

LANGATON LÄHIVERKKO

Wireless Local Area Network (WLAN)
IEEE 802.11

Lasse Seppänen
HAMK

1.	JOHDANTO	4
2.	LANGATON LÄHIVERKKO (WIRELESS LOCAL AREA NETWORK, WLAN)	5
2.1.	WLAN-ARKKITEHTUURI	5
2.2.	WLAN-PROTOKOLLAT	7
2.2.1.	<i>Fyysinen kerros (OSI 1)</i>	<i>8</i>
2.2.2.	<i>Siirtokerros (OSI 2)</i>	<i>10</i>
2.2.2.1.	Medium Access Control -alikerros (MAC)	10
2.2.2.2.	Piilossa olevan päätelaiteen ongelma	11
2.3.	KANAVIEN VARAAMINEN	12
2.3.1.	<i>Kanavat</i>	<i>13</i>
2.3.2.	<i>Kanavat ad-hoc- ja BBS-verkoissa</i>	<i>14</i>
2.3.3.	<i>Kanavat GSM:ssä ja laajennetun palvelun infrastruktuuriverkoissa (ESS)</i>	<i>14</i>
2.3.4.	<i>Tiedonsiirtonopeus vs. etäisyys</i>	<i>14</i>
2.4.	TURVALLISUUS WLANISSA	15
2.4.1.	<i>Autentikointi WLANissa</i>	<i>15</i>
2.4.2.	<i>Verkon nimi</i>	<i>15</i>
2.4.3.	<i>WLANin kryptaus</i>	<i>15</i>
2.4.4.	<i>Muut WLANiin liittyvät turvallisuusmekanismit</i>	<i>16</i>
2.5.	WLANIN STANDARDOINTI	16
2.6.	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	17
3.	WLAN-LAITTEET	19
3.1.	TUKIASEMAT YLEISESTI	21
3.2.	LUCENT/ORINOCON TUKIASEMAT	21
3.3.	NOKIAN TUKIASEMAT	22
3.4.	LANGATTOMAT PÄÄTELAITTEET	22
4.	WLAN-SUUNNITTELU	24
4.1.	KATTAVUUDEN SUUNNITTELU	24
4.2.	SUUNNITTELU SUURTA KAPASITEETTIA VARTEN	24
4.3.	RAKENNUSTEN VÄLINEN WLAN	25
4.4.	SUUNNITTELU PAIKAN PÄÄLLÄ	25
4.5.	KANAVIEN SUUNNITTELU LAAJASSA WLAN-VERKOSSA	26
4.6.	TURVALLISUUS	29
4.6.1.	<i>Tunkeutuminen ja salakuuntelu</i>	<i>29</i>
4.6.2.	<i>Fyysinen asennus ja suojaus</i>	<i>29</i>
4.6.3.	<i>Sähkö ja salamat</i>	<i>30</i>
4.6.4.	<i>Tukiaseman LAN-yhteys</i>	<i>30</i>
4.7.	MUUT NÄKÖKULMAT	30
4.7.1.	<i>Suunnittelu tulevaisuutta varten: kaksikaistainen WLAN</i>	<i>30</i>
4.7.2.	<i>Muut alueen WLAN-verkot</i>	<i>31</i>
4.8.	WLANIN KUSTANNUKSET	31
5.	WLAN KOULUISSA	33
5.1.	TIETOKONEET KOULUISSA	33
5.2.	KANNETTAVAT TIETOKONEET KOULUISSA	34
5.3.	OPISKELIJOIDEN ENNAKKOKÄSITYKSET WLAN-KANNETTAVISTA TIETOKONEISTA	34

5.4.	OPISKELIJAT, JOILLA ON KANNETTAVAT TIETOKONEET ILMAN LANGATONTA LÄHIVERKKOA	35
5.5.	OPISKELIJAT WLAN-KANNETTAVIEN TIETOKONEITTEN KANSSA.....	36
5.6.	OPETTAJA JA KANNETTAVA TIETOKONE	36
5.6.1.	<i>Edut kalvoihin nähden.....</i>	37
5.6.2.	<i>Huonot puolet kalvoihin nähden</i>	38
5.7.	OPETTAJA, JOLLA ON KANNETTAVA TIETOKONE LANGATTOMASTI LÄHIVERKOSSA	38
5.8.	KASVATUSSOSIOLOGINEN NÄKÖKULMA.....	39
5.8.1.	<i>Koulutus kasaantuu</i>	40
5.8.2.	<i>Opettaminen muuttuu</i>	41
5.8.3.	<i>Opiskelijan ja opettajan välinen suhde muuttuu</i>	42
5.8.4.	<i>Epätavanomaiset oppimisprosessit</i>	42
5.8.5.	<i>Nuorisokulttuuri ja markkinat</i>	43
5.8.6.	<i>Medianuoret</i>	43
5.8.7.	<i>Opettaminen muuttuu</i>	43
5.9.	YHTEENVETO	44
6.	VIITTEET	46

1. Johdanto

Kommunikaation maailma tulee koko ajan enemmän ja enemmän langattomaksi. Langattoman viestinnän hallitsemiseen tarvitaan lisää ammattitaitoista työvoimaa. Langattomat lähiverkot (Wireless LAN, WLAN) ovat ottaneet paikkansa osana lähiverkkoja, mutta niitä opetetaan varsin harvoissa paikoissa. Pelkästään kiinteän lähiverkon opetus ei ole yksin tarpeeksi, koska WLAN-laitteet voivat pian olla yhtä suosittuja kuin langalliset laitteet.

2. Langaton lähiverkko (Wireless Local Area Network, WLAN)

Langaton lähiverkko (Wireless Local Area Network, Wireless LAN, WLAN) on datan siirtomedia, joka käyttää radioaaltoja perinteisen kuparikaapeloinnin sijaan yhdistäessään tietokoneet verkkoon. Yksi WLAN-määrittelyistä, johon tämä työ keskittyy, on IEEE:n standardi 802.11.

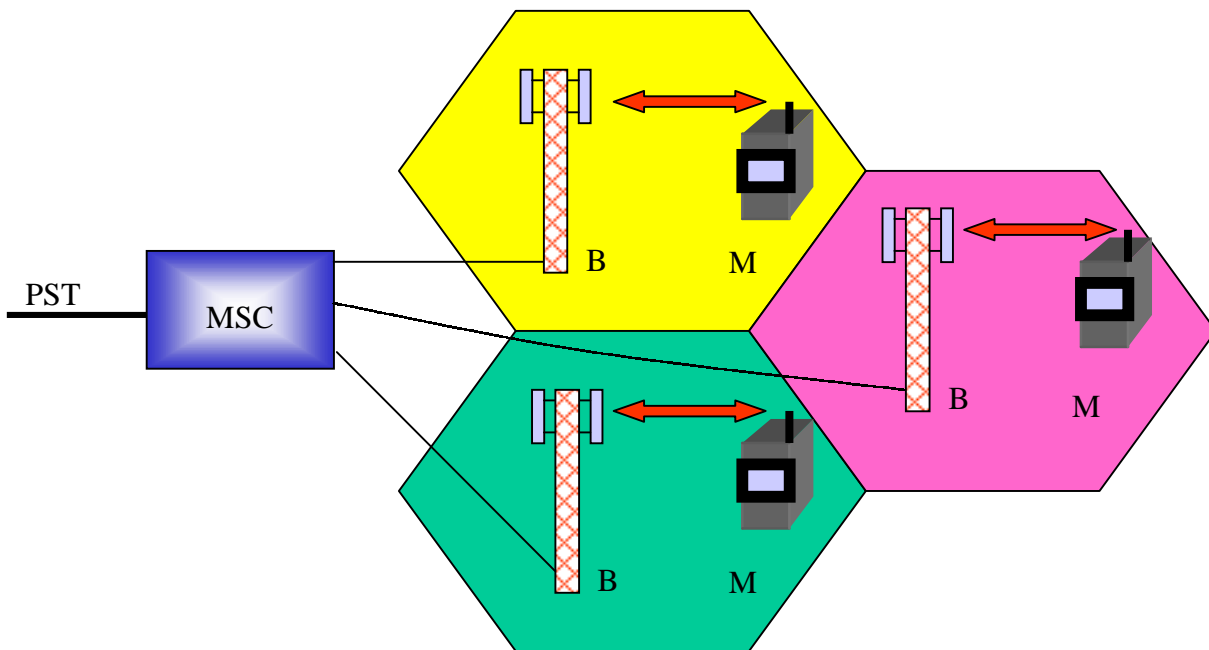
WLAN on vaihtoehto langalliselle lähiverkolle paikoissa, joissa kaapelointi on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Sellaisia paikkoja ovat esimerkiksi vanhat suojellut rakennukset tai väliaikaiset asennukset. WLAN-asennukset ovat halpoja, sillä niissä manuaalisesti asennetaan vain tukiasemat ja runkoverkko.

IEEE 802.11 WLAN -laitteet täyttävät Federal Communications Commission (FCC) määräykset 2.4 GHz:n ISM-kaistan (Industrial, Scientific ja Medical) käytöstä [14]. Tämän taajuuskaistan käyttöön ei tarvita lisenssiä. Lisäksi tälle taajuusalueelle on mahdollista tehdä halpoja ja vähän tehoa tarvitsevia lähiverkkonopeuksilla toimivia radioyhteyksiä.

