilystä vain näkyvän valon, jonka aallonpituus on noin 400-700 nanometriä. Näkyvän valon lyhytaaltoisessa päässä ovat violetti ja sininen valo, pitemmän aallonpituuden päässä punainen valo. /1, s. 69./



KUVA 1. Sähkömagneettinen spektri /10, s. 174/

Lyhyemmän näkyvän valon taajuuden ulkopuolella ovat matalataajuisemmat ultravioletti, röntgen ja gammasäteily. Pidemmän näkyvän valon aallonpituuden ulkopuolella ovat korkeataajuisemmat infrapuna-, mikro- ja radioaallot. Tarkastellessamme sähkömagneettista säteilyä kokonaisuutena, puhumme sähkömagneettisesta spektristä. /1, s. 69./ Sähkömagneettinen spektri on esitettyä kuvassa 1.

2.2 Sähkömagnetismin keksiminen

Infrapun löysi brittiläinen tähtitieteilijä William Herschel (1738-1822). Vuonna 1800 Herschel teki kokeellisen havainnon lämpömittarilla, jonka alaosa oli tummen-

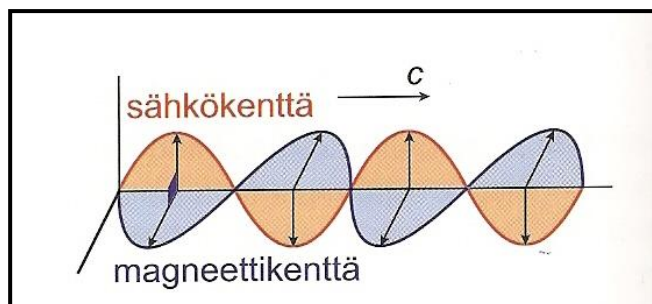
nettu. Lämpömittari kykeni absorboimaan lämpösäteilyä ei-näkyvän valon alueella ja näin saatiin todiste infrapunan olemassaolosta. Kaikki lämpimät esineet, ihmiset, tasalämpöiset eläimet ja mm. tähdet lähettävät ympärilleen näkymätöntä lämpösäteilyä. /2, s. 57./

Tiettävästi ensimmäisenä magnetismin ja sähkön välisen yhteyden osoitti vuonna 1820 tanskalainen fyysikko Hans Christian Ørsted (1777-1851). Kuitenkin tunnetumpi englantilainen fyysikko Michael Faraday (1791-1867) pystyi näyttämään toteen vuonna 1831, että sykkivä magneettikenttä luo sähkökentän. Faraday teki oletuksen: sähkömagneettisia voimia voidaan verrata tuntemattomassa väliaineessa tapahtuviin väreilyihin. /1, s. 69./

Skotlantilainen fyysikko James Clerk Maxwell (1831-1879) julkaisi 1864 tutkimuksensa, jossa hän kokosi sähkömagneettisia kenttiä koskevan tiedon. Tutkimuksensa pohjatietoina hän käytti Ampéren virtalakia, Faradayn induktiolakia ja Gaussin sähkövuolakia. Ampéren virtalakiin hän lisäsi vielä siirrosvirtatermin. Maxwell pystyi esittämään ja kirjoittamaan ajatuksensa matemaattisina yhtälöinä, jotka tunnemme Maxwellin yhtälöinä. / 1, s.69: 16, s.13./

Neljä Maxwellin yhtälöä kuuluu sanallisesti kvalitatiivisessa muodossa:

- I. Sähköisten varauksien jakauma määrää sähkökentän.
- II. Magneettivuoviivat ovat suljettuja, eli magneettisia varauksia ei ole olemassa.
- III. Muuttuva magneettivuo synnyttää sähkökentän, ts pinnan läpi kulkevan magneettivuon muutos aiheuttaa sähkömotorisen voiman.
- IV. Sekä liikkuva varaus (virta) että muuttuva sähkövuo synnyttävät magneettikentän. /16, s. 20./

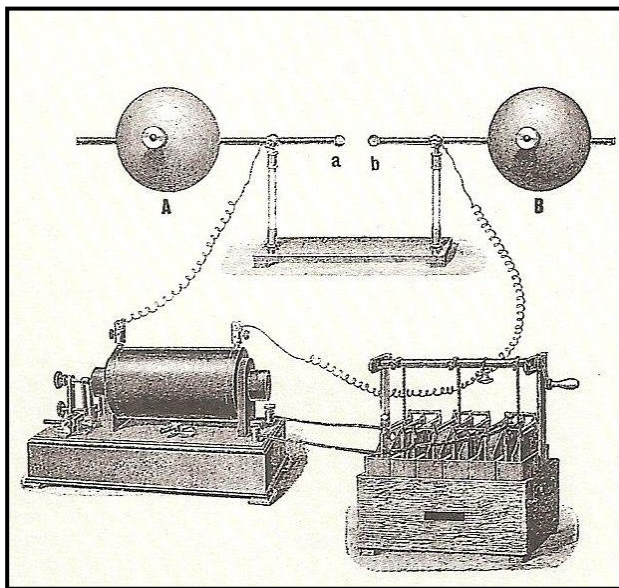


KUVA 2. Sähkömagneettinen aaltoliike /10, s. 194/

Edellä olevien yhtälöiden perusteella Maxwell esitti, että sykkivä sähkövaraus aikaansaa sähkömagneettisen kentän, joka etenee lähteestään vakionopeudella. Ilmiö näkyy kuvassa 2, jossa c on valonnopeus. sähkö ja magneettikenttien vaihtumisena kohdistuoraan toisiaan vastaan. Laskemalla tämän nopeuden matemaattisesti Maxwell päätyi valonnopeuteen ja oletti näin valon olevan eräs sähkömagneettisen säteilyn muoto. Lisäksi Maxwell esitti teorian, jonka mukaan on olemassa sellaista säteilyä, jonka aallonpituus on suurempi tai pienempi kuin valon aallonpituus. /1, s. 69./

2.3 Radioaaltojen olemassaolo

Radioaaltojen olemassaolon vahvasti kokeellisesti käytännössä juutalaissyntyinen fyysikko Heinrich Hertz (1857-1894) vuonna 1889 tekemällään kojeella, joka on kuvassa 3. Hän kytki induktiokelan, joka varasi kondensaattoria. Kondensaattori ja kela olivat lisäksi kytketty omiin antenneihinsa. Kun kondensaattori oli varautunut riittävästi, antennien välillä kipinöi ja kondensaattori purkautui. Tämä käynnisti värähtelyn, koska purkausvirta oli indusoinut kentän kelaan. Edellisestä seurasi sähkömagneettisia aaltoja jotka indusoivat kipinöitä vastaanottoantenniin liitettyjen kahden pienen pallon välille. Syntyneet signaalit kulkivat halki avaruuden. Periaatetta käytettiin sittemmin kipinälenäyttimissä. /2, s.58; 1, s. 69./



KUVA 3. Hertzin koje /2, s.58/

Kokeidensa perusteella Hertz pystyi myös osoittamaan mittaamalla, että säteilyn aallonpituus oli noin miljoonakertainen näkyvän valon aallonpituuteen verrattuna. Tämä ei ollut ainut yhtäläisyys, vaan näillä radioaalloilla oli myös kaikki valon aaltoteorian jo selittämät ominaisuudet kuten interferenssi, heijastuminen, diffraktio ja taittuminen. Säteilyenergian jakautuminen aallonpituuksien kesken piti vielä selvittää ja tämän teki saksalainen Max Planck (1858-1947) vuosisadan vaihteen aikana kuvaamalla säteilyn kvanteiksi, tietyn energian omaaviksi hiukkasmaisiksi paketeiksi. /2, s.57; 1, s. 69./

2.4 Radioaaltojen ominaisuuksia

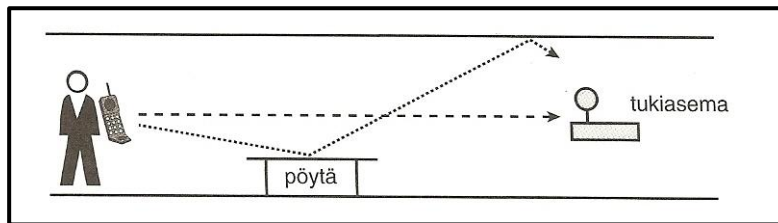
Radioaalto ei etene vain suoraan lähettimestä vastaanottimeen, vaan ilman lämpötila, paine, kosteus, sade, sumu, savu sekä epäpuhtaudet ja hiukkaset kuten vaikkapa hiekka aiheuttavat muutoksia etenevään aaltoon. Heijastusta, sirontaa ja taipumista aiheuttavat myös maaston kohteet ja rakennukset. Seuraavissa kappaleissa on joitakin oleellisia radioaaltoon vaikuttavia tekijöitä.

Interferenssi

Interferenssiä esiintyy silloin kun kaksi samaa tai toisiaan lähellä olevaa taajuutta sotkevat toisiaan. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi kahden tai useamman eri verkkoon kuuluvien, mutta samalla taajuudella lähettävien tukiasemien kanssa. Interferenssitilanteessa tukiasemat lähettävät kehyksiä uudelleen niiden virheellisyyksien vuoksi, joten yhteysnopeus pienenee. Myös muut laitteet voivat aiheuttaa interferenssiä, jos ne toimivat samalla taajuudella tukiaseman kanssa. Jos tukiasema käyttää 2.4 GHz:n taajuuksia, todennäköisyys interferenssille on naapurien tukiasemien ja mm. mikroaaltouunien kanssa suurempi kuin 5 GHz:n taajuuksilla, joita on huomattavasti enemmän. /4, s. 73./

Heijastuminen

Heijastuminen tapahtuu, kun radiosignaalit menevät muuta kuin suoraa reittiä pitkin lähettävästä kohteesta vastaanottavaan kohteeseen. Heijastumista tapahtuu rakennuksen sisällä, kun katosta ja seinistä heijastuu osa signaaleista taittuen tulokulmansa mukaisesti kuten kuvassa 4 ja jatkaa sitten etenemistään.



KUVA 4. Suora ja heijastuva signaali /4, s.74/

Vaimeneminen

Radiosignaali voi edetä tyhjiössä lähes ilman muutoksia, energia jakautuu kuitenkin laajemmalle alueelle, joten vaimenee vähitellen sielläkin. Väliaineessa signaalin teho ja amplitudi pienenevät. Radioaallot etenevät ilmassa, mutta vaimenevat etäisyyden kasvaessa, sillä väliseinät, esteet, ilmassa olevat happi ja vesimolekyylit sekä ilman epäpuhtaudet vaimentavat signaalia. Vaimeneminen ilmoitetaan desibeleinä, koska se kasvaa eksponentiaalisesti etäisyyden kasvaessa. Desibelit helpottavat laskemista, koska kerto- ja jakolaskut muuttuvat näin yksinkertaisemmiksi yhteen ja vähennyslaskuiksi. Noin kolmen desibelin vähennys tarkoittaa voimakkuuden puolittumista. /13, 56-59./

Taipuminen eli Diffraktio

Taipuminen eli diffraktio tapahtuu, kun radioaalto kohtaa esteen ja taipuu aallonpituutensa edellyttämällä tavalla. Jos signaalin aallonpituus on sama kuin kahden esteen väli, signaali leviää kaikkiin suuntiin esteet ohitettuaan. Matalataajuiset äänisignaalit taipuvat voimakkaasti esteiden takia. Ahtaassa aallonpituuttaan pienemmästä välistä mentyään signaali jatkaa etenemistään lähes suoraan, tämä on ominaista korkeataajuisille signaaleille. /10, s.119./

Sironta

Radiosignaali törmää väistämättä ilmassa oleviin pienhiukkasiin. Osa radiosignaalista siroaa silloin eri suuntiin hajaantuen. Sirontaa voidaan käyttää myös hyödyksi suunntaamalla radiosignaali ylös pienhiukkasiin ja keräämällä näin sironnneet signaalit vastaanottoantenneilla. /16, s. 197./

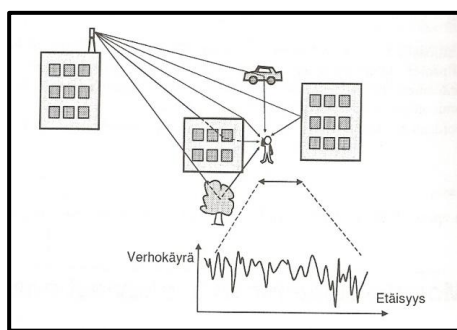
Häipyminen

Kun radiosignaalitaso vaihtelee satunnaisesti, ominaisuutta kutsutaan häipymiseksi. Kantoaallon ja modulaation taajuuksiin verrattuna satunnainen vaihtelu on huomattavasti hitaampaa. Häipyminen voidaan jakaa kahteen lajiin: hitaaseen ja nopeaan. Hidas häipyminen aiheutuu kun yhteysvälin olosuhteet muuttuvat vaikkapa lämpötilan tai kosteuden muuttuessa. Nopea häipyminen johtuu joko eri aikaan saapuvien radiosignaalien interferenssistä tai yhteysvälillä olevasta esteestä. /9, s. 237-238./

Radiosignaali voi heikentyä tai kokonaan katketa tukiaseman ja päätelaitteiden väliltä vaikkapa tilapäisesti kun toinen tai molemmat liikkuvat ja välillä on jokin este. /9, s. 238./ Tällainen tilanne on mahdollinen esimerkiksi matkapuhelimissa saaristomerellä laivassa, kuten omalle puhelimelleni kävi Turun ja Maarianhaminana välisellä merialueella. Kaivoksessa, syvällä kallion sisällä ei myöskään ole kenttää, ellei sitä ole varta vasten rakennettu.

Monitie-eteneminen

Optimitilanteessa lähettävän ja vastaanottavan laitteen välillä on näköyhteys, jolloin signaalit etenevät useita teitä rinnakkaisesti. Silloin signaalin verhokäyrä on Rice-jakautunut eli keskiarvo on erisuuri kuin nolla. /16, s.195./



KUVA 5. Monitie-eteneminen /16, s. 196/

Jos näköyhteyttä ei ole, signaalien verhokäyrä on Rayleigh-jakautunut eli keskiarvo on nolla. Jälkimmäisessä ovat mukana monet radioaallolle jo aikaisemmin mainitut ominaisuudet: heijastuminen, diffraktoituminen, siroaminen sekä signaalien kulkeminen kasvillisuuden ja rakennusten seinien läpi. Eli signaali monitie-etenee kuten kuvassa 5 lähettimen ja vastaanottimen välillä. /16, s.195./

3 ANTENNIEN OMINAISUUKSIA

Opinnäytetyön antennien ominaisuuksia osio on tärkeä osa kokonaisuutta, sillä niistä langattoman lähiverkon käytännön toiminta on riippuvainen. Aikomus on myös hyödyntää moniantennitekniikan suomia etuja, joten antennien ominaisuudet ovat yksi merkittävimmistä tekijöistä työn onnistumisessa.