Kun verrataan 802.11 WLANia muuhun langattomaan tekniikkaan nähdään sen sijoittuminen koko langattomassa kentässä. GSM tulevaisuuden variaatioineen on hitaampi, mutta liikkuvampi. Bluetooth käyttää samaa taajuuskaistaa ja lyhyempiä etäisyyksiä sekä alemmaa tiedonsiirtonopeutta. HIPERLANeissa on lisätty tiedonsiirtonopeutta, taajuuskaistoja sekä muuta toiminnallisuutta 802.11 WLANiin nähden (Kuva x.x). GSM-puhelu on mahdollista nopeasti ajavasta autosta. WLAN toimii vielä kävelynopeudella [32]. Tästä seuraa, että hypoteettinen WLAN-puhelin ei voisi korvata GSM/GPRS/UMTS-puhelinta. WLAN on ensisijaisesti ajateltu kannettaviin tietokoneisiin. Bluetooth on määrittely, jolla saadaan käsipuhelimet, tietokoneet, ja älypuhelimet (personal digital assistants, PDAs) yhdistettyä toisiinsa ja kodin tai työpaikan laitteisiin lyhyellä kantamalla.

2.1. WLAN-arkkitehtuuri

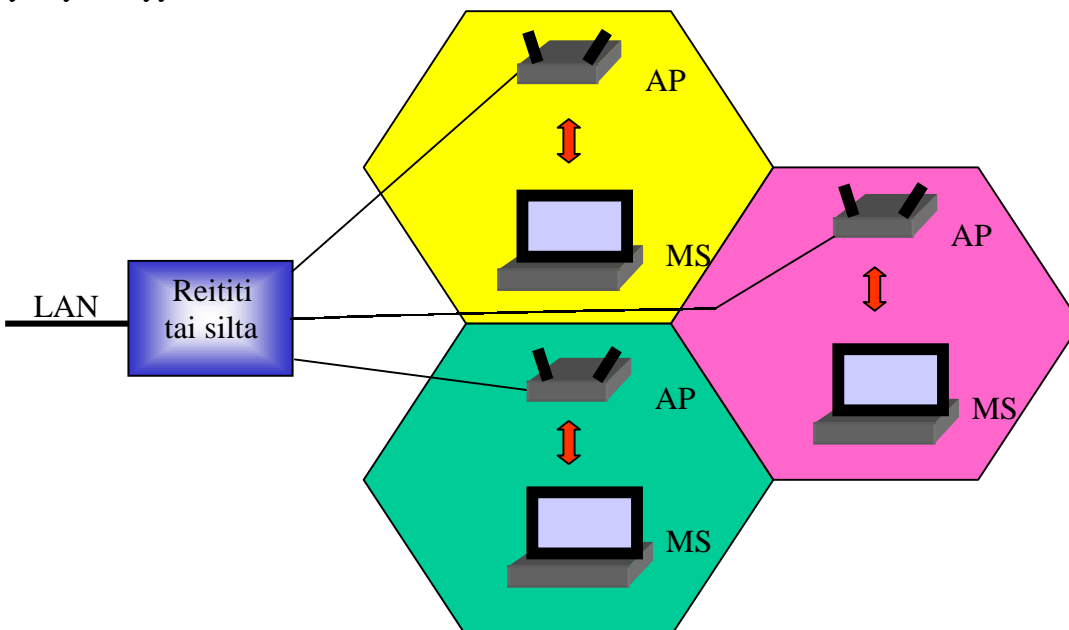
Langattoman lähiverkon perusarkkitehtuuri näyttää perinteiseltä solukkoverkolta, kuten GSM-verkolta. Tukiasemat (GSM-verkossa base laite, BS; WLAN-verkossa access point, AP) sijaitsevat verkossa tietyillä etäisyyksillä toisistaan. Päätelaitteet (käsipuhelimet mobile laite, MS; kannettavat tietokoneet WLANissa) ovat yhteydessä tukiasemaan radorajapinnan yli. Jokaisella tukiasemalla on oma taajuuskaistansa, joka ei mene päällekkäin naapuritukiaseman taajuuskaistan kanssa (Kuva 2.2).



Kuva 2.2 GSM-verkko

Asennettaessa koulujen sisätiloihin tukiasemat ovat sellaisella alueella, jossa opiskelijat ja opettajat työskentelevät. Tukiasemat ovat yhteydessä toisiinsa kiinteän lähiverkon avulla, joka on tavallisimmin Ethernet. Tukiasemat toimivat hubeina.

Kannettavaan tietokoneeseen asennetaan PC-kortti. Tämä kortti on langattoman verkon verkkokortti, jollainen on myös kiinteissä tietokoneissa. Kiinteä langallinen yhteys on vain korvattu langattomalla. Osa verkkokortista tulee ulos kannettavan tietokoneen kupeesta. Siinä on lähetin ja vastaanotin. Kortin avulla kannettava tietokone voi olla yhteydessä verkkoon kaikkien tukiasemien kattavuuden alueella (kuva 2.3). Kun kannettava tietokone siirtyy (roaming) yhden tukiaseman kattavuuden alta toisen tukiaseman kattavuudelle yhteys säilyy, mutta tietokone vaihtaa tukiasemaa.



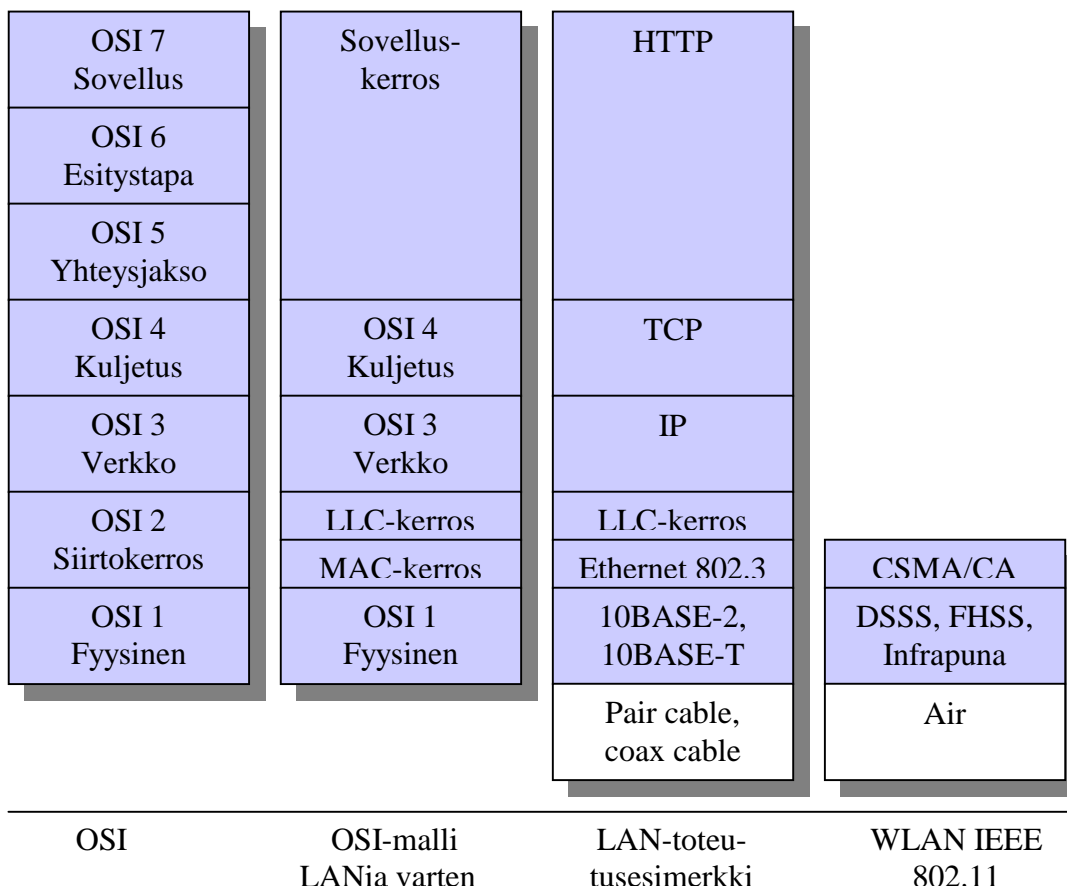
Kuva 2.3 WLAN

Roaming on monimutkainen tapahtumasarja, koska taustalla olevan Ethernetin pitää pystyä siirtämään yhteys tukiasemalta toiselle. Liikenteen hallinta tukiasemien välillä on WLAN-standardien ulkopuolella. Standardit määrittelevät vain tiettyjä roamingiin liittyviä palveluja, jotka kiinteän verkon pitää toteuttaa. Kun kannettava tietokone huomaa radioyhteyden huonontuvan se aloittaa toisen tukiaseman etsimisen. Kun se löytyy, kone lähettää yhteyden muodostuspyynnön. Jos uusi AP sen hyväksyy, kone siirtyy uudelle tukiasemalle. Kiinteää verkkoa informoidaan siirrosta, ja vanha AP purkaa yhteyden. Joukko valmistajia kehittää tukiasemien välistä protokollaa (Inter-Access Point Protocol, IAPP), jossa määritellään miten tukiasemat kommunikoivat keskenään [29].

Runkoverkko voi aiheuttaa vaikeuksia roamingissa. Oletetaan, että kaksi tukiasemaa on liitetty yhteen kytkimeen. Kytkimellä on tieto siihen yhteydessä olevien laitteiden eli tukiasemien ja tietokoneiden verkko-osoitteista (MAC-osoitteet). Jos osoite muuttuu kytkimen portista toiseen hallitsemattomasti, sama osoite on yhtä aikaa kahdessa portissa.