3.1 Yleistä tietoa antenneista

Antenneja käytetään radioaaltojen lähettämiseen ja vastaanottoon. Antenniin liitettyssä johdossa on lähettimen lähetysteho, joka on tarkoituksenmukaista siirtää mahdollisimman tehokkaasti vapaaseen tilaan, jossa aalto sitten etenee. Kun aalto vapaan tilan jälkeen saavuttaa vastaanottavan antennin, se siirtyy antenniin kiinnitetyn johdon kautta vastaanottimeen. /16, s.156./

Radiosovellukset vaativat antennin. Nykyisin radiotaajuudet ovat yhä voimakkaammin kuormitettuja ja vapaita taajuuksia ei juuri ole, joten myös antenneilta odotetaan sopeutumista vaatimuksiin yhä enemmän. Antenneja tehdään erilaisina eri käyttötarkoituksiin, jolloin tärkeitä seikkoja ovat käytetty radiotaajuus ja käyttötarkoitus. /16, s.156./

On olemassa joitakin peruskäsitteitä, jotka ovat kaikille antenneille yhteisiä. Yleensä ottaen antennit ovat resiprookkisia eli antennilla on samanlaiset lähetys- ja vastaanotto-ominaisuudet. Yleistäen useimmat antennit lähettävät tietyllä teholla tiettyyn suuntaan, joten samalla teholla ja samansuuntaisesti ne myös vastaanottavat eli ovat resiprookkisia. Jos antennissa on ferriittikomponentteja tai vahvistimia tai yhteysvälillä on plasman aiheuttamaa Faraday-kiertymistä, niin resiprookkisuus ei toteudu. /16, s.156./

3.2 Antennien kentät

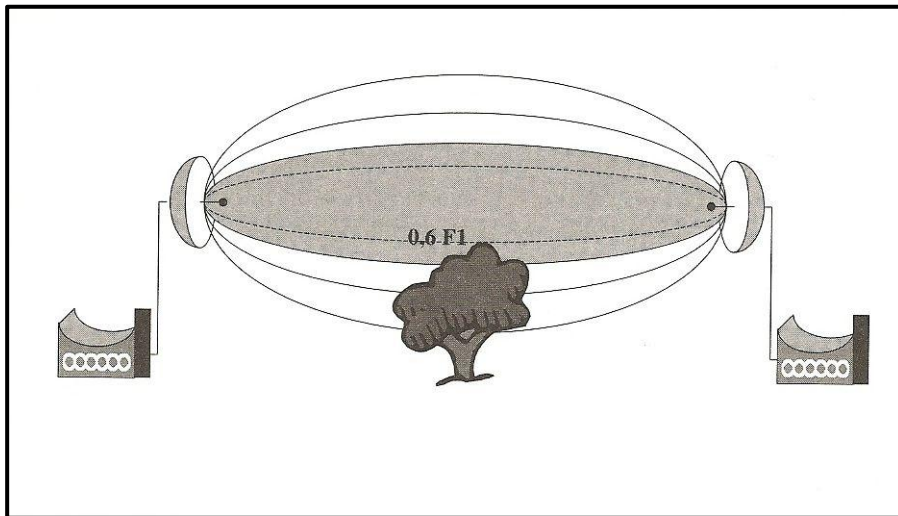
Antennia ympäröivä tila voidaan jakaa karkeasti ottaen kolmeen, joskaan ei kovin tarkkarajaiseen osaan säteilykentän ominaisuuksien mukaan. Ensimmäisenä on reaktiivinen lähikenttä, jossa säteilevä osa on pienempi kuin reaktiivinen osa, joka ei säteile. Tämän jälkeen tulee Fresnelin eli säteilevän lähikentän alue, jossa säteilyominais-

suudet määräytyvät etäisyyden mukaan. Ilmiö johtuu antennin osien etäisyyksien muuttumisesta suhteessa aallonpituuteen havaintopisteen etäisyyden muuttuessa.

Fresnel on kehittänyt laskentakaavan kahden antennin välisen yhteyden esteiden vaikutuksen laskemiseksi niin sanotun Fresnelin ellipsoidin. Ellipsoidin poikkileikkauksen eli kehän halkaisijan laskeminen usein riittää. Näin lasketusta Fresnelin ensimmäisen kuvassa 6 näkyvän kehän halkaisijasta 50-60% tulisi olla vapaana, jotta signaali olisi riittävän voimakas. Fresnel-kehän halkaisijan kaava on:

$$FN = \sqrt{\frac{ND_1D_2}{D_1 + D_2}} \quad (1)$$

Kaavassa 1 N on Fresnel-kehän luku esimerkiksi 1 ja D_1 ja D_2 esteen etäisyys antenneista. /13, s. 61./



KUVA 6. Fresnel-kehät ja välillä oleva este /13, s. 62/

Kolmantena ja kenties useimmiten tärkeimpänä on Fraunhoferin eli kaukokentän alue, jolloin kenttä pienenee käänteisesti etäisyyteen verrattuna. Matalalla taajuudella toimivissa pienissä antenneissa edellä kuvatut tila-alueet eivät päde. /16, s.156-157./

$$r = \frac{2 * D^2}{\lambda} \quad (2)$$

Kaukokentän raja (r) voidaan laskea muilla kuin matalalla taajuudella toimivissa antenneissa yllä olevan kaavan 2 mukaisesti. D on antennin suurin mitta säteilysuuntaa vastaan suorassa kulmassa. λ on signaalin aallonpituus. Antennin reunan ja keskustan välinen syvyys saa olla tässä laskukaavassa vain $\lambda/16$. /16, s.157./

Antennien suuntaominaisuuksia voidaan esittää koordinaatiston avulla, mutta koordinaatisto voi olla vaikka kolmiulotteinen pallokoordinaatisto, jossa ominaisuuksien laskeminen voi johtaa hyvinkin monimutkaisiin matemaattisiin lausekkeisiin. Usein kaksiulotteinen tasokoordinaatisto riittää kuvamaan antennin tärkeimmät ominaisuudet. /16, s.158./

Säteilykuvio ja vahvistus ovat antennin tärkeimmät suorituskykyyn vaikuttavat ominaisuudet. Lisäksi muita tärkeitä ominaisuuksia ovat impedanssi, kaistanleveys ja hyötysuhde tai mekaaniset ominaisuudet kuten paino. Impedanssi täytyy sovittaa ja jos useampi antenni kytketään yhteen, tarvitaan myös tehonjakajaa. /16, s.157 ja 183./

Antenni ei säteile samalla tavoin joka suuntaan, vaikka vastaanottaa ja lähettää resiprookkisesti. Säteilykuvio ja suuntakuviot ovat usein sama asia. Monet antennit ovat voimakkaasti suuntaavia, jolloin suuntakuviossa on selvä pääkeila ja sivukeiloja. Suuntakuvioista näkee sekä pääkeilan suunnan että puolen tehon keilanleveyden. /16, s.157./

3.3 Antennin hyötysuhde ja efektiivinen pinta-ala

Antennien ominaisuuksia lasketaan vertaamalla niitä teoreettiseen eli isotrooppiseen häviöttömään antenniniin, jollaista ei reaalisesti ajateltuna voi olla edes olemassa. Antennin vahvistus voidaan kuitenkin laskea vertaamalla antennin todellista vahvistusta häviöttömän antennin vahvistukseen ja näin saadaan lasketuksi antennin hyötysuhde.

$$\eta = \frac{D}{G} \tag{3}$$

Tämän tekstin yläpuolella olevassa kaavassa 3 teoreettisen antennin vahvistus (G) ja suuntaavuus (D) ovat samat, mutta todellisen antennin suuntaavuus on teoreettista

vahvistusta (G) pienempi, josta säteilyhyötysuhde (η) lasketaan yllä olevan kaavan mukaisesti. Kaava toimii myös toisinpäin eli $G = \eta * D$. Suuntaavuudet ovat antennikohtaisia, mutta esimerkiksi nelikulmion muotoisen antennin suuntaavuus on neljä kertaa pii jaettuna aallonpituuden neliöllä kertaa pinta-ala. ($D = 4\pi / \lambda^2 * A$) /16, s.159./

Antennin efektiivinen pinta-ala eli hyötyala voidaan laskea aallonpituuden (λ) ja vahvistuksen (G) avulla seuraavan kaavan 4 mukaisesti:

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} * G \quad (4)$$

Kun antennilla on selkeästi geometrinen muoto, antennin hyötysuhde voidaan määrittää efektiivisen pinta-alan suhteena fysikaaliseen pinta-alaan. /16, s.159-160./

3.4 Monopoli- ja diboliantennit

Monopoli- ja diboliantennit eli ns. lanka-antennit ovat yleisiä alle yhden gigahertsin taajuuksilla käytettävissä kohteissa. Yleinen lanka-antennimalli on diboli, suora johdin, joka on katkaistu keskeltä aaltojohdosta syöttämistä varten. Dipoliantennin virta on pieni, mutta jännite korkea. Erityisen käyttökelpoinen on puoliaaltodiboli, jossa antennin kokonaisleveys on puolet aallonpituudesta. Puoliaaltodibolin puolen tehon keilanleveys on 78° suuntaavuus 1,64 eli 2,15 desibeliä ja säteilyresistanssi 73,1 ohmia. Dipoliantenneja voidaan tehdä myös taittodipoleina, jolloin niiden kentän voimakkuus kaksinkertaistuu ja säteilyteho sekä säteilyresistanssi nelinkertaistuvat. Syöttöjohtona voidaan taittodibolille käyttää 300 ohmin syöttöjohtoa. /10, s. 340-341; 16, s.165-166./

Monopoliantenni on johtavan tason yläpuolella oleva yksinkertaisimmillaan yksittäinen suora lanka. Usein maanpinta toimii johtavana tasona ja säteily tapahtuu puoliavaruuteen ja johtavan tason alapuolinen alue lisää tehotiheyden yläosan hyväksi, jolloin vahvistus kaksinkertaistuu ja impedanssi puolittuu diboliantenniin verrattuna. Neljänosaallonpituisen säteilyresistanssi on monopoliantennille 36,5 ohmia. Monopolian-

tennin säteilytehoa voidaan lisätä huippuun kiinnitettävällä horisontaalisella langalla, jolloin säteilyresistanssi kasvaa. /10, s. 341; 16, s.166-167./

3.5 Yagi-antenni

Monopoli- ja diboliantennit ovat hyviä silloin kun tarvitaan säteilyä joka suuntaan, mutta nämä eivät toimi parhaalla mahdollisella tavalla silloin kun tarvitaan voimakasta suuntaavuutta. Yagi-antenni koostuu vähintään kahdesta, mutta useimmiten useammasta didoliantennista, joista vain yhtä elementtiä syötetään. Yagi-antennissa käytetään hyväksi elementtien keskinäisvaikutusta ja resonanssia. Yagi-antenni on resonanssissa kun syötettävä diboli on pituudeltaan 0,45-0,48 aallonpituudesta. Säteilijän takana kokonaispituudeltaan 5 % säteilijää lyhempi heijastinelementti, jonka etäisyys säteilijästä on 0,15-0,3 kertaa aallonpituus. Säteilijän etupuolella on suuntaavan osan elementit, jotka ovat 5 % pääsäteilijää lyhyempiä ja niiden väliset etäisyydet ovat myös 0,15-0,30 aallonpituuteen verrattuna. Yagi-antennilla päästään erittäin voimakkaaseen suuntaavuuteen, mutta haittapuolena on kapea taajuuskaista. Seitsenelementtisen yagi-antennin suuntaavuus on tyypillisesti 12 desibeliä. /10, s.341; 16, s.167-168./

3.6 Log-periodinen diboliantenni

Log-periodinen antenni on laajakaistainen ja sen ominaisuudet toistuvat taajuuden logaritmin suhteen. Taajuuksien suhde on tällöin vakio. Dibolien pituudet saadaan kertomalla tai jakamalla taajuuksien suhteesta lasketulla vakiolla tai elementtien kulman avulla lukuun ottamatta kummassakin päässä olevaa elementtiä. Diboleja syötetään lyhyempien elementtien puoleisesta päästä ja vaihe kääntyy jokaisen elementin kohdalla. Se logperiodisen antennin elementti, joka on lähinnä aallonpituuden puolikasta ja siten resonanssissa, säteilee voimakkaimmin. Säteily kohdistuu siihen suuntaan, jossa on lyhimmät dibolielementit. Elementtien pituudet voidaan laskea myös kulman avulla. /16, s.168./

3.7 Pieni silmukka-, quad- ja heliksiantenni

Silmukka- quad- ja heliksiantennit ovat lanka-antenneja. Silmukka-antennin kehän pituuden ollessa aallonpituus nollakohta on kehän tasossa ja maksimi kohtisuorassa

kehän tasoa vastaan. Quad-antenni on nimensä mukaisesti neliön muotoon asetettuja lankoja, niin että neliöiden koko kasvaa pääkeilan suunnasta pois päin ja vain yhtä elementtiä syötetään. Heliksimantenni on oikea- tai vasenkätisesti kierretty jousen näköinen johdin. Normaali muotoisesti säteilevä heliksimantenni saadaan, kun kierroksen pituus on puolet aallonpituudesta. /16, s. 168-169./

3.8 Apertuuri- eli selkeän geometrisen muodon antennit

Suorakulmaisen antennin puolen tehon keilanleveys on noin $0,89 \cdot$ aallonpituus jaettuna antennin sivun pituudella. Suuntaavuus on, kuten aiemmin todettiin neljä kertaa pii jaettuna aallonpituuden neliöllä kertaa pinta-ala. Sivukeila on -13,3 desibeliä ja nollakohta aallonpituus jaettuna sivun pituudella. Suorakulmaisten apertuuriantennin vastaanottama teho samanlaisesta antennista on laskettu annetuilla arvoilla liitteessä 1. /16 s. 172-174./

Toinen tärkeä selkeän apertuurin omaava on heijastinantenni. Yleisin on paraboloidiantenni. Syöttöantenni tavallaan kerää lähetettävät säteet sädekimpuksi, jonka sitten lähettää. Paraboloidiantennit ovat voimakkaasti suuntaavia ja siksi niitä käytetään satelliittiyhteyksissä radioastronomiassa. Fysikaalisesta pinta-alasta noin 60% käytetään tyypillisesti hyödyksi. /16, s. 177-178./

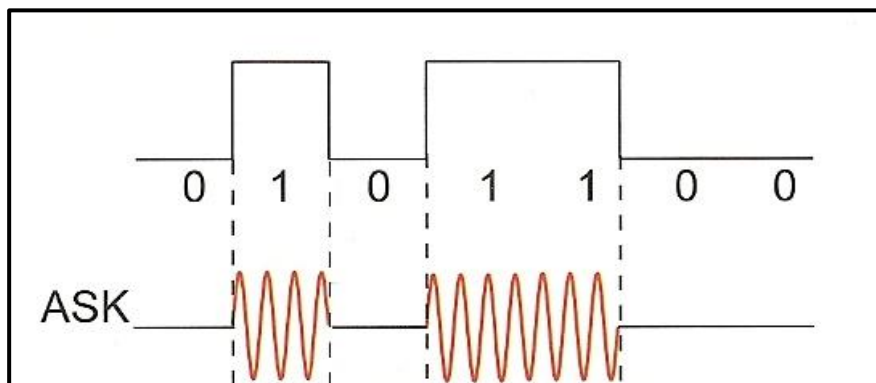
3.9 Radioaaltojen modulointimenetelmiä

Modulointia tarvitaan, jotta radiosignaali saadaan siirretyksi paikasta toiseen radioaallon välityksellä. Toinen oleellinen hyöty moduloinnissa on mahdollisuus signaalin pakkaamiseen, jolloin samalla lähetysteholla siirtyy enemmän informaatiota. Yleisesti ilmaistuna modulaatio on signaalin liittämistä alkuperäistä huomattavasti korkeammalla taajuudella olevaan kantoaaltoon, josta signaali demoduloidaan vastaanottimessa jälleen ymmärrettävään muotoon./11, s. 10./ Seuraavissa kappaleissa esitetään ensin modulointitavat ja sen jälkeen tärkeimmät langattomissa lähiverkoissa käytetyt modulointimenetelmät

Modulointitavat

Sini- ja kosinikäyrät ovat perusta modulaatiomenetelmille. Yksinkertaisin radiosignaalin modulointimenetelmistä on amplitudimodulaatio AM (Amplitude Modulation), siinä puhetaajuudet moduloidaan suoraan kanta-aallolle alkuperäisen lähetteen vaihteluiden kautta. Siirron aikana alkuperäinen voimakkuuden vaihtelu toimii moduloivana menetelmänä. /11, s. 10-11./

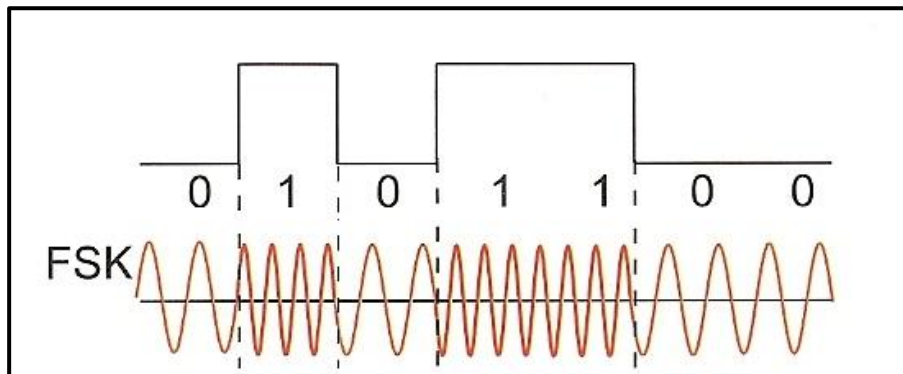
Modulaation voi tehdä myös digitaalisena. Digitaalinen modulaatio on binäärinen ja muodostuu sen takia nolista ja ykkösistä. Helpoin ja yksinkertaisin digitaalinen modulaatio on OOK (On Off Keying), jossa siniaallon kytkeminen käyttöön on binäärinen merkki yksi ja katkaisukohta on nolla, jolloin siniaalto on pois käytöstä. Kyse on silloin digitaalisesta amplitudia vaihtavasta modulaatiosta ASK (Amplitude Shift Keying)./11, s. 22./ Kuvassa 7 nähdään siniaaltojen katkaisukohtat.