2.2. WLAN-protokollat

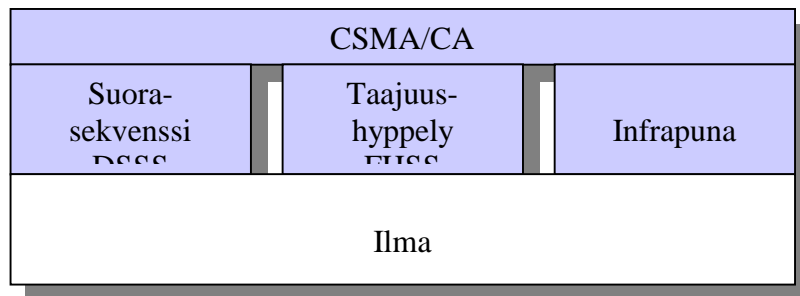
IEEE 802.11 -protokolla määrittelee OSI-mallin toisen kerroksen siirtoyhteyserroksen protokollan (Medium Access Control -kerros MAC), joka on yhteydessä kolmeen eri fyysiseen kerrokseen (Physical layer, PHY). MAC-alikerros huolehtii radiotaajuisesta yhteydestä riippumattomasta yhteyskäytännöstä. Fyysinen taso yhdistää MAC-alikerroksen varsinaisiin radiotaajuisiin siirtoyhteyksiin. Fyysinen kerros on erotettu siirtokerroksesta, jotta jatkossa siirtyminen uusille taajuuskaistoille ja modulaatiomenetelmiin on mahdollista. Kuva 2.4 näyttää IEEE 802.11:n protokollakerrokset verrattuna vastaaviin pinoihin.



Kuva 2.4 Eri pinot

2.2.1. Fyysinen kerros (OSI 1)

IEEE 802.11:ssä on määritelty kolme fyysisen kerroksen variaatioita. Nämä ovat kaksi radiotaajuista teknologiaa suorasekvensihajaspektri (Direct Sequence spread spectrum, DSSS) ja taajuushyppely (Frequency Hopping spread spectrum, FHSS), ja infrapuna (Kuva 2.5). Taajuushyppelyllä ja infrapunalla ei ole merkitystä 802.11 WLANissa. Taajuushyppelyä käytetään Bluetoothissa. Eri fyysisten rajapintojen käyttö on samanlainen kuin muissakin verkkostandardeissa, kuten Ethernetissä, joka tarjoaa monia liittäjämahdollisuuksia kuten 10BASE-2 tai 10BASE-T.

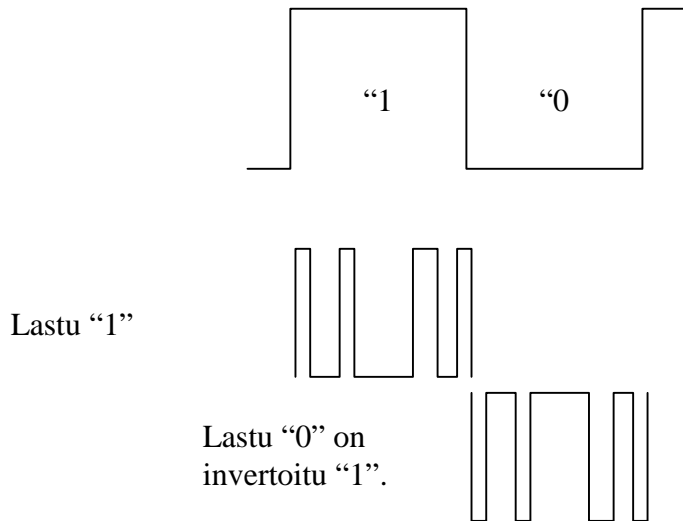


Kuva 2.5 Kolme fyysistä mahdollisuutta 802.11:ssä

Suorasekvensihajaspektritekniikka (DSSS) on laajakaistainen radiotaajuinen tekniikka, joka on kehitetty turvallisten, luotettavien ja jatkuvasti toimivien järjestelmien käyttöön. Suorasekvenssi on suunniteltu korvaamaan taajuuskaistan tehokkuus luotettavuudella ja turvallisuudella. Enemmän taajuuskaistaa tarvitaan kuin kapeakaistaisessa tiedonsiirrossa. Tämä korvaaminen tuottaa laajakaistaisen signaalin, joka on helppo ottaa vastaan. Jos vastaanotin ei ole oikealla taajuudella, DSSS-signaali näyttää taustakohinalta [4].

Tiedonsiirtonopeudet DSSS:llä ovat 1, 2, 5.5 ja 11 Mbit/s. WLANissa määritellään dynaaminen tiedonsiirtonopeuden muutos tapahtuvaksi automaattisesti etäisyyden tai häiriöiden kasvaessa. Ideaalitapauksessa käyttäjät saavat käyttöönsä koko taajuuskaistan, mutta olosuhteista riippuen tiedonsiirtonopeus voi muuttua. Muutos voi tapahtua kumpaankin suuntaan: yhteyden huonontuessa alaspäin ja parantuessa ylöspäin. Tämä fyysisen kerroksen toiminnallisuus ei näy ylemmille kerroksille.

Suorasekvenssin tietovirta lähetetään laajalla taajuuskaistalla. Alkuperäinen tietovirta moninkertaistetaan lastuilla, joita kutsutaan Barkerin sekvenssiksi. Tämä moninkertaisten bittien kuvio jakaa jokaisen bitin moniksi bittikuvioiksi, joita kutsutaan lastuiksi (kuva 2.6). Mitä pitempi lastu on sitä suurempi todennäköisyys on saada data perille oikeassa muodossa. Jokainen siirrettävä bitti moduloidaan 11 lastuksi, mikä antaa 10.4 dB lisäyksen siirtotehoon. Tämä vastaa FCC:n minimivaatimuksia.

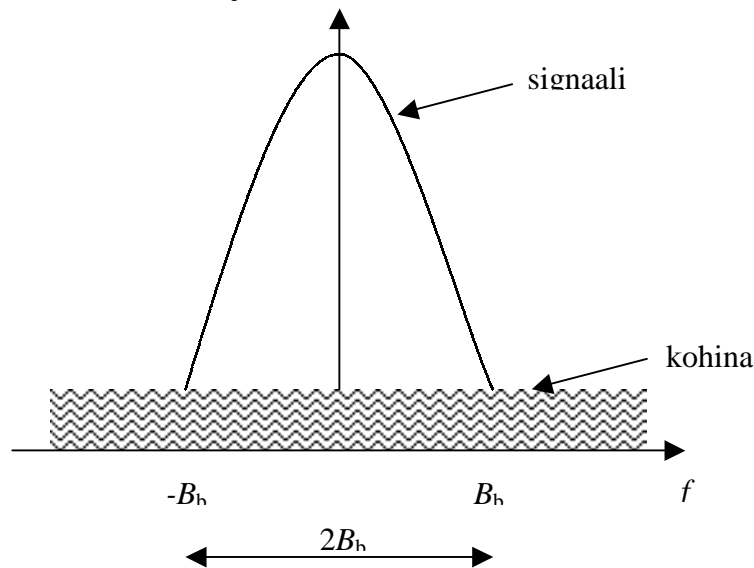


Kuva 2.6 Lastujen periaate

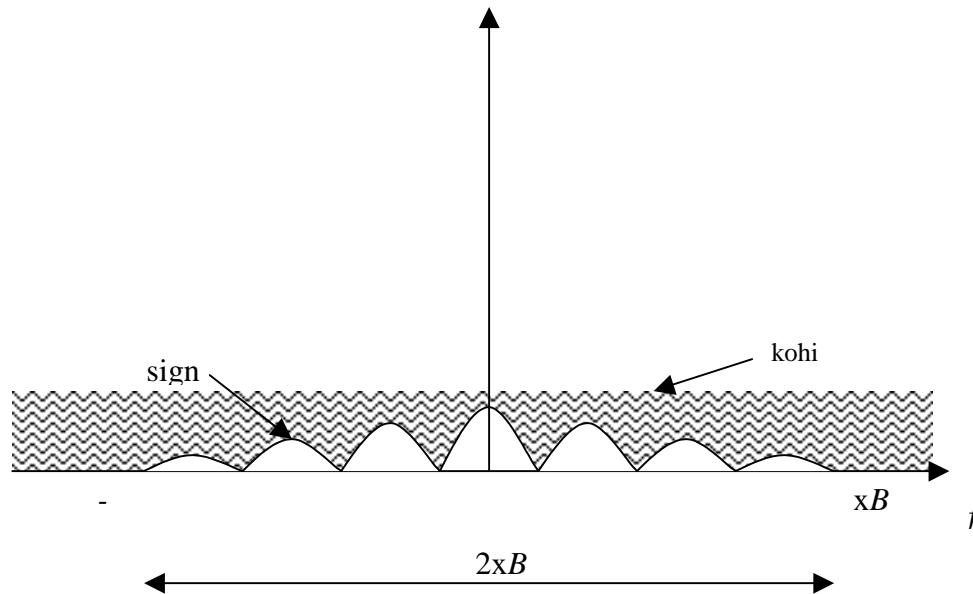
DSSS:n modulaatioprosessi tehdään tehokkaasti kertomalla kanta-aallon taajuus ja pseudo-kohinan (pseudo-noise, PN) digitaalinen signaali. Tämä prosessi aiheuttaa RF-signaalin muuttumisen hyvin laajakaistaiseksi signaaliksi, jonka spektri on lähellä kohinan spektriä.

Vastaanottimen pitää ymmärtää lähettimen tapa koodata lastuja. Tämä koodi mahdollistaa monien DSSS-lähettimien toimimisen samalla alueella ilman interferenssiä. Lastut poistetaan signaalista, jolloin jäljelle jää alkuperäinen tietovirta. Jos yksi tai useampi lastu on vahingoittunut siirrossa, tilastollisilla tekniikoilla voidaan alkuperäinen data palauttaa. Tätä voidaan verrata käsipuhelimien Code Division Multiple Access –tekniikkaan [6].