KUVA 7. Digitaalinen amplitudimodulaatio ASK /10, s.335/

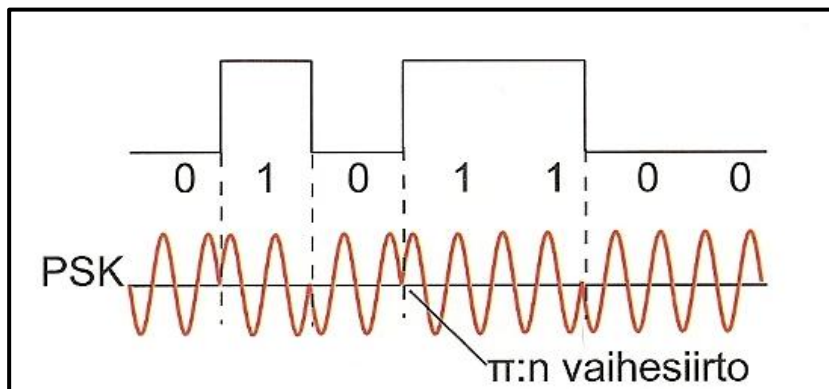
Modulointia kehitettiin edelleen ja keksittiin taajuusmodulaatio FM (Frequency Modulation), jossa taajuutta varioidaan alkuperäisen lähetteen mukaisesti. Amplitudiin ei tässä modulaatiossa tehdä muutoksia, mutta kanta-aallon vaihe tai taajuus sisältää lähetteen informaation./11, s. 11./

Digitaalinen taajuuden muutoksilla ilmaistava yksinkertainen taajuusmodulaatio on FSK (Frequency Shift Keying). Amplitudia ei muuteta, mutta bittivirta koodataan noliksi ja ykkösiksi kahdella toisistaan eriävällä taajuudella sinikäyrän vaihtelujen mukaisesti, kuten on tehty kuvassa 8. /11, s. 22-23./



KUVA 8. Digitaalinen taajuusmodulaatio FSK /10, s.335/

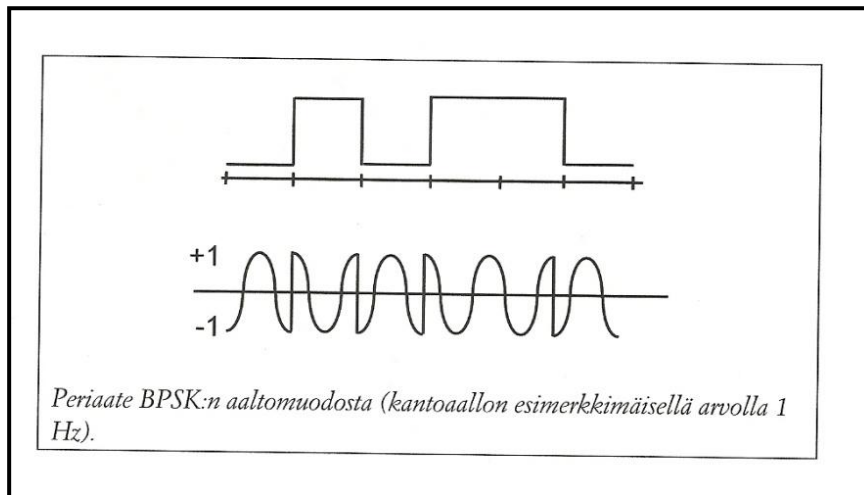
Yksinkertaisin digitaalinen vaihetta vaihtava modulaatio on PSK (Phase Shift Keying). PSK:ssa kunkin sinisignaalin alkukulmasta ykkösen ja nollan esittävät vaiheet voidaan esittää siten, että bittien tilan muutos nolnaan esitetään π :n vaihesiirrolla. Vaihesiirto näkyy kuvassa 9. /11, s. 22-23./



KUVA 9. Digitaalinen vaihetta vaihtava modulaatio PSK /10, s.335/

BPSK ja QPSK

BPSK:ssa (Bibolar Phase Shift Keying) tietobitit esitetään vain yhdessä ulottuvuudessa. Päätoksen tekopisteet ovat origon oikealla ja vasemmalla puolella. Kosinin 180 asteen vaihesiirrolla toteutetaan bittien vaihtuminen. BPSK sopii lähinnä vain satelliittiyhteyksiin sillä sen spektritehokkuus on pieni. Kuva 10 havainnollistaa BPSK:n periaatetta /11, s. 26./



KUVA 10. BPSK: n periaate/11, s. 26/

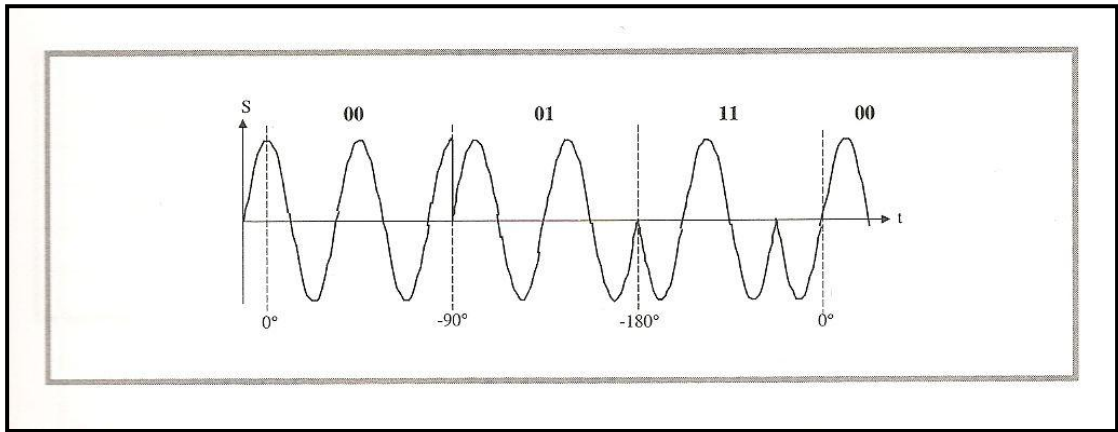
QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) käyttää kosini- ja sinifunktioita ja sen kuvaus vaatii kaksiulotteisen I/Q-koordinaatiston. Jokainen I/Q-piste vaatii kaksi bittiä eli neljä kahden bitin sarjaa 00, 01, 10 ja 11 eli symbolia kohden on koodattu kaksi bittiä. Koska kyse on nelitasoisesta modulaatiosta, QPSK on spektritehokkuudeltaan kaksinkertainen BPSK:n verrattuna. /11, s. 27./

DBPSK

DBPSK (Differential Bipolar Phase Shift Keying) on differentiaalinen binäärinen vaihevaimennus. Tässä siirretään keskisiirtotaajuuden vaihetta niin, että binäärinen ykkönen ja binäärinen nolla voidaan erottaa toisistaan tietovuossa. /4, s. 127./ Käytännössä erottaminen tapahtuu kun ykkösbitin alkaessa kanta-aallon vaihetta käännetään 180 astetta. /13, s. 38./

DQPSK

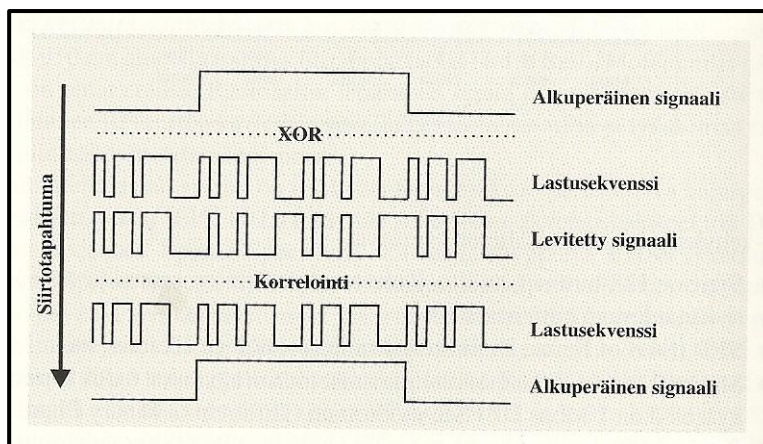
DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) tehostaa modulaatiota vielä DBPSK:n verrattuna. DQPSK-moduloinnissa koodataan yksi merkki eli kaksi peräkkäistä bittiä, jotka saadaan kun kanta-aallon taajuutta vaihdetaan 0, 90, 180 tai 270 astetta. Kuvassa 11 näkyvät muunnokset juuri mainittujen astelukujen kohdalla. /13, s.38-39./



KUVA 11. DQPSK-modulaatio /13, s. 39/

DSSS ja HR/DSSS

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) on hajaspektritekniikka eli radiolähetyksen hajauttaminen kantaallon molemmille puolille, laajemmalle alueelle kuin mitä bittinopeus vaatii, jolloin pistemäisten häiriöiden vaikutukset vähenevät. DSSS käyttää Barker hajautusta, jossa databitit 0 ja 1 lasketaan yhteen nopeamman yksitoistabittisen Barker sekvenssin $\{+1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1\}$ kanssa xor-funktiona kuvassa 12 näkyvällä tavalla, mikä aikaansaa laajaspektrisen alkiovirran. /5, s. 236./



KUVA 12. DSSS-hajaspektritekniikan periaate /5, s. 236/

Alemmalla yhden megabitin sekuntinopeudella DSSS käyttää alikanavillaan DBPSK-modulaatiota ja ylemmällä kahden megabitin sekuntinopeudella DQPSK-modulaatiota. /13, s. 36-37./

HR/DSSS (High Rate / Direct Sequence Spread Spectrum) on suurempinopeuksinen edelliseen verrattuna ja sen selittää erilainen hajautustekniikka eli komplementaari-koodiavainnus CCK (Complementary Code Keying), kuten taulukosta 1 voidaan nähdä. Suurimmalla yhdentoista megabitin sekuntinopeudella CCK-koodauksessa alkiovirrasta erotellaan kahdeksanbittiset lohkot. /13, s. 36-37/

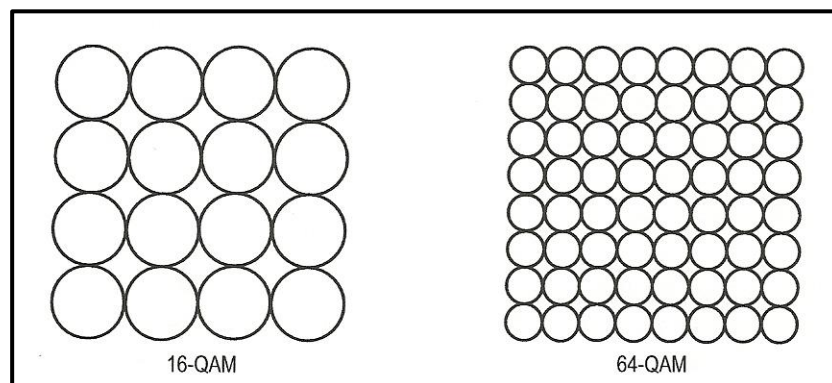
TAULUKKO 1. Hajautustekniikoiden vertailua /13, s. 38/

Standardi	Bittinopeus	Hajotus	Modulaatio
DSSS	1 Mbit/s	Barker	DBPSK
DSSS	2 Mbit/s	Barker	DQPSK
HR/DSSS	5,5 Mbit/s	CCK	DQPSK
HR/DSSS	11 Mbit/s	CCK	DQPSK

Saadusta lohkoista kaksi bittiä koodataan DQPSK-vaihe-erolla ja loput kuusi bittiä kahdeksan bitin koodisanoilla. Näin muodostetuista 256 bittikombinaatiosta valitaan parhaiten korreloivat 64. /13, s. 36-37/

QAM

Kun yhdistetään digitaaliset ASK- ja PSK-modulaatiomenetelmät saamme erittäin käyttökelpoisen uuden modulaation, jonka nimi on QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Numerolla ilmaistu QAM:n etuliite ilmaisee päätöksentekopisteiden määrän. Yleisiä QAM modulaatioita ovat 16, 32 ja 64. Suurinumeroisessa modulaatiossa on paljon päätöksentekopisteitä, joten virheetön toiminta vaatii suuren kentänvoimakkuuden ja häiriöttömän yhteyden./11, s. 24./



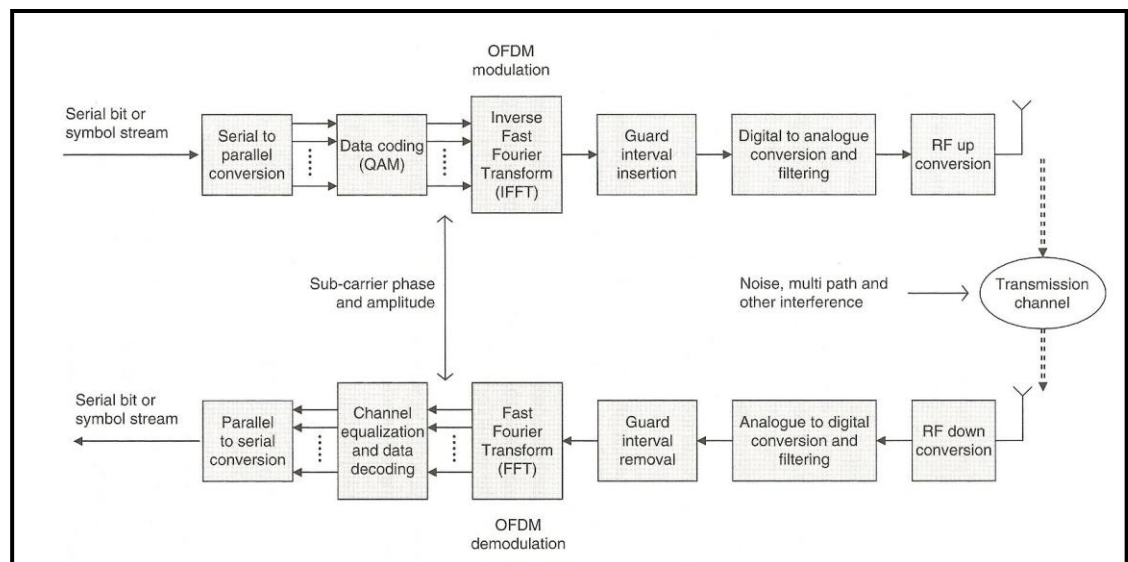
KUVA 13. 16- ja 64-QAM:n neljän muotoiset konstellaatiot /11, s. 25/

Kuvassa 13 nähdään 16- ja 64-bittiset neliön muotoiset konstellaatiot, mutta näille on olemassa myös mm. ympyrän muotoiset variaatiot.

OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) on monikantaaltomodulointi, jossa siirrettävä data jaetaan eri taajuuksilla toimiviin alikanaviin. Alikanavien välissä ei käytetä varokaistaa ja ne lähetetään rinnakkain. Alikanavien spektrit valitaan niin, että kanavan keskitaajuudella muiden kanavien spektri on nolla. Koska kanavat ovat näin toisistaan riippumattomia, niitä kutsutaan ortogonaalisiksi. /13, s. 40./

Kuva 14 havainnollistaa OFDM-modulaatiota, siinä kaikki alkaa koodatuista sarjajamuotoisista bittivirroista, joille tehdään ensimmäiseksi sarjajamuodon muuntaminen rinnakkaiseksi. Tuloksena olevat rinnakkaiset bittivirrat moduloidaan tässä tapauksessa QAM modulaation avulla, mutta esimerkiksi myös PSK:ta voidaan käyttää. Saa- duista moduloiduista signaalien osakanavista lähtien muodostaa signaalien käänteisen nopean Fourier-muunnoksen (Inverse Fast Fourier Transformation) avulla. /13, s. 40./



KUVA 14. OFDM modulaation kaaviokuva /14, s. 93/

Suurin osa OFDM modulaatioista käyttää myös tarkistusväliaikoja jokaisen symbolin välissä, jotta sisäisen symbolin liittymään kuuluva aika pienenesi. Seuraava vaihe on digitaalisen signaalien muuttaminen analogiseksi radiosignaaliksi, joka sitten nostetaan kantaaltotaajuudelle. Vastaanottimessa kantaalto pudotetaan alkuperäiselle taajuu-

delle, muutetaan analogisesta digitaaliseksi, poistetaan valvontaväliajat, tehdään nopea Fourier-muunnos, seuraavaksi tehdään kanavien keskittäminen sekä tiedon purku, muutetaan rinnakkaislähetys sarjamuotoon ja muodostetaan alkuperäinen bittijono. /13, s.40; 14, s. 91-92./

4 LANGATON LÄHIVERKKO

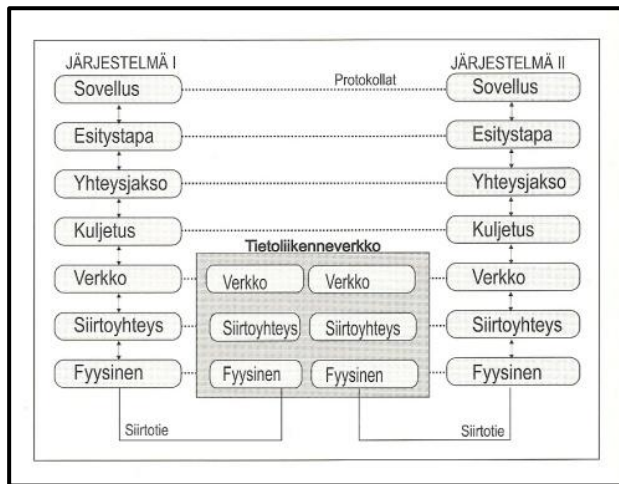
Opinnäytetyön langattomien lähiverkkojen osassa käydään läpi tärkeimmät tällä hetkellä voimassaolevat langattomien lähiverkkojen standardit ensimmäisenä julkaistusta nykyiseen. Standardien jälkeen käsitellään autentikointi- ja salausten menetelmiä sekä muita tietoturvaan liittyviä asioita.

4.1 Standardeja

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) on tekniikan alan ammattilaisten kansainvälinen yhteisö, jonka tavoitteena on syventää tieto- ja sähkötekniikan sekä elektroniikan osaamista. Standardointityöryhmät toimivat IEEE:n alaisuudessa. Standardit ovat suosituksia, jotka eivät sido viranomaisia. Kuitenkin useimmat standardit on otettu käyttöön sellaisenaan heti kun ne on julkaistu. Yksi tällainen työryhmä on langattomien verkkojen standardointiin erikoistunut IEEE 802.11. Langattomien verkkojen standardit saavat alkuosan työryhmän nimestä 802.11 ja tämän jälkeen tulevasta kirjaimesta. /5, s. 9./

802.11-standardi

802.11-standardi julkaistiin 1997. 802.11:n nimellinen nopeus on 1 tai 2 Mbit/s ja se toimii vapaalla 2,4 gigahertsin taajuudella. 802.11-standardin modulointimenetelmät ovat DSSS (suorasekvenssihajaspektri) ja FHSS (taajuushyppelyhajaspektritekniikka). 802.11-standardissa määritellään kuvassa 15 näkyvän OSI-mallin fyysisen kerroksen ja siirtokerroksen alemmat osat. Nämä alemmat osat ovat saaneet nimen MAC (Media Access Control). 802.11:n välitystekniikoiksi määritellään sekä infrapuna että radiotie, mutta tämän standardin mukaisia infrapunalaitteita ei valmisteta. /4, s. 118, 124./



KUVA 15. OSI-malli /18, s. 14/

802.11-standardissa määritellään CSMA/CA-vuoronvaraustekniikka (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance), jota uudemmatkin langattoman lähiverkon standardit käyttävät. CSMA/CA on erilainen kuin Ethernetin törmäykset havaitseva ja kullekin lähettäjälle satunnaisen ajan kuluttua uudelleenlähetykset salliva kilpavarauksjärjestelmä CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection). Erona on, että CSMA/CD-vuoronvaraustekniikassa vältetään törmäyksiä: kantaalta kuunnellaan, kunnes havaitaan kanavan olevan vapaa, vapaille kanavalle lähetetään sitten radiosignaali. /13, s. 29-30./

Ensimmäisessä langattomien verkkojen 802.11-standardissa on määritelty erilaiset topologiat verkolle. Yksi näistä on kahden tai useamman päätelaitteen muodostama keskinäinen vertais- eli Ad Hoc –verkko, joka ei tarvitse tukiasemaa, mutta laitteiden täytyy olla keskenään samassa verkossa. Jos vertaisverkolla ei ole yhteyttä kiinteään verkkoon, sitä kutsutaan nimellä IBSS (Independent Basic Service Set). IBSS-verkko soveltuu tilapäisiin käyttötarkoituksiin kuten vaikkapa kokouksiin. Yleisempi muoto on yhden tai useamman tukiaseman kantavuusalueella olevien päätelaitteiden tukiaseman tai tukiasemien kautta muodostama verkko (Infrastructure). /5, s. 230-231; 4, 117-118./

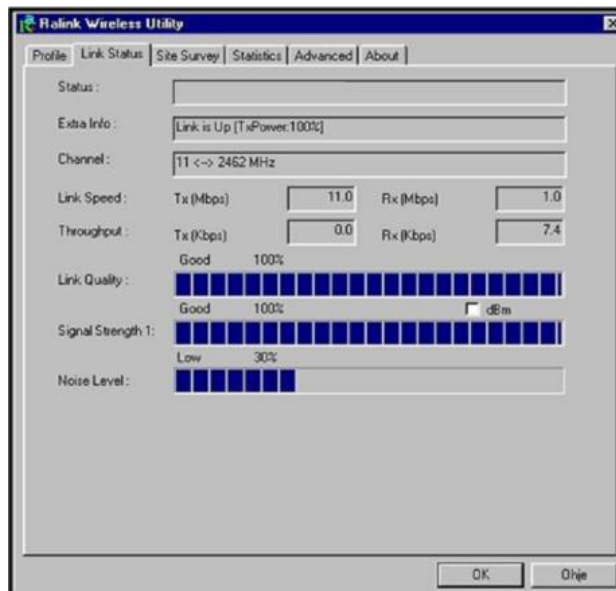
Yhden tukiaseman ja siihen liitettyjen päätelaitteiden muodostamaa verkkoa kutsutaan nimellä BSS (Basic Service Set). Tällaisessa ratkaisussa tukiasemasta on yhteys kiinteään verkkoon. Heikkoutena on riippuvuus tukiasemasta, koska sen rikkoutuessa päätelaitteet menettävät yhteyden toisiinsa ja kiinteään verkkoon. Lisähaittana on kaksinkertaisen kapasiteetin tarve, kun päätelaite lähettää sanoman ensin tukiasemalle, joka

lähettää tämän jälkeen saman toistamiseen vastaanottavalle päätelaitteelle. /5 s. 230-232./

Tukiasemia voi olla useampia, jolloin ne kytketään toisiinsa saman runkoverkon (backbone network) avulla. Tällaista ratkaisua kutsutaan ESS:si (Extended Service Set). ESS:n runkoverkosta käytetään myös nimitystä DS (Distribution System), koska jakelu ulottuu tällaisessa järjestelmässä rakennusten eri osiin ja päätelaitteet voivat siirtyä tukiasemasta toiseen ilman katkoksia. ESS on suosituin tapa tehdä langattomia lähiverkkoja koska näin välttyään kuuluvuusongelmilta ja lisäetuna tulevat mahdolliset langallisen verkon palvelut esimerkiksi autentikointi. /5, s. 232-233./

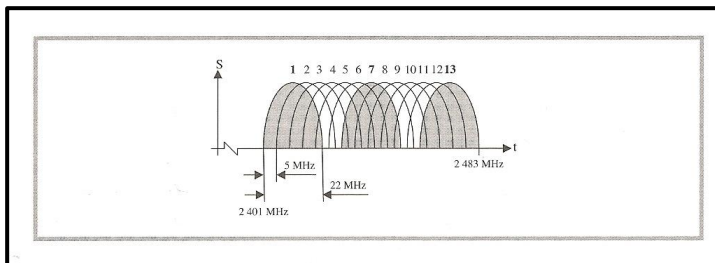
IEEE 802.11b

IEEE 802.11b on standardi, joka toimii langattomasti vapaalla 2,4 gigahertsin taajuudella ja sen nopeus on parhaimmillaan 11 Mbit/s. Tiedonsiirto tapahtuu sarjamuotoisesti 64:n 8-bittisen koodisanan sarjoina. Modulointimenetelmänä on (HR/)DSSS hajapektritekniikka, mutta aiemmasta standardista poiketen suuremmilla nopeuksilla käytetään erilaista hajautustekniikkaa eli komplementaarikoodiavainnusta CCK. 802.11b-standardi julkaistiin vuonna 1999, mutta sen määrittely osoittautui puutteelliseksi, joten laitteissa oli tuolloin yhteensopivuusongelmia. Ongelmien poistamiseksi julkaistiin wi-fi-sertifikaatti, jolloin yhteensopivuusongelmat vähenivät. Langattomat lähiverkot saatiin toimimaan, mutta monissa lähiverkoissa oli useita käyttäjiä ja 11 megabitin tiedonsiirto oli usein riittämätön. Kuvassa 16 verkkoliitännän nopeus on 11 Mbit/s. /4, s. 126-127; 8, s. 84; 13, s. 37-38./



KUVA 16. Nimellinen siirtonopeus 11 Mbit/s

802.11b:n etu ja haitta on sen käyttämä 2,4 gigahertsin taajuus. Etuna on suhteellisen pitkä kantomatka yli 100 metriä ulkona, suurimmalla 100mW:n EIRP- (Equivalent Isotropically Radiated Power) teholla, joka on sallittu Euroopassa ilman käyttö lupaa. /5, s.236./



KUVA 17. 802.11b:n radiokanavat Euroopassa /13, s.39/

Haittana on interferenssi ja vain kolme selkeästi toisistaan erillään olevaa ei-päällekkäistä kanavaa eli Euroopassa 1, 7 ja 13, kuten kaikilla 2,4 gigahertsin taajuutta hyödyntävillä ratkaisuilla. Kuvasta 17 selviää kanavien päällekkäisyys. /13, s.39./

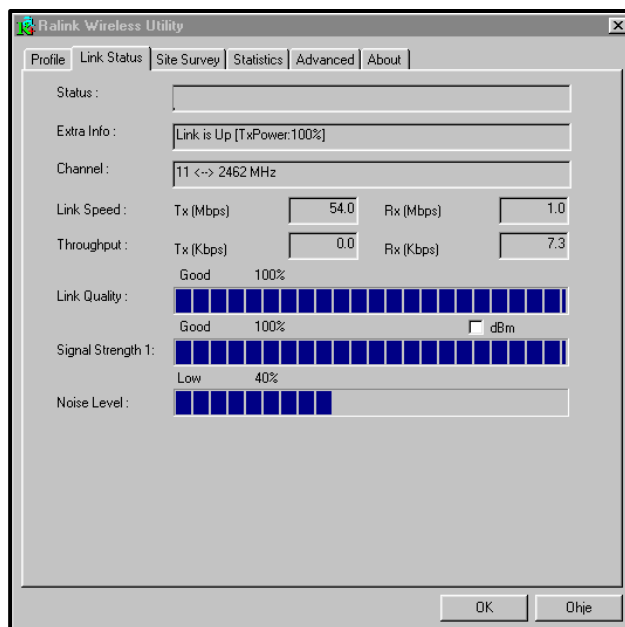
IEEE 802.11a

IEEE 802.11a-standardi julkaistiin myös vuonna 1999, vähän myöhemmin kuin 802.11b. Tämä standardi oli oikeastaan aikaansa edellä, sillä sen nimellinen siirtonopeus on 54 Mbit/s ja siinä käytetään OFDM-modulaatiota. Viiden gigahertsin taajuus tarjoaa runsaasti ei-päällekkäisiä kanavia, mutta heikkoutena oli 802.11b:tä lyhyempi

kantama ja taajuuteen liittyvät kansalliset lakisääteiset rajoitukset varsinkin Euroopassa sekä piirien kehittämiseen liittyvät ongelmat, joten laitteita oli saatavilla vasta vuoden 2001 lopulla. 802.11a ei ollut yhteensopiva edellisen eikä seuraavan standardin kanssa, mutta myöhemmin julkaistu 802.11n toimii 2,4 gigahertsin lisäksi optiona myös samalla taajuudella, jolle sallitaan 200mW:n EIRP-teho, joten monet laitevalmistajat tekevät tätäkin 802.11a-standardia tukevia taaksepäin yhteensopivia laitteita. /4, s.124-125./

IEEE 802.11g

IEEE 802.11g on vuonna 2003 julkaistu 802.11b-standardin laajennus, joka toimii vapaalla 2,4 gigahertsin taajuudella, mutta sen nimellinen tiedonsiirtonopeus on parhaimmillaan 54 Mbit/s. Tiedonsiirtonopeutta on pystytty kasvattamaan 802.11b:hen verrattuna käyttämällä OFDM-modulointimenetelmää eli jakamalla signaali pienempiin alaisignaaleihin, jotka siirretään yhtäjaksoisesti eri taajuuksilla. 802.11g-standardi on täysin yhteensopiva 802.11b-standardin kanssa, koska käyttää komplementaari-koodimodulaatiota CCK joten toimii myös 11 Mbit/s nopeudella. /4, s.127; 13, 45./



KUVA 18. Nimellinen siirtonopeus 54 Mbit/s

Tiedonsiirtoetäisyys ylittää ulkona hyvissä olosuhteissa 100 metriä, joten standardi oli hyvin suosittu. Euroopassa 802.11g poikkeaa 802.11a:sta lähinnä vain taajuusalueella. Kuvassa 18 verkkoliitännän nopeus on 54 Mbit/s. /4, s.127; 13, 45./

IEEE 802.11n

IEEE julkaisi 802.11n-standardin 11. syyskuuta 2009. Standardi toimii sekä vapaalla 2,4 gigahertsin että 5 gigahertsin taajuuksilla. 802.11n-standardissa määritellään toimenpiteet, joilla nimellinen tiedonsiirtonopeus saadaan nostetuksi entisestä 54:tä megabitistä sekunnissa jopa 600 megabittiin sekunnissa, mutta todellinen käytännön nopeus on tällöin noin 200 megabitin sekuntinopeus. Parannuksia on tehty sekä fyysiseen että MAC-kerrokseen, kuitenkin niin että nykyinen standardi on taaksepäin yhteensopiva aiempien standardien kanssa. /14, s.165; 17, s.247./

Merkittävä muutos on MAC-kerroksen kehysten yhdistäminen. Yhden kanavan yhteydellä voidaan lähettää useita hyötykuormapaketteja yhden MAC-kehysten aikana. Kuormitustilanteessa tehokkuus lisääntyy kun kanavia käytetään vain kerran kehysnippua kohti. Häiriömahdollisuudet tietenkin lisääntyvät, kun MAC-kerroksen varaus kestää kauemmin. / 6, 306; 14, s. 165; 17, s.12 ./

Standardissa määritellään kaksi toisistaan poikkeavaa käytäntöä, joilla kehysten yhdistäminen voidaan tehdä. Ensimmäinen näistä tekniikoista on A-MSDU (Aggregate MAC Service Data Unit), jossa kehysten yhdistäminen lisään MAC-kerroksen yläalueelle eli yhdistetään MAC-SDU: t toisin kuin aiemmassa 802.11 kehystekniikassa. A-MSDU:n tietonipun koko on kahdeksan kilotavua. /17, s. 70, 96./

Toinen tekniikka on A-MPDU (Aggregate MAC Protocol Data Unit), joka käyttää kehysten yhdistämiseen MAC-kerroksen alaosa. A-MPDU-tekniikassa jokaisella yhdistettävällä hyötykuormapaketilla on oma MAC-otsikkonsa. Koska otsikko tarvitaan, vain samaan päämäärään menevät paketit voi yhdistää. Häiriöiden todennäköisyys tietenkin kasvaa, mutta toisaalta virhetarkistus onnistuu jokaiselle paketille myös kuormitustilanteessa. A-MPDU tehostaa tiedonsiirtoa käsittelemällä ack tunnukset nippuina. Kehysnippujen koko on A-MPDU-tekniikassa 64 kilotavua. /17, s. 70 ja 96./

Fyysiseen kerrokseen on lisätty ominaisuuksia. Merkittävä parannus on lisätä kaistanleveyttä yhdistämällä kaksi 20 MHz: n kaistaa joko 2,4 GHz: n tai 5GHz: n taajuusalueella. Laajennus lisää kapasiteettia, koska OFDM:n tietosignaalit voidaan kaksinkertaistaa. Yhteensopivuus taaksepäin varmistetaan 802.11a/g:n kanssa, kun OFDM:ää käytetään joko ylemmällä tai alemmalla 20 MHz:n tai 40 MHz:n kanavalla.