Siirrettävän tiedon modulointi muistuttamaan kohinaa tekee WLANista käyttökelpoisen sellaisiin ympäristöihin, joissa on herkkiä elektronisia laitteita. Näitä paikkoja ovat esimerkiksi laboraatiot tai sairaalat. Kapeakaistaiselle vastaanottimelle DSSS näyttää matalatehoiselle laajakaistaiselle kohinalle. Tämä menetelmä on hyvin erilainen kuin GSM:ssä, joka aiheuttaa paljon häiriötä elektronisissa laitteissa. Kapeakaistaisen ja DSSS:n spectrien erot ovat kuvissa 2.7 ja 2.8.



Kuva 2.7 Kapeakaistainen siirto



Kuva 2.8 DSSS-spektri

2.2.2. Siirtokerros (OSI 2)

Siirtokerros on jaettu kuten tavallisessa LAN-ympäristössä linkkikerrokseen (Logical Link Control, LLC) ja Medium Access Control -kerrokseen (MAC). LLC-kerros sisältää standardin rajapinnan verkkokerrokselle (OSI 3) Internet-protokollan (IP) kaltaisille protokollille.

2.2.2.1. Medium Access Control -alikerros (MAC)

MAC-kerros kontrolloi liittymistä fyysiseen siirtomediaan. Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) –protokollaa käytetään information siirtoprotokollana. Se on samankaltainen kuin Ethernet standardi IEEE 802.3 sillä erolla, että Ethernet käyttää protokollaa CSMA/Collision Detection. 802.11 MAC-kerros on ensisijaisesti kiinnostunut siitä, millaisilla säännöillä langatonta mediaa jaetaan sen käyttäjien kesken. Tiedonsiirtonopeudesta riippumaton MAC-protokolla on yhteinen kaikille kolmelle fyysiselle kerrokselle (DSSS, FHSS, IR).

CSMA/CA tarkastaa, että siirtomedia on vapaa (Carrier Sense) muiden lähettimien liikenteestä (Multiple Access). Jos se ei ole, niin se tietyllä algoritmilla valitsee ajan, jonka jälkeen tapahtuu uudelleenyritysmahdollisuuden kuuntelu (Collision Avoidance). Ero tämän ja Ethernetin välillä on, että solmu peruuttaa ennen törmäyksen havainnointia, kun taas CSMA/CD:ssä jälkeen havainnoinnin. Ilma-aika on suhteessa paljon kalliimpaa kuin fyysisen kaapelin aika, joten protokollatasolla pyritään välttämään välttämään törmäyksiä, vaikka se johtaisikin vähäsen suurempiin odotusaikoihin.

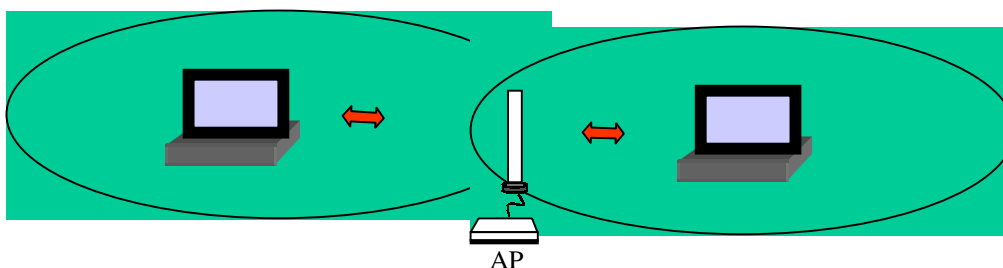
802.11:ssä ei voida käyttää koko 802.3:ea, koska langattoman päätelaitteen on mahdotonta sekä kuunnella että lähettää samalla kanavalla, mikä vaadittaisiin törmäyksen havainnoinnissa (CD). Langaton päätelaite ei pystyisi havaitsemaan törmäystä ennen kuin paketin lähetyksen loputtua, mikä tekee törmäyksistä suurempia vaikutukseltaan kuin 802.3:ssa.

Lähetyksen jälkeen vastaanotin lähettää kiittauksen (acknowledgement, ACK) onnistuneesta vastaanotosta. Jos lähettävä laite ei saa kiittausta se olettaa, ettei paketti mennyt perille ja yrittää uudelleen pseudosatunnaisella algoritmilla valitun ajan jälkeen, kunnes kiittaus tulee.

Tiedon fragmentoituminen on mahdollista jaetulla siirtotiellä. Huolimatta törmäystä välttävästä algoritmeista törmäyksiä voi tapahtua. On myös mahdollista, että ilmassa on muitakin sähköisiä häiriöitä. Mikroaaltouunit ovat epämukava häiriölähde toimiessaan.

2.2.2.2. Piilossa olevan päätelaitteen ongelma

Erikoinen tilanne syntyy WLANissa, kun kaksi langatonta päätelaitetta on yhteydessä samaan tukiasemaan, mutta eivät havaitse toisiaan (kuva 2.9).



Kuva 2.9 Piilossa olevan päätelaitteen ongelma

Nyt on mahdollista kaksi törmäystapaa: kumpikin laite alkaa lähettää yhtä aikaa tai toinen alkaa lähettää kesken toisen lähetyksen. Ne näyttäisivät samanlaisille, koska törmäys on ainoastaan tukiasemalla, mutta päätelaitteet eivät sitä havaitse eivätkä lopeta lähetystään.

Jos tämä piilossa olevan päätelaitteen ongelma tapahtuu, tukiasema voidaan konfiguroida käyttämään Request to Send/Clear to Send –protokollaa. (RTS/CTS). Päätelaitteet lähettävät RTS-sanoman tukiasemalle ilmoittaen seuraavan kehyksen pituuden. Tukiasema lähettää takaisin CTS-sanoman kaikille päätelaitteille kertoen, että yksi niistä on varannut kanavan tietyksi ajaksi, joka vastaa kehyksen pituutta ja vahvistaa mahdollisuuden kanavan käyttöön. Päätelaitteet, jotka saavat RTS- ja CTS-sanomia, tai sekä paketit asettavat niiden verkkovarausvektorin, joka on virtuaalinen liikenteen havaintaja, annettuun pituuteen. Kun lähetetään näitä lyhyitä RTS- ja CTS-paketteja todennäköisyys törmäyksiin vähenee, vaikka toiset päätelaitteet eivät voisi kuulla muita lähialueen päätelaitteita ne ymmärtävät siirtotien varatuksi siirron ajaksi.

Jos tämä RTS/CTS-mekanismi on käytössä kaikissa sanomissa se aiheuttaa paljon tarpeetonta liikennettä. Sanomapituuksille voidaankin asettaa kynnyksarvo siten, että mekaniismia käytetään vain sitä pitempien sanomien lähettämiseen. Lyhyempiin käytetään vain standardia CSMA/CA-protokollaa. Maksimi kehyksen pituus on 2347 tavua. Jos RTS/CTS on käytössä tyypillinen kynnyksarvo on 500 tavua [LM].

IEEE 802.11 MAC-kerros tarjoaa kaksi erikoista piirrettä: CRC-tarkistussumma ja pakettien katkominen pienemmiksi. Tarkistussumma lasketaan joka paketille tiedon eheyden varmistamiseksi. Ethernetissä ylin kerros kuten TCP kattaa tämän. Pakettien katkaiseminen lyhyemmiksi tekee mahdolliseksi pitkän paketin katkaisemisen lyhyemmiksi ennen ilmarajapintaa. Ruuhkaisessa tai kohinaisessa siirrosta pitkät paketit ovat vaarassa korruptoitua. Tämä menetelmä vähentää tarvetta lähettää uudelleen pitkiä

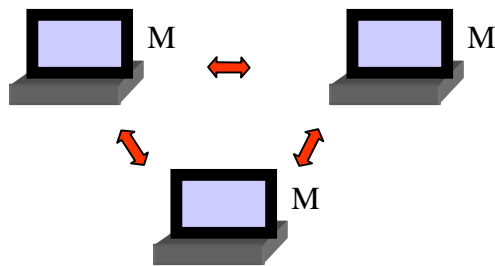
paketteja ja lisää verkon tiedonsiirtokykyä. MAC-kerros muodostaa paketit uudelleen vastaanottopäässä.

Kun kaksi verkon laitetta keskustelee keskenään, niin vastaanottaja vastaa ACK-paketilla, jos data on vastaanotettu oikein. Kun tukiasema lähettää sanoman koko verkolle päätelaitteitten ei tarvitse lähettää ACK-sanomia takaisin.

2.3. Kanavien varaaminen

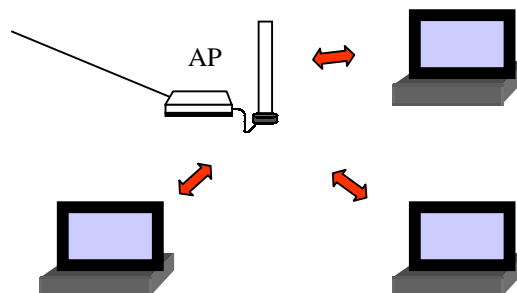
IEEE 802.11 perustuu solukkoarkkitehtuuriin, jossa järjestelmä on jaettu into soluihin. Yksi tukiasema valvoo jokaista solua. On olemassa kolme erilaista 802.11 WLANiin määriteltyä solukkoarkkitehtuuria: ad-hoc ja kaksi infrastruktuuriverkkoa.

Ad-hoc –arkkitehtuurissa ei ole tukiasemia (kuva 2.10). Päätelaite kommunikoivat suoraan toistensa kanssa radioyhteydellä. Tämä mahdollistaa esimerkiksi ryhmätyön sovelluksineen, mutta ei sisällä liittymää langalliseen lähiverkkoon ja sitä kautta esimerkiksi Internetiin.