OFDM:n alikantaaaltojen määrää on myös lisätty 52:ta 56:een, joten parhaimmilla tasoillaan neljä tilavirtaa toimimassa yli 40 MHz: n kaistanleveydellä tarjoavat 112 OFDM-datasignaalia. Vähäisemmällä tilavirroilla tietomäärät ovat suhteessa virtojen määrään. /6, 305; 14, 166; 17, s. 4 ja 265./

Nopeutta on edelleen lisätty muuttamalla aiempi neljän mikrosekunnin virheen tarkistuksen aikajakso 3,6 mikrosekuntiin. Tämä on onnistunut puolittamalla sisäisen symbolin aikaväli 800 nanosekunnista 400 nanosekuntiin. Muutos on edellyttänyt ominaisuuden konvoluutiokoodauksen tehostamista. /14, 166; 17, s. 266 ja 288 ./

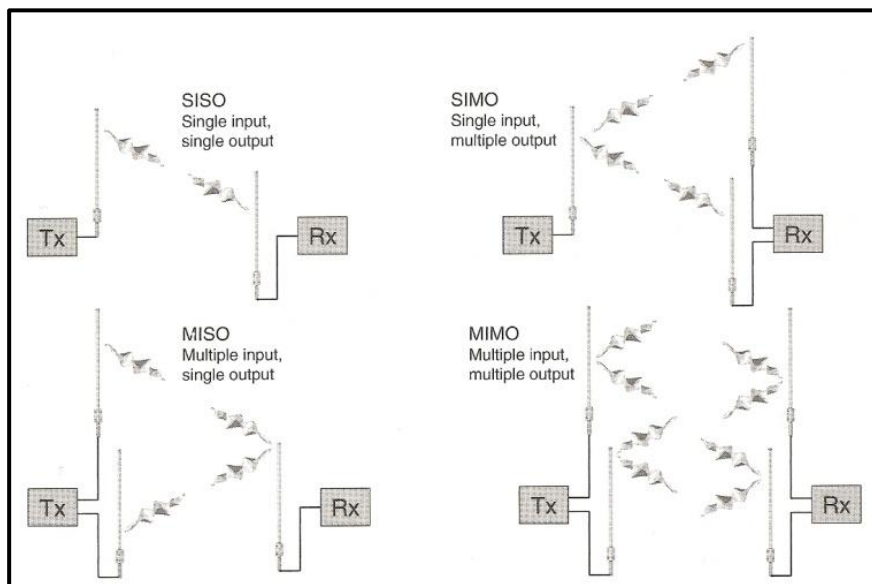
MAC-otsikko on pidennetty kuudella tavulla entiseen 802.11 kenttään verrattuna, sillä siihen on lisätty kahden tavun QoS (Quality of Service) palvelunlaatukontrollikenttä ja neljän tavun korkean kauttakulun kontrollikenttä (HT Control). HT-kontrollikentän avulla kuljetaan informaatiota antennien valinnasta, yhteyden mukautumisesta ja kalibroinnista muuhun informaatioon. /17, s. 18-19./

Siirtotien kapasiteetin tehostamiseksi 802.11n standardi sisältää MIMO (Multiple Output Multiple Input) radiotekniikan. Radiosignaali monitie etenee lähettimen ja vastaanottimen välillä, mikä johtaa usein signaalin voimakkuuden heikkenemiseen ja häipymiseen. Monen radion vastaanotto ja monen radion lähetystekniikka MIMO käyttää hyödyksi tätä radioaallon ominaisuutta lähettämällä monia tietovirtoja useilla lähettimillä vastaanottoteille, jolloin tarkoituksena on saavuttaa suurempi tiedonsiirtokapasiteetti. Matemaattinen mallin mukaan nämä etenemistiet käyttävät kanavan kalibroinnin vaihetta jokaisen tietopaketin lähetysaikana, mikä sallii erilaisten signaalipolkujen ja tietovirtojen tunnistamisen ja oikealla tavalla uudelleen yhdistämisen vastaanottimessa. Tämä tekniikka eli tila-jako-limitys on samanlainen FDM:n (Frequency Division Multiplexing) kanssa taajuusalueella mutta tietoa siirtävien rinnakkaisten taajuuksien sijaan tässä erilaiset tilan etenemistiet kuljettavat tietoa rinnakkaisesti. /14, s. 124./

MIMO:ssa sama kaistanleveys käytetään tehokkaasti luomaan yhtäaikaaisesti useita tietoliikenneteitä. Jos nämä tiet ovat yhtä vahvoja ja selvästi eroteltavissa, kokonaiskapasiteetti tietoliikennekanavalla kasvaa lineaarisesti käytettyjen polkujen lukumäärän mukaan. Systemissä, jossa on M kappaletta lähettämiä ja N kappaletta vastaanottimia yksittäisten polkujen lukumäärä on pienimmillään M ja N . Kaikki polut eivät

käytännössä ole yhtä hyviä tai kunnolla erillään ja tehokkuus määräytyy kertoimista, jotka tunnetaan yksittäisinä arvoina ja joiden ominaisuudet jokaisella polulla määräytyvät lähettävän sekä vastaanottavan antennin välisessä yhteydessä. /14, 124-126./

Yksittäiset arvot määräytyvät sisältäen lyhyen ”harjoittelujakson” osoitekentässä jokaiselle lähetetylle tietopakettille ja erilaisista signaaleista, jotka on lähetetty jokaisesta antennista. Nämä signaalit tarjoavat tiedon siirtokanavasta ja tämän informaation avulla vastaanotin voi laskea yksittäiset arvot tiedoston purkamiseen erotellessaan tietopaketteja toisistaan. MIMO-Radion tarjoama parempi kapasiteetti voidaan käyttää suuremman tiedonsiirtomäärän saavuttamiseen linkissä. IEEE 802.11n-standardi käyttää MIMO:a lisätäkseen Fyysisen kerroksen tietokapasiteettia 802.11a/g radion 54 megabitin sekuntinopeudesta 200 megabitin sekuntinopeuteen, jolloin tämän ja muiden tehostustoimien myötä nimelliskapasiteettia kasvatetaan 600 megabittiin sekunnissa. /14, 124-126./



KUVA 19. Antennien vaikutus lähetysignaaleihin /14, s. 125/

Tukiasemassa antennia voi olla yhdestä neljään kappaletta. Täysi 600 megabitin nimellisoikeus on saavutettavissa vain neljällä antennilla, 300 megabittiä kahdella antennilla ja 150 megabittiä sekunnissa yhdellä antennilla. Kuvassa 19 havainnollistetaan antennien käyttöä. /15, s. 42; 14, 124-125./

Kuvan 20 IEEE802.11n-standardin mukainen yhteys on saatu kahdella lähetysantennilla ja yhdellä langattomalla verkkokortilla. Taajuuskaista on vain 20 Hz, mutta kuten

huomaamme tehokkuus on silti lähes kolminkertainen aiempiin tekniikoihin verrattuna.



KUVA 20. Nimellinen tiedonsiirtonopeus 144,4 MBit/s (20 Hz:n taajuuskaista)

4.2 Langattoman verkon tietoturva

Langattomalla verkolla on käytetystä tekniikasta johtuen enemmän tietoturvauhkia, kuin langallisella verkolla. Uhkia ovat luvaton pääsy, passiivinen verkon tarkkailu ja palvelunesto DoS (Denial-of-Service). Näiden uhkien välttämiseksi on olemassa joi-takin seuraavissa kappaleissa kerrottuja salaus- ja verkonurvaamiskeinoja.

SSID

SSID (Service Set Identifier) on langattoman lähiverkon tunniste eli verkon nimi. Tu-kiasemassa on tehtaalla asetettu tunniste oletusarvona. Tehtaan oletusarvona oleva verkkonimi kannattaa vaihtaa, koska muutoin ulkopuolisen on helppo saada selville tukiaseman tekniset ominaisuudet mm. oletussalasana valmistajan manuaaleista. /4, s. 107./

SSID-lähetysten voi estää, jolloin 802.11:n beacon-kehysiä etsivät käyttöjärjestelmi-en langattomien verkkojen työkalut eivät suoraan näytä verkkonimeä vaihtoehtoisten tietoverkkojen joukossa. SSID:n lähetys kannattaa estää vasta sitten kun verkkoase-

tukset on muutoin tehty. Verkkonimen piilottaminen ei riitä tietoturvaratkaisuksi, koska 802.11:n assosioitumista voidaan tarkkailla, jolloin SSID voi selvitä ulkopuoliselle. /4, s. 197./

Mikäli käytettävissä on Ethernet-verkko, voidaan sen virtuaalisia VLAN- (Virtual Local Area Network) ominaisuuksia käyttää moni-SSID langattoman verkon pareina. Kullekin SSID:lle määritellään VLAN pari, jolloin RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) palvelin huolehtii autentikoinneista ja käyttäjä ohjataan omaan VLAN-verkkoonsa kirjautuessaan mihin tahansa SSID:hen. Tällä tavoin käytettynä SSID lisää tietoturvaa, mutta haittapuolena on langallisen lähiverkon vaatimus. /18, s.18./

WWW-autentikointi

Avoimessa langattomassa verkossa, jossa käyttäjiä ei tunnisteta eikä liikenne ole tyyppillisesti salattua, voidaan käyttää tietoturvan lisäämiseksi www-autentikointia. WWW-autentikointi vaatii päätelaitteelta SSL (Secure Sockets Layer) -suojausta tukevan Internet-selaimen, joten kyseessä on halpa, yksinkertainen ja helppo ratkaisu. Lähes kaikki langattomat päätelaitteet tukevat ratkaisua. Tukiasemat eivät myöskään vaadi mitään lisäominaisuuksia www-autentikointiin. /18, s. 16. /

WWW-autentikointi onnistuu uudelleenohjaustekniikalla, jonka nimi on Captive Portal. Uudelleenohjaustekniikka estää aluksi kaiken verkkoliikenteen ja portit. Kun käyttäjä avaa verkkoselaimensa Captive Portal vaatii kirjautumissivullaan käyttäjätunnuksen ja salasanan. Käyttäjä ei pääse suoraan verkkoon edelleenkään, vaan Captive Portal lähettää autentikointipyynnön erilliselle RADIUS palvelimelle. Jos käyttäjä löydetään erillisen palvelimen tietokannasta, hänen IP- ja MAC-osoitteensa lisätään palomuriin sallittujen listalle, jonka jälkeen verkon käyttö onnistuu. /18, s.16./

Varsinkin Linux-käyttöjärjestelmälle on saatavissa runsaasti ilmaisia Captive Portal ohjelmistoja. Automaattinen salausavaintenhallinta ei ole mahdollinen, jos Captive portalia käytetään langattomassa verkossa. Captive Portal soveltuu siis yleensä lähinnä salaamattomiin langattomiin verkkoihin, jolloin kirjautumissivulla tarvitaan SSL-salausta. SSL-sertifikaatti on asennettava www-palvelimelle, jotta salaus onnistuu.

WWW-autentikointi langattomissa verkoissa estää vain luvattomat käyttäjät, joten se soveltuu verkkoon jossa ei tarjota juuri muuta kuin Internet-yhteys. /18, s. 16-17, 45./

WEP

WEP (Wireless Equivalent Privacy) on symmetrinen 802.11:n salausmenetelmä, joten siinä käytetään samaa salausavainta sekä salaukseen että purkuun ja tämä avain pitää asentaa jokaiseen radioverkkorttiin ja tukiasemaan etukäteen käsin. WEP:ssä aseman valmistajan jaettuun salausavaimen linkitetään satunnaisesti luotu 24 bittinen alustusvektori. Näin avaimen elinaika pitenee ja asema voi muuttaa sitä kehys kehykseltä. WEP käyttää vielä satunnaisgeneraattoria, jotta saadusta juuresta saadaan 32 bittinen eli eheystarkisteen pituinen avainmerkkijono. Eheystarkisteen avulla vastaanottava asema tietää onko lähetystä muutettu. /4, s. 178-181; 6, s. 318-319./

WEP: n heikkous on sen 24 bittisyys, koska näin lyhyttä alustusvektoria käyttäessään WEP joutuu käyttämään samat alustusvektorit uudelleen eri datapaketeille. Runsaasti dataa siirtävässä verkossa käytetyt vektorit toistuvat tiheämmin. Riittävästi liikennettä seurattuaan ja dataa kerättyään luvaton käyttäjä saa samaan alustusvektoriin perustuvien kehysten avulla selville salasanan. WEP on kuitenkin turvallisempi, kuin ilman salausta toimiva verkko, sillä tällöin murtautujan on käytettävä aikaa ja nähtävä vaivaa pystyäkseen murtautumaan langattomaan verkkoon. WEP ei riitä esimerkiksi yritysverkon salaamiseen, mutta monelle kotikäyttäjälle se antaa kohtuullisen suojauksen, jota voi hieman parantaa vaihtamalla salausavainta aika ajoin. Suositeltavampaa on käyttää aina jotain parempaa salausmenetelmää kuin WEP: iä, jos laitteisto niitä tukee. /4, s.182-183; 6, s. 320./

WPA

WPA (Wi-Fi Protected Access) on oikeastaan otos IEEE 802.11i tietoturvastandardin draft-versiosta. WPA sisältää turvallisuutta lisäävän päivityksen, jonka nimi on TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). TKIP tarjoaa 128 bittisen väliaikaisen avaimen asiakkaille ja tukiasemille. Asiakkaan MAC-osoite yhdistetään väliaikaiseen avaimen ja tämän jälkeen lisätään vielä 16 oktetin alustusvektori. Näin saadulla 10 000 paketin välein vaihtuvalla avaimella saadaan data salatuksi. /4, s. 183-184./

WPA:ssa on TKIP:n lisäksi 802.1x (autentikointi) mekanismit. Kun edellä mainitut kaksi ominaisuutta yhdistetään, saadaan kaksisuuntainen todennus ja dynaaminen avaimen salaus. Käytännössä WPA todentaa asiakkaan käyttämällä 802.1x yhdistelmää, jolloin tukiasema alkaa vastaanottaa kehyksiä ja samalla tarkistaa todennuspalvelimelta onko asiakkaan yhteys sallittu. WPA toimii myös ilman todennuspalvelinta jos jaettu avain on annettu etukäteen. /4, s. 131./

WPA2

WPA2 (Wi-Fi Protected Access2) on tietoturvastandardi IEEE 802.11i, joka julkaistiin kesäkuussa 2004 ratifioutuna. WPA2 sisältää 802.1x autentikointimekanismit eli todentaa asiakkaan kuten WPA. Salausmenetelmänä on edellisestä poiketen AES (Advanced Encryption Standard), joka tarjoaa erittäin hyvän tietoturvan, mutta haittapuolena on sen vaatima prosessoriteho. Lisäominaisuutena tulevat myös eripituiset 128, 192 tai 256: n bitin pituiset avaimet. /4, s. 131, 183-184. ; 14, s. 225.; 18, s.17./