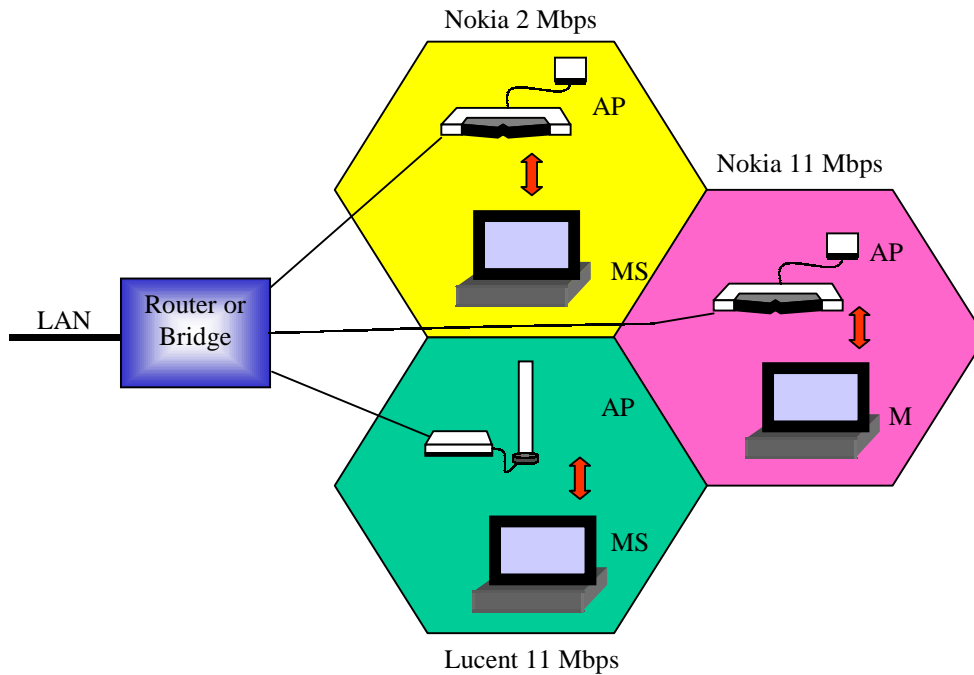


Kuva 2.10 Ad-hoc -verkko

Infrastruktuuriverkossa on ainakin yksi tukiasema, joka on yhdistetty LANiin ja ja joukko langattomia päätelaitteita. Tätä kutsutaan termillä Basic Service Set (BSS), peruspalvelu (kuva 2.10). Extended Service Set (ESS), laajennettu palvelu on järjestelmä, jossa kaksi tai useampi BSS muodostaa aliverkkoja (kuva 2.11). Useimmiten yhteys kiinteään lähiverkkoon on tarpeellinen, ja WLAN-asennukset ovat infrastruktuurityyppisiä. Runkoverkko voi olla myös. Koko yhteenliitetty WLAN soluineen ja tukiasemineen nähdään yhtenä 802-verkkona ylemmille kerroksille OSI-mallissa. Käytännössä kaikki vähänkin suuremmat WLAN-asennukset ovat ESS-tyyppisiä. Maksimissaan 254 langatonta päätelaitetta voi liittyä yhteen tukiasema jakamaan samaa taajuuskaistaa. Käytännössä maksimissaan yhtäaikaista käyttäjiä suositellaan olevan tukiasemakohtaisesti 20-60 kappaletta.



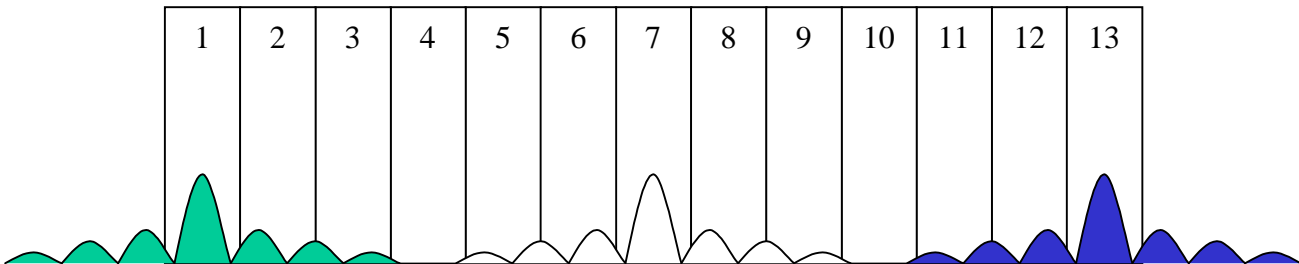
Kuva 2.11 Infrastruktuuriverkko, BSS



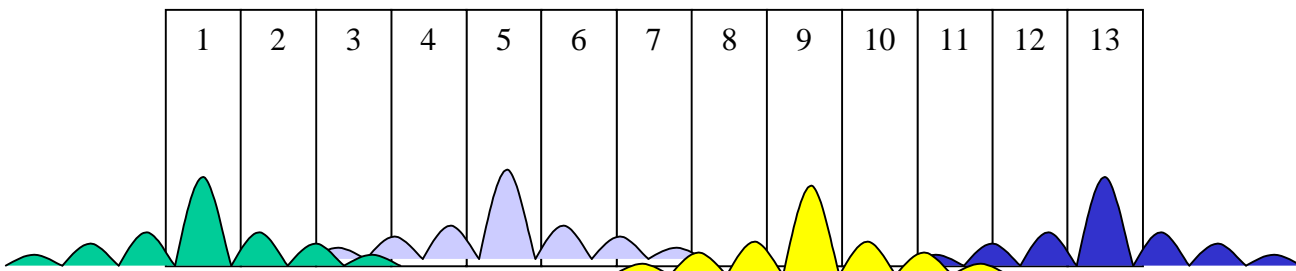
Kuva 2.12 Monen valmistajan infrastruktuuriverkko, ESS

2.3.1. Kanavat

WLANin kanavat on numeroitu 1-13. Harmittavasti kanavien taajuuudet ovat osittain päällekkäiset. Suurimmassa osassa Eurooppaa kaikki 13 kanava on sallittu. Kanavat 1, 7 ja 13 ovat varmasti eri taajuuksilla (kuva 2.13). Jos käytetään kanavia 1, 5, 9 ja 13, niin niiden spektrit menevät vain vähän päällekkäin (kuva 2.14). Kohinana esiintyvän häiriön määrä on kuitenkin pienempi kuin saavutettavien etujen määrä, kun on saatu yksi lisäkanava.



Kuva 2.13 Spectrin periaatekuva, kanavat 1, 7 ja 13



Kuva 2.14 Spektrin periaatekuva, kanavat 1, 5, 9 ja 13

2.3.2. Kanavat ad-hoc- ja BBS-verkoissa

Eristetylle ad-hoc-verkko ei ole tarvetta määritellä erikseen jotakin tietyn numeroista kanavaa. Kaikki päätelaitteet kuuntelevat kaikkea liikennettä. Samoin peruspalvelun verkoissa voidaan valita mikä tahansa kanava, jos ei ole muita tukiasemia lähellä. Eli vaikkapa tukiaseman valmistajakohtaista oletuskanavaa voidaan käyttää. Mikäli lähistöllä on muitten WLAN-verkkoja, niin kanavanumerointiin pitää kiinnittää huomiota.

Päätelaitteessa ei yleensä ole tarvetta asettaa kanavaa joksikin tietyksi. Se voidaan asettaa, mutta harvoin siitä on etua. Käytettyjä kanavia konfiguroidaankin yleensä vain laajennetun palvelun verkoissa tukiasemakohtaisiksi.

2.3.3. Kanavat GSM:ssä ja laajennetun palvelun infrastruktuuriverkoissa (ESS)

Olosuhteet tai ongelmat laajennetun palvelun verkoissa ovat samankaltaiset kuin muissakin solukoverkoissa. Kanava(t) pitää valita kullekin tukiasemalle. Tukiaseman taajuuskaista ei saa olla päällekkäinen lähistön muitten tukiasemien taajuuskaistojen kanssa.

WLANissa ja GSM:ssä on sekä samankaltaisia että eroavia piirteitä kanavien suunnittelussa. GSM:ssä kaikki kanavat ovat erossa toisistaan, WLANissa ne ovat osittain päällekkäin. GSM:ssä pitäisi olla aina ainakin kaksi solua eri kanavilla kahden saman taajuuskaistan välillä, jotta vaihtaminen tukiasemasta toiseen toimisi. WLAN:issa vierekkäisten tukiasemien pitää käyttää kanavia, jotka ovat riittävän erossa toisistaan [LM]. Sama taajuuskaista käytetään toistuvasti kunhan käyttöpaikat ovat tarpeeksi kaukana toisistaan.

2.3.4. Tiedonsiirtonopeus vs. etäisyys

Etäisyys, jonka yli RF-aallot voivat mennä, on tulos tuotesuunnittelusta, johon kuuluu lähetin- ja vastaanotintehojen suunnittelu FCC:n määräysten mukaisesti, ja siirtoyhteydestä erityisesti sisätiloissa. Monet asiat rakennuksissa kuten seinät, palkit, metalli ja jopa ihmiset voivat vaikuttaa siirretyn tehon määrään ja siten vaikuttaa järjestelmän kattavuuteen. Tavallisesti WLANeissa etäisyys on 30-100 m.

Lyhyestä etäisyydestä johtuen signaali kohtaa vain vähän interferenssiä ja vääristymiä ympäristöstä. Näin virheentarkastuksen tarve pienenee. Käyttäjät ovat myös usein paikallaan tai liikkuvat kävelyvauhtia, kun taas laajemmissa verkoissa saatetaan liikkua suurella nopeudella, jolloin signaalin on mahdollista vääristyä ns. Rayleigh:n häipymisenä. Lyhyt etäisyys tuottaa myös paremman signaali-kohinasuhteen. Kaikki nämä tekijät yhdessä mahdollistavat suuren siirtonopeuden.

Nimellinen tiedonsiirtonopeus langattomaan päätelaiteeseen on 11 Mbps. Käytännössä tehollinen määrä on 6-7 Mbps. Jos tukiasemaan on yhteydessä vain yksi päätelaite se saa käyttää kaiken kapasiteetin. Muussa tapauksessa kapasiteetti jakautuu kaikkien päätelaitteiden kesken.

Suuntaavilla antenneilla mahdollistetaan WLAN point-to-point -tyyppiset lähiverkkojen väliset sillat. Tällainen yhteys voi toimia esimerkiksi tien kahta puolta olevien toimistojen välillä ja tarvitsee yleensä näköyhteyden toimiakseen.

2.4. Turvallisuus WLANissa

Turvallisuus on tärkeää WLANissa kuten muissakin verkoissa. WLAN-standardit määrittelevät vain kaksi alinta OSI-pinon kerrosta, joten ylemmissä kerroksissa voidaan soveltaa kiinteän lähiverkon turvallisuusmenetelmiä. Kaksi päähuolenaihetta langattomissa lähiverkoissa ovat käyttäjien oma turvallisuus ja asiaankuulumattomien vieraiden pitäminen poissa omasta verkosta [30]. Turvallisuusnäkökohdista katsoen WLAN ei kata sisäänkäynnin tunnistusta, päästä päähän salausta, salasanasuojausta, autentikointia, virtuaalisia verkkoja (VPN) ja palomureja. Muita järjestelmiä tarvitaan niitä varten etenkin, kun WLANin käyttäjien salauksen kryptaus on pystytty murttamaan.

2.4.1. Autentikointi WLANissa

WLANissa on kaksi autentikointimetodia: avoin järjestelmän (Open System Authentication) ja jaetun avaimen (Shared Key Authentication) autentikointi [30]. Avoimessa järjestelmän autentikoinnissa oikeastaan ei tapahdu mitään varsinaista autentikointia, sillä kaikki yhteyttä yrittävät päätelaitteet pääsevät verkkoon.

Jaetun avaimen autentikointi perustuu jaettuihin avaimiin, joita tukiasema kysyy autentikoinnissa. Ne lähetetään kryptattuina 128 oktetin satunnaislukuina. Päätelaite lähettää sen takaisin tekstimuotoisena. Jos tukiasema hyväksyy tekstin päätelaite pääsee verkkoon. Jaetun avaimen autentikoinnissa verkon käyttöä voidaan rajoittaa laitetasolla, mutta varsinaista käyttäjää sillä ei pystytä tunnistamaan. Jaetut avaimet pitää viestittää tukiasemille erillistä turvallista kanavaa pitkin.

Autentikoinnissa voidaan käyttää myös MAC-osoitteita, jotka ovat verkkokorteilla [10]. Näiden osoitteiden käyttäminen verkossa, jossa on paljon käyttäjiä ja vierailijoita tarkoittaa paljon ajantarvetta helpdesk-henkilökunnan taholta. Vaikka MAC-osoite on verkkokortin kiinteä osoite, niin WLAN-korteissa niitä pystyy muuttamaan konfiguraatitiedoista. Tästä huolimatta annettu suojaus on varsin hyvä, sillä sallittua MAC-osoitetta on vaikea arvata.

2.4.2. Verkon nimi

WLAN-tukiasemilla on verkon nimi. Tämä merkkijono on konfiguroitu tukiasemiin. Oletusarvoisesti Lucentin asemissa se on "WaveLAN Network" ja Nokian "WLAN Network". Tämä verkon nimi voi sisältää merkkejä a-z, A-Z, ja 0-9. WLAN-standardi mahdollistaa mihin tahansa verkkoon pääsyn verkon nimellä "ANY". Tämä onkin suuri uhka muuten suojaamattomissa verkoissa. Asennusvaiheessa se mahdollistaa nopean käyntiinlähden, mutta pitkäaikaisesti käytettynä on vaarallista.

2.4.3. WLANin kryptaus

Turvallisuusmekanismi Wired Equivalent Privacy (WEP) on määritelty käyttämään RSA:n algoritmia, joka käyttää RC4-kryptausta. WEP-algoritmi tekee XOR-operaation tekstin ja 64-bittisen koodin välillä satunnaislukugeneraattorilla. Generaattorin siemenluku on 40- tai 128-bittinen. Siemenluku ja 24-bittinen initialisointivektori lähetetään jokaisessa MAC-protokollan paketissa (MPDU)¹. Näin vastaanottava pää voi purkaa salauksen. Jokaisen paketin tarkistussummalla tarkastetaan, että tiedot eivät ole muuttuneet matkalla. WEP salaa vain datan datapaketista, mutta ei fyysisen kerroksen otsaketta. Muut verkkoelementit

¹ Tässä kohdin eri valmistajien tulkinta eroaa, sillä 128-bittinen salausta ei ole standardoitu. Esimerkiksi Lucentin tukiasemissa 128 bittiä lasketaan 104 + 24 bittiä ja Nokian 128 + 24 bittiä.

voivat kuunnella verkonhallinnassa tarvittavaa ohjaustietoa, mutta eivät pysty purkamaan kryptausta.

Kun päätelaite yrittää yhteyttä tukiasemaan AP lähettää sille challenge-arvon. Tämän saatuaan päätelaite käyttää jaettua avainta purkaakseen challengeen ja lähettää sen takaisin tarkistusta varten. Näin WEP-salaus tuo uudenlaisia kehyksiä verkkoon. WEP-salauksen käyttö voidaan määritellä tukiasemakohtaisesti.

Periaatteessa RSA:n RC4 on hyvä algoritmi, mutta valitettavasti siemenlukujen generointi on algoritmin ongelma. Kuuntelemalla liikennettä jonkin aikaa käytetyt avaimet pystytään hyvin lyhyessä ajassa selvittämään. Tähän on olemassa kuitenkin tilanteen korjaavia ohjelmistoja. Yksistään IEEE 802.11:n standardit eivät tarjoa tarpeeksi suojausta, vaikka WEP toimisikin kunnolla.

2.4.4. Muut WLANiin liittyvät turvallisuusmekanismit

On jokseenkin helppoa liittää langaton päätelaite suojaamattomaan langattomaan lähiverkkoon [30]. Kun käytetään DHCP-palvelimia ja päätelaite käyttää verkon nimeä "ANY", niin verkkoon suojaamattomaan verkkoon pääsee [LUCENT MANUAL]. MAC-osoitteet ovat pitkiä ja hankalasti hallittavia. IP-osoitteet ovat helpompia. Verkkotason suojaus tarvitsee virtuaaliverkon rakentamisen (Virtual Private Network, VPN), jotta kutsumattomilta vierailta vältytään.

Palomuurit suojaavat verkkoa ulkopuolisilta, jotka yrittävät tunkeutua langallista verkkoa myöten. Vaikka ulkopuoliset ovatkin uhka, niin suurempi uhka on kuitenkin talon sisällä omissa työntekijöissä ja heidän tavoissaan käyttää verkkoa. Siksi turvallisuuteen pitää kiinnittää huomiota sekä talon sisällä että pääsyssä sisälle.

Salanasuojausta tarvitaan langattoman verkon laitteissa. Verkojärjestelmät ja -palvelimet, kuten Novell NetWare ja Microsoft Network, tarjoavat turvallisuustasoja sisältäen salasanahallinnan. Salasanat pitää olla tiukassa kontrollissa, ja ne on vaihdettava säännöllisesti. Koska langattomassa LANissa voi vierailta käyttäjiä, jotka liikkuvat paikasta toiseen, tiukka salanakuri lisää turvallisuutta. Tämä auttaa varmistamaan, että vain sallitut henkilöt käyttävät langatonta päätelaitetta.

2.5. WLANin standardointi

Määrittelytyö standardia IEEE 802.11 [1] varten alkoi 1990 ja päättyi 1997 Institute of Electrical ja Electronic Engineeringissä (IEEE). IEEE on kuuluisa standardeistaan 802.3 Ethernet, 802.5 Token Ring ja 802.3z Fast Ethernet [13]. Kenenkään ei tarvitse ostaa radio-operaattorin lisenssiä käyttääkseen taajuuskaista 2,4-2,483 GHz, joka on WLANin käyttämä ISM-kaista.

WLAN-standardit ovat IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, ... viimeisen kirjaimen kertoessa IEEE:n työryhmän nimen. Alkuperäinen 802.11 WLAN-standardi sisälsi tiedonsiirtonopeudet 1 Mbps ja 2 Mbps sekä kolme fyysisen tason menetelmää suorasekvenssi (DSSS), taajuushyppely (FHSS) ja infrapuna. Lisäksi siinä määriteltiin verkkotyypit ad-hoc ja infrastruktuuri. Tiedonsiirtonopeus 2 Mbps oli liian pieni verrattuna langallisen LANin tiedonsiirtonopeuteen.

IEEE reagoi tarpeeseen määrittelemällä suuremman siirtonopeuden multimediapalveluita silmällä pitäen. Syyskuussa 1999 IEEE 802.11b "High rate"-lisäys hyväksyttiin. Siinä

määriteltiin tiedonsiirtonopeudet 5,5 ja 11 Mbps ja parempi yhteyden laatu. Suurempaa tiedonsiirtonopeutta varten valittiin suorasekvenssi. 802.11b-järjestelmät toimivat 1 ja 2 Mbps 802.11 DSSS-järjestelmien kanssa. Koodaustekniikka Complementary Code Avaining (CCK) kehitettiin 802.11b:hen nopeuden lisäämiseksi. Standardi 802.11g lisää nopeuden 20 Mbit/s 802.11b-verkkoihin [3,5].