802.1x jakautuu vielä kahteen erilaiseen osaan. Ensimmäinen on PEAP autentikoitu langaton verkko, jossa ei tarvitse huolehtia sertifikaattien vaihtumisesta. PEAP sopii sellaisiin verkkoihin, joissa käyttäjät vaihtuvat usein. Toinen on EAP-TLS jossa tietoturva on WPA2:a käytettäessä parhaimmillaan. EAP-TLS vaatii sertifikaattien jakelun, hallinnan ja turhien sertifikaattien poistamisen. Kumpaakin 802.1x:ä voi käyttää sekä WPA:ssa että WPA2:ssa. /18, s.17./

Muita tietoturvaan liittyviä asioita

Tukiasemat tulisi sijoittaa niin, että ulkopuolisen on vaikea päästä käsiksi niihin fyysisesti. Jos tukiasema on ilman minkäänlaista suojausta, sen reset-näppäimen tai konsoli tai lähiverkkoporttien kautta on helppo vaihtaa asetukset. On myös mahdollista vaihtaa koko asema toiseen, jolloin ulkopuolinen saattaa päästä verkkoon. Tukiasemien laiteohjelmistot täytyy myös pitää ajan tasalla, jotta myös uusimmat tietoturvapäivitykset ovat näiltä osin kunnossa. /4, s.193./

Jos verkossa sekä langallisia että langattomia verkkolaitteita näiden välissä olisi hyvä käyttää erillistä palomuuria. Riskien vähentämiseksi asiakkaiden tulisi käyttää verkos-

sa VPN (Virtual Private Network)-yhteyksiä. VPN-yhteyksien käyttöä rajoittaa kuitenkin niiden hankala hallittavuus ja hidas suorituskyky. /4, s. 195./

Radioaallot leviävät ympäristöön ja näin niihin päästään käsiksi kaikkialla verkon kuuluvuusalueella. Antennien suuntauksella voidaan verkkoa osittain kohdistaa vain halutulle alueelle. Tukiaseman lähetystehoja tai antennien tehovahvistusta voi säätää niin, että kuuluvuutta on lähinnä vain halutulla alueella. Joskus ulkopuolelle heijastuvat signaalit on pakko hyväksyä maasto-olosuhteiden takia. /4, 197-198./

4.3 Langattoman verkon osat

Langaton verkko muodostuu lähettävistä ja vastaanottavista osista. Radioverkkokortit vaativat usein tukiaseman. Kun langatonta verkkoa laajennetaan, tarvitaan siltoja toistimia ja antennia. Seuraavissa kappaleissa on yhteenveto langattoman verkon osista.

Radioverkkokortit

Kuten aiemmin mainitsin, langaton lähiverkko voidaan tehdä pienimmillään kahden radioverkkokortilla varustetun päätelaitteen välille. Radioverkkokortteja on olemassa eri standardeille ja erilaisia. Fyysisesti keskusyksikön sisälle asennettavat radiokortit ovat PCI (Peripheral Component Interconnect) –väyläisiä tai kannettavan sisällä olevia radiopiirikortteja. Ulkoiset radioverkkokortit ovat joko kannettavien PC-korttipaikkaan asennettavia tai USB (Universal Serial Bus) väyläisiä.

Tukiasemat, reitittimet ja sillat

Kunnolla toteutettu langaton lähiverkko muodostetaan vähintään yhden tukiaseman ympärille eli muodostetaan ainakin BSS (Basic Service Set). Tukiasemat pystyvät oman tarkoituksensa lisäksi toimimaan myös reitittiminä, kytkiminä, toistimina ja siltoina. Tukiasemassa on langallisen lähiverkon pistukat, joten se voi toimia siltana perinteisen lähiverkon ja langattoman verkon välillä. Usein tukiaseman virransyöttö PoE (Power over Ethernet) voidaan järjestää pistukan kautta eli verkkojohdon avulla kun laitteen mukana tulee tarvittava muuntaja. Myös laitteiden konfigurointi tapahtuu lähiverkkokaapelin kautta tai langattomasti, ellei laitteessa ole erillistä konsoliporttia. /4, 106-107, 3, s.20./

Kirjoitushetkellä uusimmat tukiasemat voivat toimia siltana myös 3G-verkon ja langattoman tai langallisen lähiverkon välillä, tämä tapahtuu usein käytännössä USB-väylään asennettavan 3G-modeemin avulla. Tukiasemat toimivat myös lähiverkon kytkiminä rajoitetuin ominaisuuksin. Verkkojen reititys voidaan myös tehdä tukiaseman avulla. Tukiasema voi toimia myös siltaavana eli laajentaa lähiverkon kantavuus- aluetta omalta osaltaan. Monet tukiasemat pystyvät kaikkiin edellä mainittuihin ominaisuuksiin samanaikaisesti. Pelkästään siltaavia laitteita on myös ja usein soveltuvina myös ulkokäyttöön. /3, s.19./

Jotkin uudet tukiasemat voidaan konfiguroida verkostoksi, eli Mesh-järjestelmäksi, jossa kaikki laitteet ovat yhdenveroisia. Kaikki ovat siis samalla tavalla reitittäviä ja muodostavat langattomaan verkkoon solmukohtia, eivätkä ne tarvitse keskitettyä kontrollointia. Yhden laitteen vioittuminen tai vaihtoehtoisesti lisääminen ei vaikuta verkon toimintaan, koska tiedonsiirto tapahtuu hyppäyksittäin, joten jonkin reitin sulkeutuessa tai kapasiteetin loppuessa voidaan käyttää vaihtoehtoista reittiä. Toisin sanoen Mesh-verkko toimii Internetin alkuperäisajatuksen mukaisesti. Mesh-asemien muodostaman verkon nimi on MBSS (Mesh Basic Service Set). Yksi asema voidaan myös Mesh verkossa asettaa reitittämään muut esimerkiksi WAN (Wide Area Network) – verkkoon. Mesh-verkon haasteita ovat langattomien linkkien luotettavuus päätelaitteiden saumaton siirtyminen tukiasemasta toiseen ja turvallisuus, kun verkolla ei ole pysyvää rakennetta. /14, s. 43-44./ Mesh-verkko sisältää myös langallisia yhteyksiä, joten se eroaa tässä suhteessa WDS- (Wireless Distribution System) verkosta, jossa langattomat tukiasemat muodostavat koko lähiverkon. Kumpaakaan järjestelmää ei ole vielä kirjoitushetkellä standardoitu.

Toistimet

Toistimet osaavat vain välittää signaalin semmoisenaan eteenpäin. Toistimia voidaan käyttää sellaisilla alueilla jossa radiosignaaliille tarvitaan vahvistusta ja lisää kantamaa. Koska toistimet vastaanottavat ja lähettävät kehyksiä, ne pienentävät omalta osaltaan myös verkon suorituskykyä. /4, s. 109./

Antennit

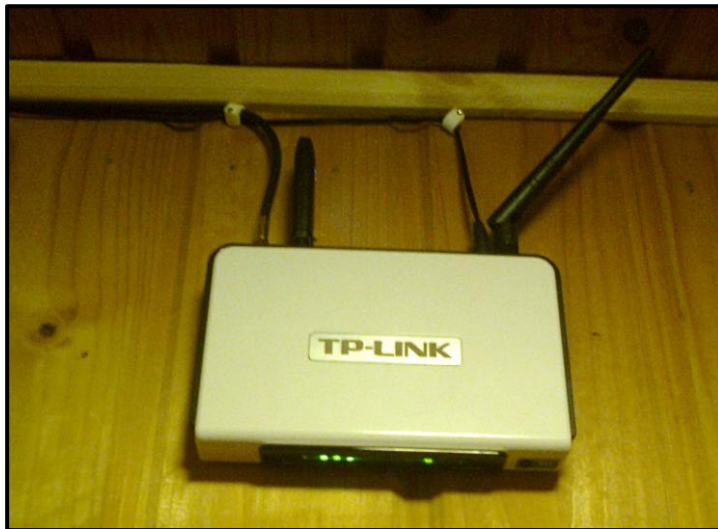
Tukiasema ja radioverkkokortti vaativat aina jonkinlaisen lähetys ja vastaanottoantennin, joka voi olla laitteen sisäänrakennettu tai ulkoinen ja vakiona usein ympärisäteilevä. Antenni on välttämätön signaalien välittämisessä. Antennit voivat olla ulkoisia ja tällöin myös vaihdettavissa. Jos antenni vaihdetaan, lähetysteho ei silti saa ylittää määräyksiä, ellei ole saanut lupaa viestintävirastolta. Kun lasketaan suurinta sallittua lähetystehoa, otetaan huomioon tukiaseman teho, antennin vahvistus ja antennikaapelin vaimennus. /13, s. 55; 4, s. 110./ Liitteessä 2. on laskettu suurin sallittu EIRP-teho langattomaan lähiverkkoon asennettavalle tukiasemalle.

5 LANGATTOMAN LÄHIVERKON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Opinnäytetyön käytännön osuutena oli suunnitella ja toteuttaa langattomana lähiverkko Internet-yhteysmahdollisuus neljään Raudanniemen vuokrattavaan loma-asuntoon siten, että verkkoa voidaan tarvittaessa laajentaa myöhemmin myös muihin samalla alueella sijaitseviin yrityksen vuokrattaviin loma-asuntoihin, joita on yhteensä seitsemän. Raudanniemessä on tällä hetkellä vain kaksi kohtuuhintaista Internet-yhteysvaihtoehtoa. @450-yhteys on edelleen mahdollinen, mutta tätä edullisempi vaihtoehto on 3G-yhteys.

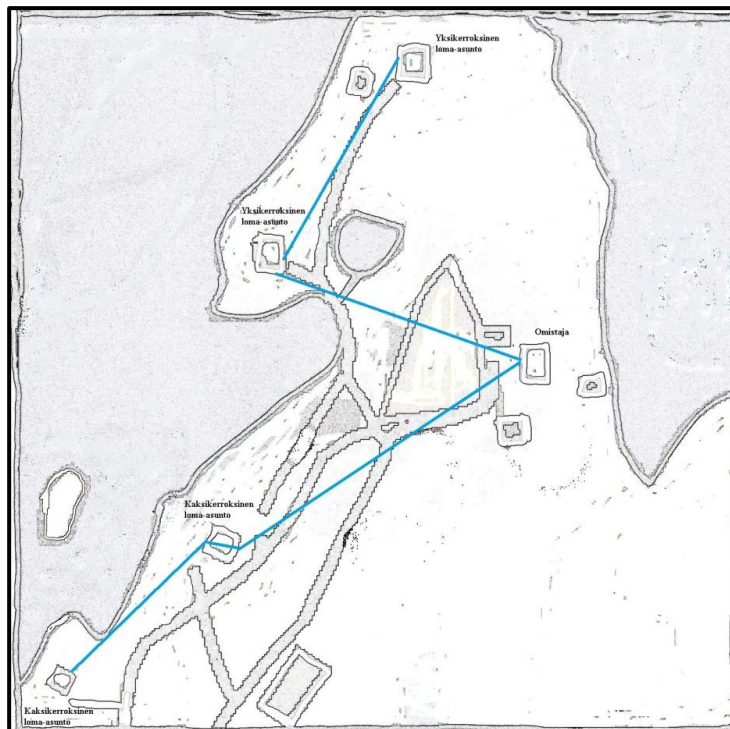
5.1 Verkon rakentaminen yrityksen toiveiden mukaisesti

Internet-yhteyden toteuttamistavaksi valittiin yksi kuvassa 21 näkyvä 3G-modeemilla varustettu langaton tukiasema, joka tuli yrittäjien omaan asuntoon ja valvontaan. Kyseinen asema jakaa automaattisesti myös verkon asetukset eli toimii DHCP- (Dynamic Host Configuration Protocol) palvelimena.



Kuva 21. 3G-tukiasema

Internet-yhteys jaettiin neljän loma-asunnon kesken kuvassa 22 näkyvällä tavalla. Valituista loma-asunnoista kaksi sijaitsee suoran näköyhteyden päässä omistajien asunnosta. Langaton verkko ulottuu nyt kahteen kaksikerroksiseen ja kahteen yksikerroksiseen loma-asuntoon. Toiseen yksikerroksiseen loma-asuntoon on hyvä näköyhteys yrittäjien asunnolta. Mainitusta loma-asunnosta on myös yhteysmahdollisuus järven kautta yrityksen kauempana sijaitseviin loma-asuntoihin, jos verkkoa halutaan laajentaa.



Kuva 22. Piirros pohjakuva alueesta, verkon pääsuunnat merkitty sinisellä

5.2 Tilanearvio ja hankinnat

Aloitettiin perehtymällä alueeseen sekä fyysisesti että Kansalaisen karttapaikassa sijaitsevan Maanmittauslaitoksen karttapalvelun avulla. Loma-asuntojen väliset suorat etäisyydet sekä radioaaltoja selkeimmin häiritsevät tekijät selvisivät, joten seuraavaksi oli päätettävä hankinnoista.

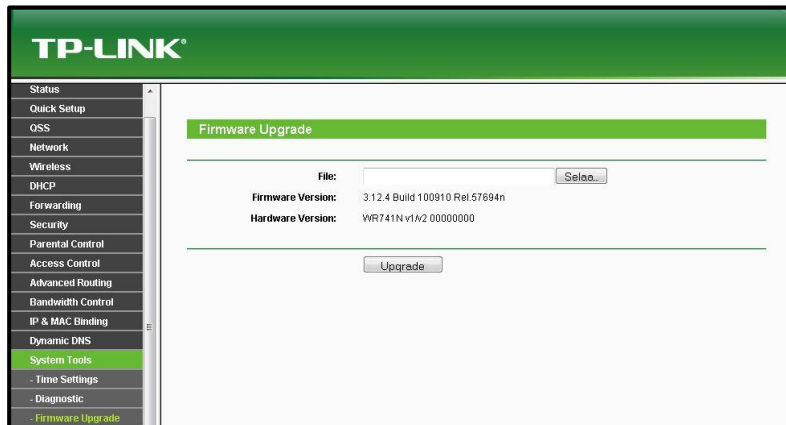


KUVA 23. Suuntaava antenni

Päädettiin hankkimaan tukiasemat, suuntaavat antennit ja antennien kaapeleita Concept10 nimisestä paikallisesta yrityksestä, joka pystyi toimittamaan lähes kaikki tarvittavat komponentit keskitetysti. Osan kaapeleista teetettiin RF Com nimisen yrityksen yrittäjältä tilaustyönä. Kuvassa 23 on yksi suuntaavista antennista asennettuna.