Potentiaalinen uhka WLANille voidaan nähdä Bluetoothissa, joka käyttää samaa taajuuskaistaa 2,4 GHz. Uhkien poistamiseksi täytyy tehdä standardointityötä, minkä seurauksena IEEE 802.11a [2] toimii 5 GHz:n kaistalla. Tiedonsiirtonopeus on jopa 54 Mbps. Käytettäviä kanavia on kahdeksan. Kaupan hyllyltä ei vielä löydy toimivia laitteita. Lähetystehoa nostettiin 802.11b:hen verrattuna, mikä tarkoittaa, että näköyhteys ei ole enää niin tärkeä vaatimus. Samoin vaikeudet Bluetoothin kanssa ovat historiaa näillä järjestelmillä.

Työryhmät e ja i kehittävät WLANin turvallisuusominaisuuksia. Heidän kehittämisenä pyrkii vastaamaan haasteeseen, jonka WEP-salauksen rikkojat saivat aikaan [63].

Laitetoimittajat keskusteleval standardien ulkopuolisista asioista foorumissa nimeltä Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). WECA:n tarkoitus on varmistaa kaikkien valmistajien laitteiden yhteensopivuus sekä tehdä standardi tunnetuksi työpaikoilla ja kodeissa. Yksi sovittava asia on roaming, jota myös IEEE:n työryhmä f standardoi [3,5]. WECAan kuuluu puolijohdevalmistajia, WLAN-palveluntarjoajia, tietokone-, laite- ja ohjelmistovalmistajia kuten 3Com, Compaq, IBM, Lucent ja Nokia.

2.6. Tulevaisuuden näkymät

WLANin tulevaisuus riippuu monista asioista, jotka näyttävät erillisille, mutta asiakkaan näkökulmasta saattavatkin olla riippuvaisia toisistaan. Suurin eteenpäin vievä voima on vapaa taajuuskaista, joka mahdollistaa WLANien vapaan rakentamisen.

WLANissa on vähän kanavia. Miten voivat yritykset, laitokset jne. yritysverkkoineen ja kaupunkien operaattorit olla samassa taajuusvaruudessa häiritsemättä toisiaan? Tästä voi tulla harmia paikallisella tasolla. Kaupunkiverkon pitäisi olla tarpeeksi hyvä, jotta siihen voisi liittyä sisätiloissa antennin avulla.

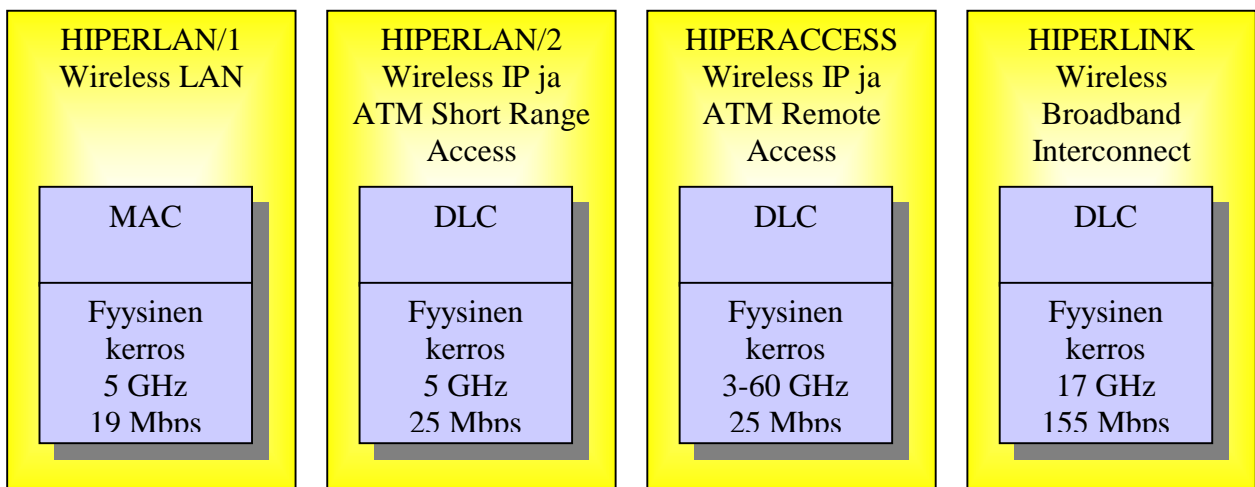
WLAN- ja Bluetooth-laitteet samalla alueella voivat olla hankala yhdistelmä [9] [16]. Mielipiteet vaihtelevat. Toiset sanovat, että Bluetooth täysin pyyhkii WLANin kuulumattomiin [25], toiset taas väittävät, että huolta ei ole [27]. Joka tapauksessa on hyvin todennäköistä, että niitä tullaan näkemään samoissa tiloissa tulevaisuudessa, sillä ne ovat hyvin samanlainen ja toisaalta toisiaan täydentäviä. Jos Bluetooth-laitteet, kuten käsipuhelimet, peittävät WLAN-signaalin, 2,4 GHz WLANia ei voi käytännössä käyttää. On oletettavaa, että sellaisella henkilöllä, jolla on kannettava tietokone WLAN-kortilla varustettuna, on myös käsipuhelin. Ja puhelinta ei suljeta kannettavan tietokoneen käytön ajaksi.

ADSL-yhteydellä varustettuja WLAN-tukiasemia tarjotaan koteihin [31]. Ne voivat toimia hienosti, jos eivät ole liian lähellä toisiaan. Mutta mitä sitten tapahtuu, jos ne ovat liian lähekkäin? Lähellä tarkoittaa esimerkiksi vierekkäisissä kerrostalon asunnoissa vain yhden seinän erottamina. Tämä voi aiheuttaa hankaluuksia myöhemmin sekä kaupunkiverkkojen että naapurien suhteen.

2,4 GHz kaista on hyvin rajallinen. 5 GHz kaista tulee apuun. Tämä tutkimus ei kata 5 GHz standardia, mutta se vaikuttaa oleellisesti monimutkaisemmalle kuin 2,4 GHz standardi [24]. Ericssonilla on tuotteiden prototyypit, jotka lanseerattiin alkuvuodesta 2001. He sanoivat, että niitä täytyy testata vuoteen 2002 varmistaakseen, että ne toimivat. Standardissa vaaditaan esimerkiksi tukiasemilta kykyä valita itsenäisesti oikea taajuuskaista. Kun uusi tukiasema asentaan, niin kaikkien lähitukiasemien pitäisi sopeutua tilanteeseen, mikä kuulostaa potentiaaliselle riskille. Uusia käyttöalueita tuovat HIPERLANit (kuva x.x), joilla ETSI standardoi jatkokehitystä nykyisille WLANeille. Nopeudet ja taajuusalueet kasvavat.

WLANin mobiliteetti eroaa käsipuhelimien käyttäjien mobiliteetista. WLAN-laitteita voi siirrellä, mutta ei juuri kävelynpeutta vauhdikkaammin ilman ongelmia. Auton nopeus on WLANille liian suuri yhteyden ylläpitämisessä. Ericsson ja Telenor ovat kehittelemässä yhdistettyä UMTS-WLAN-järjestelmää, joka mahdollistaisi kummankin yhteiskäytön [26]. Monikaista/multitekniologiajärjestelmät verkoissa ja päätelaitteissa yleistyvät tulevaisuudessa.

Loppujen lopuksi on vaikea sanoa onko WLAN-operaattorius tuottoisaa vai ei. WLAN-laitteiden valmistaminen on sellaista, onhan monta laitevalmistajaa, mutta jos WLAN ja Bluetooth eivät mahdu saman katon alle, niin kumpi voittaa? WLAN-verkkokortti voidaan asentaa muunkinlaisiin laitteisiin kuin vain tietokoneisiin, mutta näin on myös Bluetoothin kanssa.



Kuva x.x HIPERLAN-standardit

3. WLAN-laitteet

Tyypillisimmät WLAN-laitteet ovat tukiasemat (access point, AP) ja PC-verkkokortit langattomille päätelaitteille. Tukiasemat ovat kirjan kokoisia laitteita, jotka toimivat yksinään tavallisesti yksikseen ilman huoltotarvetta. Niillä on langaton rajapinta päätelaitteisiin ja langallinen rajapinta LANiin. PC-verkkokortit sisältävät integroidun antennin. Myös signaalia vahvistavia erilaisia lisäantenneja on saatavilla.

Kiinteitä tietokoneita varten on olemassa PCI-adaptoreja, joihin voidaan PC-verkkokortit asentaa (kuva 3.5). Kädessä kannettaviin esimerkiksi varastoissa käytettäviin päätelaitteisiin voidaan asentaa integroidut vastaanottimet. Myös oheislaitteet, kuten kirjoittimet, voivat toimia langattomasti.

IEEE 802.11-laitteita valmistaa moni valmistaja. Lisäksi laitteita myydään OEM-tuotteina, kuten esimerkiksi Dell myy Lucentin laitteita, joissa on Dellin tarra päällä. Toimittaja saattaa myös itse rakentaa kuoret OEM-laitteeseen, jolloin suoraan ulkonäöstä ei voida päätellä laitteen todellista valmistajaa. Vertailu [1] listaa kahdeksan, [1,5] viisi ja [2] 17 Suomen markkinoilla olevaa toimittajaa. Vertailujen mukaan laitteet ovat varsin hyvin yhteensopivia. Nopeustestien mukaan valtaosa laitteista on saman tasoisia, varsinaista huippua ei ole. Sen sijaan pieni osa tuotteista (5 toimittajaa) on selvästi valtavirtaa hitaampia. Yleinen tulos testauksesta on, että ilman salausta laitteet pystyvät vähän yli 5 Mbit/s nopeuteen ja WEP 40 -salauksella 4-5 Mbit/s. Vain Nokian A032-tukiasema näyttää olevan yhtä nopea salauksella ja ilman salausta. Taulukossa x.x on vedetty yhteen näiden kolmen testin tulokset.