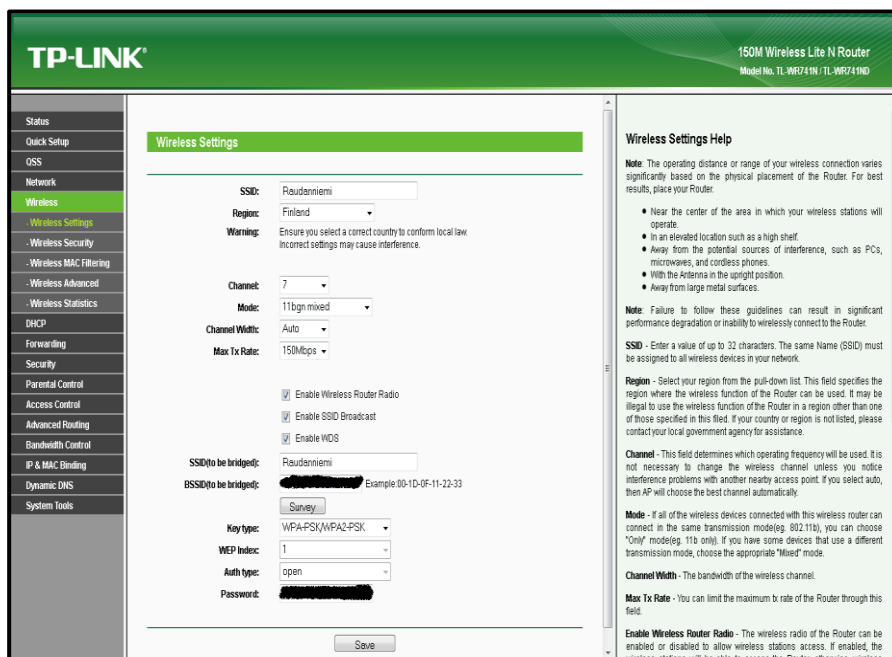
5.3 Laitteiden asetukset

Kun tilaus saapui perille, avattiin pakkaukset, yhdistettiin Ethernet-kaapelilla tietokoneen ja kunkin tukiaseman kerallaan sekä menttiin Internet-selaimella asetustiedostoihin laitteen pohjassa olevien oletusarvojen mukaisesti. Laitteet olivat päivitettävissä, joten ladattiin toisen selaimen avulla päivitystiedostot jokaiseen tukiasematyyppiin, ja päivitettiin ne kuvan 24 mukaisessa valikossa. Kuvassa näkyvän ”Selaa”-painikkeen avulla etsitään valmistajan sivulta ladattu, tietokoneelle tallennettu tiedosto, joka siirtyy laitteeseen kuvassa näkyvää ”Upgrade”-painiketta painamalla. Laite käynnistyy päivityksen jälkeen uudelleen automaattisesti.



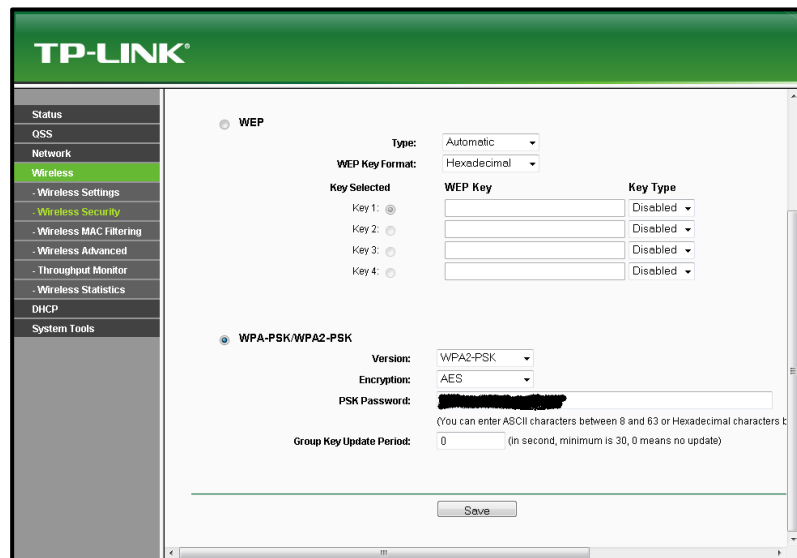
KUVA 24. Tukiaseman päivittäminen

Langattoman tukiaseman asetusvalikossa lisättiin tähän verkkoon suunnitellut asiat, joista suurin osa näkyy kuvassa 25. Verkon nimeksi laitettiin ”Raudanniemi”, alueeksi pudotusvalikosta valittiin ”Finland”, kanavaksi ”7”, verkon tyyppiä ”11bgn mixed” ja kanavan leveydeksi ”Auto”. Verkon nimi näkyy alueella osittain mainostarkoituksessa. Laitettiin rasti myös valintalaatikkoon ”Enable WDS” ja ”Survey”- painiketta painamalla etsittiin halutulla MAC-osoitteella varustettu laite sitten kun tarvittiin laitepari. WDS on langattoman lähiverkon laajentamiseen tarkoitettu järjestelmä, jossa tukiasemat toimivat samalla myös toistimina, joten samaa verkkoa voi laajentaa isollekin alueelle ilman langallista lähiverkkoa. Valittiin myös salaustyyppi ja annettiin salasana.



KUVA 25. Langattoman asetukset

Annettu salasana ei kuitenkaan vielä riittänyt vaan mentiin edelleen kuvassa 26 näkyvälle langattoman tukiaseman turvallisuus sivulle. Täällä tehtiin valinnaksi WPA-PSK/WPA2-PSK, versioksi laitettiin WPA2-PSK ja salausvalinnaksi AES. Lopuksi kirjoitettiin vielä salasana. Kuvan vasemman valikon ”Security” kohdassa jätettiin VPN-yhteydet mahdollisiksi.

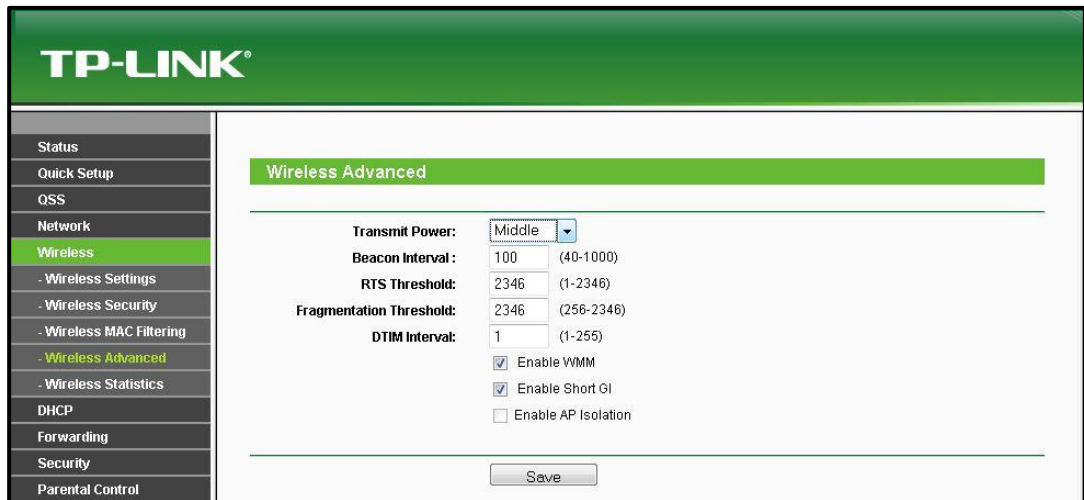


KUVA 26 Langattoman lähiverkon turvallisuusasetukset.

Langattoman tarkennukset sivulla, joka näkyy kuvassa 27, pystyttiin edelleen tekemään säätöjä esimerkiksi verkon nimen toistamistiheyden (Beacon Interval) valinta, joka kertoo kuinka usein verkon nimeä lähetetään. Tärkein tällä sivulla tehtävä säätö on ”Transmit Power”, jossa aseman lähetysteho voidaan säätää pudotusvalikosta. Vaihtoehtoja tukiasemassa on kolme ”High” eli täysi teho, ”Middle” eli puoliteho ja ”Low” eli neljäsosateho.

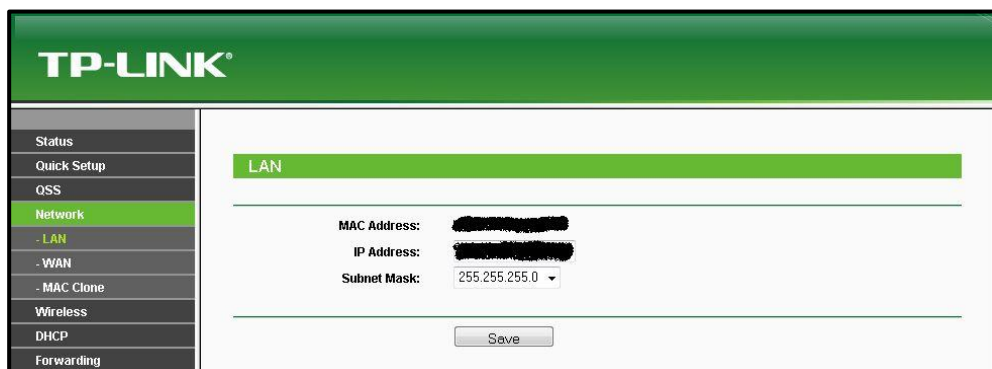
Tukiasemalla on tehtaan asettama esimerkiksi 17 dB:n lähetysteho, jota vahvistetaan lähetyksiantennilla. Tällöin alkuperäisantennin 3 dB:n antennivahvistus kaksinkertaistaa lähetystehon. Jokainen 3 dB:n lisäys edelleen kaksinkertaistaa edellisen lähetystehon, jolloin 9 dB:n antenni vahvistaa lähetystehon kahdeksankertaiseksi. Asia ei kuitenkaan ole aivan näin yksinkertainen, vaan saadusta vahvistuksesta vähennetään kaapelin, liitosten ja mahdollisen ylijännitesuojan aiheuttamat vaimennukset. Desibelit toimivat samalla tavalla noin 3 dB:n välein myös toisinpäin eli vähentäminen vaimentaa alkuperäistä tehoa puolella. Tämän antennien vahvistuksen takia jouduttiin jokaisessa ulkoisella antennilla varustetussa tukiasemassa vähentämään lähetystehoa, joka saa

Suomessa olla enintään 20 dB. Tarkempi laskelma vahvistuksesta ja vaimennuksesta on liitteessä kaksi.



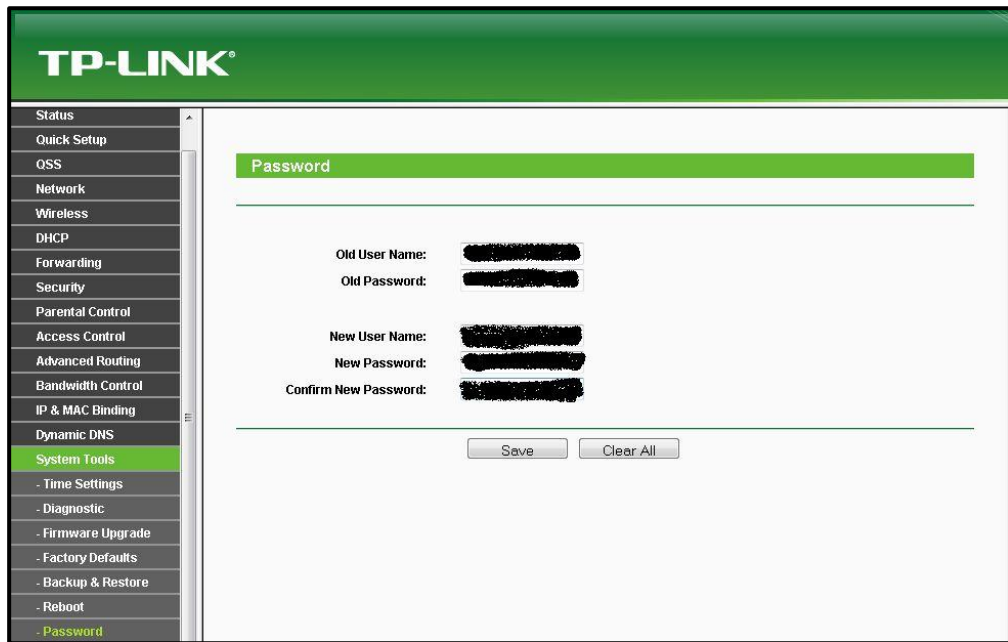
KUVA 27. Lähetyksen säätäminen

Lähiverkon asetuksiin määritellään haluttu IP- (Internet Protocol) osoite ja aliverkonpeite kuvassa 28 näkyvällä sivulla. Tämä osoite on myöhemmin tämän laitteen langaton ip-osoite, joka täytyy muistaa mahdollisia vikatilanteita varten. Jos osoitetta ei muista, laite täytyy palauttaa ulkoisesta ”Reset”-painikkeesta oletusasetuksille. Omat asetukset täytyy pakkokäynnistyksen jälkeen palauttaa joko säätämällä kaikki uudelleen tai ottamalla valmiiksi tallennetut asetukset tietokoneen kiintolevytä.



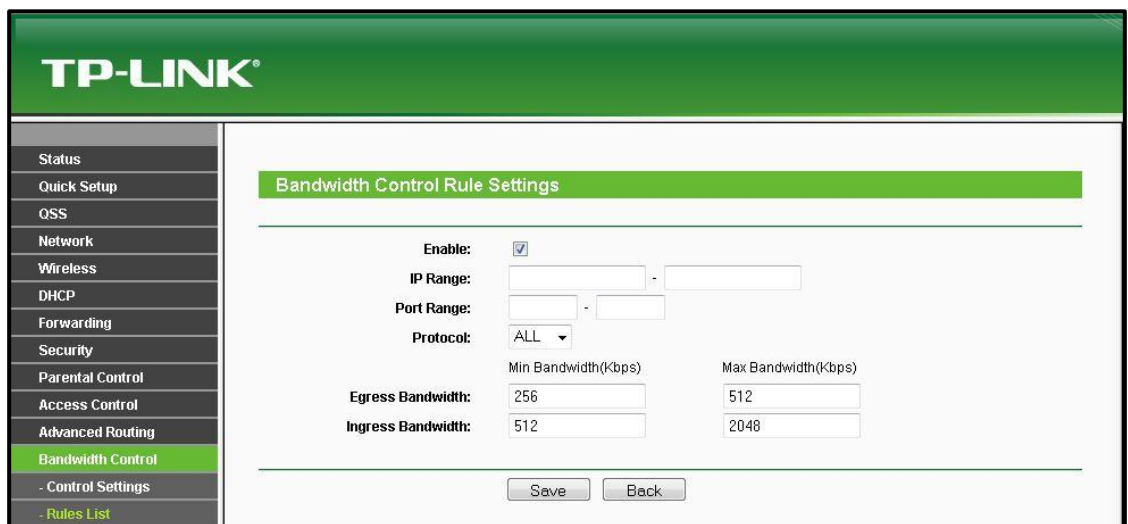
KUVA 28. Laitteen verkko-osoite

Luvaton pääsy laitteen asetustiedostoihin estetään kirjoittamalla kuvassa 29 näkyviin laatikoihin vanhat käyttäjänimi ja salasana tiedot, ja tämän jälkeen uudet käyttäjä- ja salasana tiedot. Uusi salasana pitää vielä varmistaa ja painaa ”Save”-painiketta. Laite käynnistyy uudelleen ja päästää vain juuri tallennetuilla tiedoilla tekemään asetuksia.



KUVA 29. Asetustiedostojen salasana

Tällaisessa kaupungin maaseutualueella toimivassa yhden tai useamman käyttäjän langattomassa verkossa on huolehdittava myös siitä, ettei useamman käyttäjän tilanteessa yksi käyttäjä saa koko kapasiteettia.



KUVA 30. Kaistanleveyden määrittelyt

Eli QoS (Quality of Service) täytyi asettaa päälle. Kuvassa 30 näkyvässä valikossa pystytään määrittelemään rajoitukset sekä sisään tulevalle että ulosmenevälle tietoliikenteelle.

5.4 Laitteiden asennukset

Antennit asennettiin siten, että irrotettiin ensin ikkunan vuorilaudat sekä sisä- että ulkopuolelta, jolloin näkyviin tuli ikkunan karmin ja seinän välissä oleva vuorivilla. Vuorivillan läpi pystytettiin työntämään rautatanko, jonka tekemän aukon kautta pystytettiin työntämään antennin johto. Vuorilaudan alle jäi sopivasti tilaa, joten pystytettiin naulaamaan vuorilaudat takaisin asennetusta antennin johdosta huolimatta.

Asennusta tehtäessä yritettiin löytää sopiva vapaa reitti isohkojen puunrunkojen välisistä niin, että mahdollisimman paljon tai ainakin minimimäärä Fresnelin-kehän halkaisijan avulla laskettua vapaata tilaa olisi yhteysalueella. Laskennassa käytettiin apuna yksinkertaista konsolipohjaista C++-ohjelmaa, joka koodattiin tätä tarvetta varten ja joka löytyy liitteestä kolme. Lisäksi suunnattiin antennit siten, että langaton verkko ei kuulu paljonkaan halutun alueen ulkopuolelle ja pohjoisimmassa loma-asunnossa hyödynnettiin myös sivukeila. Koko langaton verkko suunniteltiin niin, että yrittäjien asunnosta lähtee linkki kahteen lähimpään loma-asuntoon, joista kummastakin linkki eteenpäin kauempana sijaitsevaan loma-asuntoon, näin saatiin toistimien käyttöä vähennetyksi, jolloin verkon nopeus on parempi. Kesän kasvukauteen aiotaan varautua hieman ennakkoon raivaamalla jonkin verran pois kasvillisuutta tärkeimmiltä yhteysalueilta.

Antenni jäi kaikissa tapauksissa rakennuksen ulkoräystänsä suojaamaksi, muutoin olisi tarvittu vielä lisäsilmutta antennin johtoon ikkunan ulkopuolelle ohjaamaan sadevesi rakenteesta pois päin. Kaikissa antenniasennuksissa toimitettiin samalla tavalla eli tehtiin silmämääräinen arvio suunnasta ja antennin alle sahattiin sopivassa kulmassa oleva asennuspalikka, joka kiinnitettiin seinään. Asennuspalikkaan sitten kiinnitettiin antenni, joka liitettiin seinän läpi menevän johdon avulla tukiasemaan.

Tukiasemat kiinnitettiin ruuveilla rakennuksen sisäpuolella seinään niin, että virransyöttö pistorasiasta tuli mahdolliseksi. Tukiasemien piilottaminen tapahtui niin, että asema jäi ikkunaverhon suojaamaksi tai yläkerrokseen. Tukiasemat voisi suojata paremminkin, mutta yrittäjät joutuvat luottamaan asiakkaisiinsa joka tapauksessa, joten langaton verkko ei tee poikkeusta. Jokaisessa loma-asunnossa on kansio paikallisista palveluista ja yrityksen yhteystiedot, joten tähän samaan kansioon sijoitettiin ohjeet

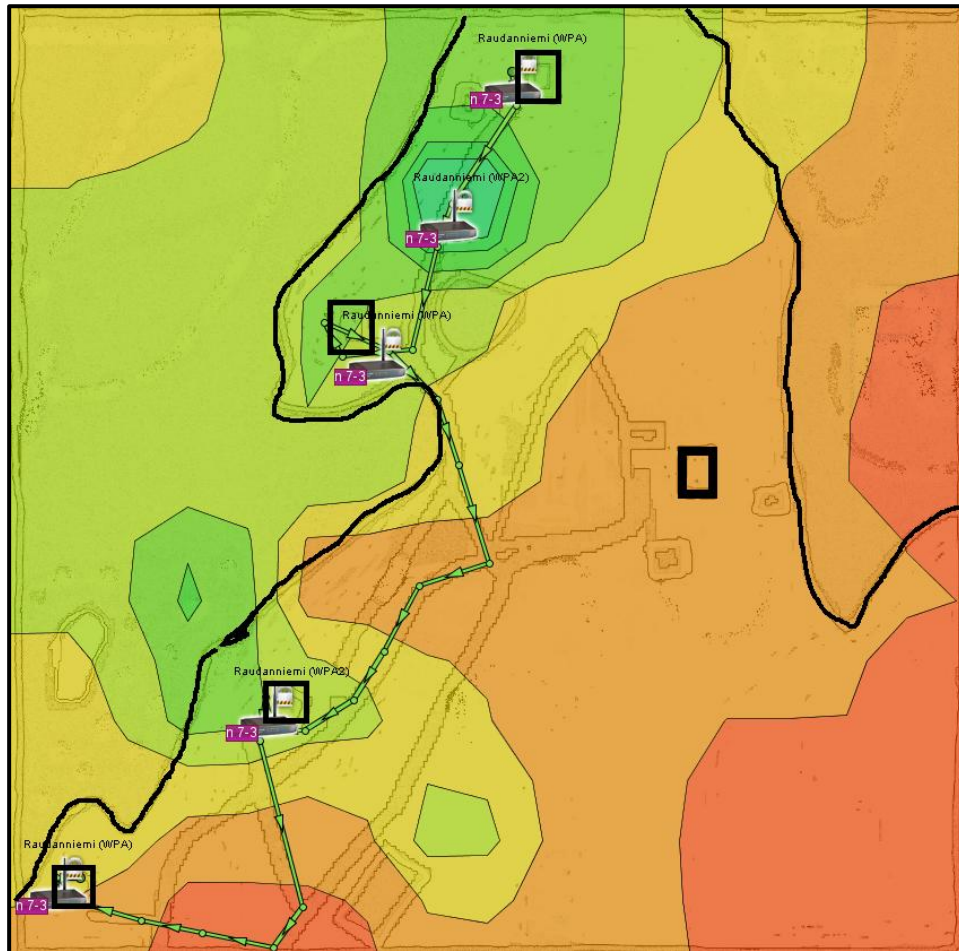
langattoman lähiverkon käyttöön eli mm. WPA2-AES-salasana, jota vaihdetaan määrätyn ajan kuluttua.

Internet-yhteyden toimiminen varmistettiin vielä mukana olevalla kannettavalla ja joissakin tapauksissa jouduttiin käyttämään lähiverkkokaapelia, kun asetukset eivät olleetkaan ihan kohdallaan ensimmäisellä yrittämällä. Ratkaisu kuitenkin löydettiin, kun lähettävän tukiaseman MAC-osoite etsittiin uudelleen. WDS-toimintoa hyödynnettiin aina kun se oli mahdollista, pari vanhempaa mallia olevaa laitetta ei tunnistanut uudemman tukiaseman WDS-toimintoa, jolloin asetettiin ne yleisiksi toistimiksi eli eivät toimi itse tukiasemina, vaan laajentavat niihin langattomasti liitetyn tukiasemien kuuluvuutta.

Antenneja ei kaikissa tapauksissa asennettu heti kumpaankin päähän linkkiä, koska yhteys näytti syntyvän muutenkin. Mentiin sitten tarkistamaan vielä heikoin linkki vesisateen aikana sirontatilanteessa. Radiolinkki ei toiminut, joten uusi antenni -ja lisätukiasema toistimeksi asennettiin vielä toiseenkin rakennukseen, jolloin ongelma ratkesi.

5.5 Langattoman lähiverkon toimivuuden mittaus

Käytettiin Ekahaun ”HeatMapper” ilmaista ohjelmistoa, jotta voitiin tarkistaa kuuluvuus loma-asuntoalueella. Toisin kuin paremmassa kaupallisessa versiossa tässä on suurin piirtein arvioitava olinpaikkansa tietokoneen kanssa kartalta tai pohjapiirroksista ja napautettava hiiren vasemmalla painikkeella kyseistä kohtaa, sitten siirrytään seuraavan paikkaan ja toistetaan olinpaikan arviointi sekä napautus. Toistetaan edelleen edellä mainitut, kunnes saadaan haluttu tarkkuus ja hiiren oikealla painikkeella saadaan sitten kuuluvuuskartta. Kuvassa 30 on tutkittu langattoman lähiverkon kuuluvuutta, mutta tulokset ovat melko optimistisia eli liian laaja-alaisia.



KUVA 31. Kuuluvuuskartta

Kuitenkin kolme loma-asuntoa eli kuvassa vasemmanpuoleisena olevat neliöt ovat vihreällä kuuluvuusalueella ja yksi keltaisella, joten verkon pitäisi toimia ja ainakin omalla kannettavallani saatiin Internet-yhteys jokaisesta verkossa olevasta loma-asunnosta. Mustalla vahvistettu piirros on rantaviivaa.

6 YHTEENVETO

Radioaaltojen historiaan ja niiden käyttäytymiseen perehtyminen oli tarpeellista langatonta lähiverkkoa suunniteltaessa. Tarpeellisia olivat tiedot mm. maasto ja sääolosuhteiden sekä esteiden aiheuttamista häiriöistä radioaalloille. Antennien valintaa auttoi huomattavasti, kun niihin oli perehdytty ennalta.

Laitteiden asennukset sujuivat yrittäjän ohjeiden ja avun turvin, jolloin löydettiin rakenteista sopivat tukiasemien ja antennien paikat. Tosin näissä jouduttiin tinkimään

laitteiden piilottamisesta, joten verkkoon pääsy piti estää mm. muuttamalla jokaisen tukiaseman asetukset pois oletusarvoista.

Langaton lähiverkko on nyt loma-asuntojen vuokraajien käytössä. Eräs asiakas oli antanut positiivista palautetta yhteyden toimivuudesta. Toisenlaistakin palautetta on tullut, kun langaton lähiverkko ei ole toiminut. Langaton tukiasema, jossa modeemi on, oli jostakin syystä menettänyt 3G-yhteytensä. Uudelleen käynnistettiin tukiasema, jolloin yhteys palautui ja käytiin vielä asiakkaan luona testaamassa, että Internet-yhteys toimii. Tehtiin uudelleenkäynnistysohje yritykselle, jos ongelma toistuu.

Opinnäytetyön tavoite on saavutettu, koska osassa loma-asunnoista on nyt Internet-yhteys. Yrittäjä on edelleen valmis tukemaan Internet-yhteysratkaisua, koska sen tarpeellisuus on jo todettu. Mahdollisista laajennuksista vielä kolmeen muuhun loma-asuntoon on ollut puhetta.

LÄHTEET

- 1 Attenborough, Keith, Blackburn, David, Insley, Jane, Lewish, Rhys, Nicolson, Jain, Sherwood, Martin, Sutton, Cristine & Weaver, Graham. Tieteen maailma: Tieteen työkalut. Kööpenhamina. Bonniers Bøger A/S. 2002.
- 2 Bickerton, David, Bowler, M. G., Davis, Nigel, Emsley John, Fry, John, Jones Richard, Lacey, Gill, Meadows, Jack & Sutton, Cristine. Tieteen maailma: Fysiikan lait. Kööpenhamina. Bonniers Bøger A/S. 1993.
- 3 Daimler Finland Oy Ab. Webee Wireless N Router Laiteversio 2 P/N 60291092. Helsinki. Pdf-dokumentti.
http://www.daimler.fi/tiedostot/manualit/webee-n-router/kayttoopas_v1-1.pdf. Päivitetty 18.6.2010. Luettu 25.2.2011. 2010.
- 4 Geier, Jim. Langattomat verkot, Perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy. 2005.
- 5 Granlund, Kaj. Langaton tiedonsiirto. Jyväskylä: Docendo Finland Oy. 2001.
- 6 Granlund, Kaj. Tietoliikenne. Jyväskylä: Docendo Finland Oy. 1. painos. 2007.
- 7 Hämeen-Anttila, Tapio. Tietoliikenteen perusteet. Jyväskylä Docendo Finland Oy. 2003.
- 8 Lehto, Tero. Monitoimiset wlan –tukiasemat. Tietokone 6-7, 84-91. 2002.
- 9 Lindell, Ismo. Radioaaltojen eteneminen. Helsinki: Otatiето Hakapaino Oy. 2000.
- 10 Peltonen, Hannu, Perkkiö, Juha & Vierinen Kari. Insinöörin (AMK) Fysiikka Osa II, 7. painos. Saarijärvi: Lahden Teho-Opetus Oy. 2007.
- 11 Penttinen, Jyrki. Tietoliikennetekniikka. 3G ja erityisverkot. Helsinki: WSOY. 2006.
- 12 Penttinen, Jyrki. Tietoliikennetekniikka. Perusverkot ja GSM. Helsinki: WSOY. 2006.
- 13 Puska, Matti. Langattomat lähiverkot. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005.
- 14 Rackley, Steve. Wireless Networking Technology, From Principles to Successful Implementation. Oxford Elsevier. 2007.

- 15 Rousu, Pekka&Rotsen, Petri. Kotikoneet kätevästi nettiin, Kotiverkon rakentaminen. Mikrobitti 1, 40-43. 2011.
- 16 Räisänen, Antti & Lehto Arto. Radiotekniikan perusteet. Helsinki: Ota-tieto Hakapaino Oy 12 Painos. 2007.
- 17 The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE Std 802.11n. New York. Pdf dokumentti.
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11n-2009.pdf>.
Päivitetty 29.10.2009. Luettu. 25.2.2009.
- 18 Väänänen, Ossi. Langattomat lähiverkot ammattikorkeakouluissa. Turun ammattikorkeakoulu. Raportteja 52. 2007.

Antennin vastaanotto

Neliön muotoisen antennin vastaanotto laskeminen ilman lisävaimennusta, kun lähettävä antenni on samanlainen.

Apertuurin mitat ovat 12 cm * 12 cm * 2 cm

Antennin vahvistus $G = 25$

Suurin sallittu lähtöteho P_t on 100 mW

Antennien välinen etäisyys r on 100 m

Taajuus on 2,4 GHz

Valonnopeus c on $3 \cdot 10^8$ m/s

P_r lasketaan

Aallonpituus:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,4 \cdot 10^9 \text{ Hz}} \quad \lambda = 0,125 \text{ m}$$

Suuntaavuus:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} * A \quad D = \frac{4\pi}{0,125^2 \text{ m}^2} * 0,12 \text{ m} * 0,12 \text{ m} \quad D = 11,58$$

Hyötysuhde:

$$\eta = \frac{D}{G} \quad \eta = \frac{11,58}{25} \quad \eta = 0,46$$

Efektiiivinen pinta-ala:

$$A_{\text{eff}} = \eta * A \quad A_{\text{eff}} = 0,46 * 0,12 \text{ m} * 0,12 \text{ m} \quad A_{\text{eff}} = 0,0066 \text{ m}^2$$

$$P_r = A_t * A_r \left(\frac{1}{\lambda r} \right)^2 * P_t \quad P_r = 0,0066 \text{ m}^2 * 0,0066 \text{ m}^2 \left(\frac{1}{0,125 * 100 \text{ m}} \right)^2 * 0,1 \text{ W}$$

$$P_r = 0,28 * 10^{-7} \text{ W} = 2,8 \text{ } \mu\text{W}$$

TUKIASEMAN LÄHETUSTEHON LASKEMINEN

Valmistajan mukaan tukiasema lähettää 3 dB:n antennilla täydellä teholla eli:

Kaavassa P_{ap} = tukiaseman lähetysteho, $EIRP = 100 \text{ mW}$, A_{ant} = antennin vahvistus
 A_{cable} = kaapelin vaimennus.

$$P_{ap} \text{ (dBm)} = EIRP - A_{ant} - A_{cable}$$

$$P_{ap} = 20 \text{ dBm (100 mW)} - 3 \text{ dBm} - 0 \text{ dBm} = 17 \text{ dBm (50 mW)}$$

Vaihdetaan tukiasemaan 9 dB:n antenni, joten paljonko tehoa on vähennettävä:

$$X - 9 \text{ dB (antenni)} + 0,5 \text{ dB (1 m kaapeli)} + 0,5 \text{ dB (liitos)} = 20 \text{ dB}$$

$$X = 20 \text{ dB} - 9 \text{ dB} + 1,0 \text{ dB} = 11 \text{ dBm (13 mW)}$$

Pitemmällä antennikaapelilla:

$$X - 9 \text{ dB (antenni)} + 2,0 \text{ dB (4 m kaapeli)} + 1 \text{ dB (liitokset)} = 20 \text{ dB}$$

$$X = 20 \text{ dB} - 9 \text{ dB} + 3,0 \text{ dB} = 14 \text{ dB (25 mW)}$$

Eli ensimmäisessä 9 dB:n antennin tapauksessa teho on vähennettävä neljännekseen ja jälkimmäisessä puoleen alkuperäisestä.

Fresnel-kehän yksinkertainen laskuri

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;

int main()
{
    double x, F, r1, r2;

    cout << "Anna Fresnelin kehan luku (1, 2 tai 3). ";
    cin >> F;

    cout << "Anna etaisyys ensimmäiseen tukiasemaan metreina. ";
    cin >> r1;

    cout << "Anna etaisyys toiseen tukiasemaan metreina. ";
    cin >> r2;

    double d;

    d = sqrt ((F*r1*r2)/(r1+r2));
    x = 0.4 * d;

    cout << "Fresnelin ellipsoidin halkaisija on " << d << " m";
    cout << "\nSuurin sallittu esteen korkeus on " << x << " m";

    cout << "\n" << "\nPaina jotain kirjainnappainta ja [Enter] lopettaaksesi.";
    char merkki;
    cin >> merkki;

    return 0;
}
```