Testit on tehty eri menetelmin. Yhteistä niille on se, että on yksi tukiasema vastaan yksi päätelaite. Muuten menetelmät erosivat. [1]:ssä ei kerrota varsinaista mittausmenetelmää, kun taas [1,5]:ssä testattiin ftp-siirrolla. [2]:ssä käytettiin Ziff-Davis NetBench 6.0 – testiohjelmia ja verkkoliikennettä generoitiin DiskMix-testillä. Testeissä kiinnitettiin myös huomiota siihen, että eri tukiasemilla oli erilainen kattavuus. Tästä saatuja tietoja ei kuitenkaan voida yhteismitallistaa taulukkoon.

Testien perusteella valittiin Lucentin ja Nokian laitteet koulutuksen laitealustaksi. Kumpikin oli toimituksen valinta kahdessa (Nokia) tai kolmessa (Lucent) testissä. Lisäksi testien perusteella muut ominaisuudet, kuten hyvin erilaiset, mutta hyviksi kehitet hallintaratkaisut johtivat tähän valintaan. Näin opiskelijat tutustuvat monipuolisesti langattoman lähiverkkon laitteisiin.

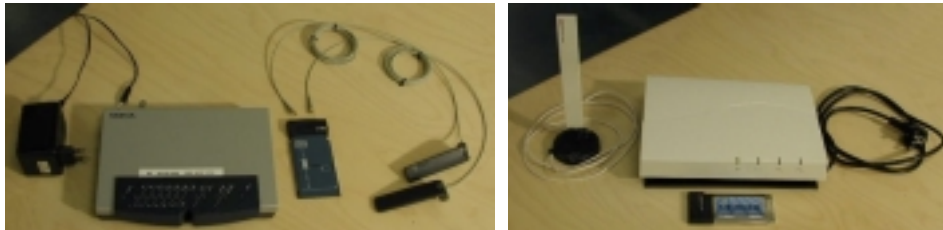
Valmistaja ja tukiasema	OEM jos tiedossa	Tukiaseman ja kortin hinta marraskuu 1999	Tukiaseman ja kortin hinta maaliskuu 2001	Mitattu nopeus marraskuu 1999 salaamaton Mbit/s / 2Mbit/s	Mitattu nopeus syyskuu 2000 salaamaton Mbit/s (*)	Mitattu nopeus maaliskuu 2001 salaamaton Mbit/s	Mitattu nopeus maaliskuu 2001 WEP-40 Mbit/s
3Com AirConnect	Intersii Prism		7990 1490-1890		4,0	3,91	4,60
BreezeCOM BreezeNet Pro.11		13770 5460		1,45			
Buffalo AirStation			2480 1240			2,77	3,11
Cabletron / Enterasys RoamAbout 2000	Lucent	7500 2100	6655 1690-2105	1,35		4,29	4,95
Cisco Aironet PC3500		14042 3700	1890	1,15			
Cisco Aironet 341			8380		5,1	4,12	4,25
Compaq WL400	Intersii Prism		7590 1590-1790			3,28	4,47
D-link DW1000AP	Intersii Prism		3990 1490-1890			4,81	5,21
Elsa Lancom IL-11	Lucent		3950 1890			4,01	5,17
IBM WavePoint-II	Lucent		8490 1520			4,27	5,09
Intel 2011	Symbol		6995 1495			4,31	4,65
Intermec 2101			11590			4,37	5,16
Intermec 2102			6990			4,19	5,09
Orinoco AP500	Lucent		6550 1350-1560			2,20	2,31
Orinoco AP1000	Lucent	10800 2100	7250 1350	1,45	5,1	4,34	5,33
Orinoco RG-1000	Lucent		4150 (9/2000)		4,1		
No Wires Needed			7400 (9/2000) 1850		4,9		
Nokia A032		9919 2257	7930 1695			4,92	4,99
Nortel Networks BayStack 660		7900 2500		1,2			
SMC 2652W	Intersii Prism		4290 1990			1,68	3,79
Siemens I-Gate 11M	Intersii Prism		5800 1600			2,79	4,68
Symbol Spectrum 24 4121		8555 2260	8300 1655	1,15		4,45	5,12

(*) tulkittu pylväsdiagrammista

Taulukko x.x Tukiasemien vertailutaulukko

3.1. Tukiasemat yleisesti

Tukiasema (kuva 3.1) toimii siltana langattoman ja langallisen lähiverkon välissä. Koko ajan laitteet pienenevät. Näin WLAN-laitteet seuraavat tavallisia trendejä elektroniikassa. Uudet tukiasemat Lucent/Orinocolta ja Nokialta ovat kuvassa 3.2. Ne ovat vain hieman verkkokortteja isompia.

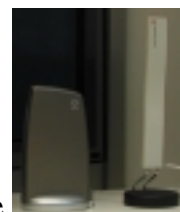


Kuva 3.1 Nokia ja Lucent 11 Mbit/s tukiasemat, niiden verkkokortit ja antennit

Orinoco AP-500



Orinoco RG-1000 antennista vasemmalle



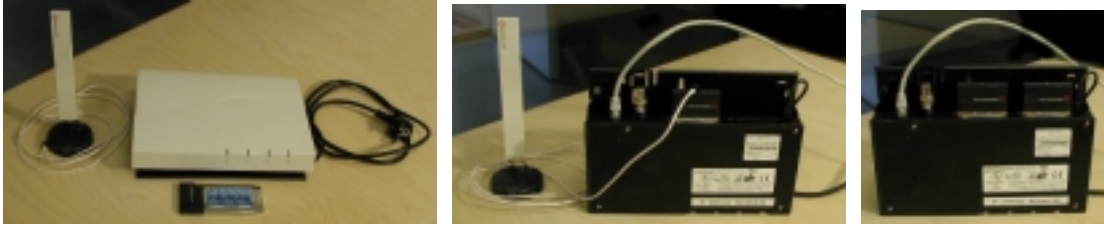
Nokia A040



Kuva 3.2. tukiasemat vuonna 2001

3.2. Lucent/Orinocon tukiasemat

Lucentin tukiasemat voidaan varustaa yhdellä tai kahdella 11 Mbit/s verkkokortilla, jolloin saadaan 22 Mbit/s:n nimellinen siirtonopeus (kuva 3.3). Tässä tapauksessa samassa laitteessa on kaksi kappaletta 11 Mbit/s tukiasemaa, joilla on omat IP-osoitteet ja konfiguraatiot.



Kuva 3.3 Lucentin (Orinoco) tukiasemat ilman kantta ja kannen kanssa

Lucentin tukiasemia hallitaan valmistajan omalla SNMP-perusteisella ohjelmistolla. Tämä ohjelmisto kirjoitettiin suureksi osaksi uusiksi, kun tuotenimi vaihdettiin WaveLANista Orinocoksi. Managerilla pystyy konfiguroimaan kaikkia SNMP:n MIBiin talletettuja tietoja.

3.3. Nokian tukiasemat

Nokian tukiasema kantta ei voi avata. Peruskonfiguraatiomahdollisuudet olivat tiedonsiirtonopeudet 2 ja 11 Mbit/s. Jos tukiaseman ohjelmisto on päivitetty 11 Mbit/s:iin, niin 2 Mbit/s kortteja ei voi enää käyttää. PC-verkkokortti on erilainen eri nopeuksille ja antenneille.



Kuva 3.4 Nokian tukiasemat 2 ja 11 Mbit/s

Nokian tukiasemia hallitaan web-selaimella tai sarjakaapelin kautta. Web-rajapinta on kuin tavallinen sivusto. Sarjaportin kautta yhteys muistuttaa UNIX- tai MS/DOS-komentotulkkia, tai ehkä loogisessa toiminnassaan aputekstien osalta DX 200-puhelinkeskuksen komentotulkkia.

3.4. Langattomat päätelaitteet

Langaton päätelaite voi olla kannettava tietokoneet, PDA, kirjoitin tai kiinteä tietokone, jolla on liitetty langattomasi verkkoon. Joitakin erilaisia WLAN-päätelaitteet on kuvassa 3.5. LAN-yhteyden lisäksi päätelaitteet saattavat pystyä IP-puheluihin [14].



Kuva 3.5 WLAN-laitteita

Lucentin tukiaseman verkkokortit ovat samoja kuin kannettavien tietokoneiden. Nokian tukiasemissa on eri verkkokortit kuin kannettavissa tietokoneissa. Kuvassa 3.6 on esimerkkinä kolme erilaista kannettavan tietokoneen verkkokorttia. Keskimmäinen on vanha Lucentin version, vasemmalla on uudempi Orinoco (entinen Lucent) ja Nokian kortin ulkonäkö ei muuttunut tutkimuksen kestäessä. Verkkokortteja voidaan säilyttää tukevissa läpinäkyvissä muovisuojissa. Fyysisesti Lucentin kortit ovat samanlaisia, mutta alun perin ne sisälsivät eri ohjelmistoversiot. Vanhemman kortin saattoi voida päivittää uudemmalla ohjelmistolla.



Kuva 3.6 Verkkokortit kannettaville tietokoneille:

Lucent (Orinoco, WaveLAN) ja Nokia

4. WLAN-suunnittelu

WLAN-verkon suunnittelu sisältää monia asioita. Ensisijaisesti pitää määritellä tavoite: kattavuus tai kapasiteetti. Perusidealtaan tukiasemien sijoituksessa nämä kaksi eroavat toisistaan. Jos kattavuus on tavoitteena pitää jokaisen tukiaseman kattaa niin laaja alue kuin mahdollista, kapasiteettia haettaessa niiden pitää kattaa niin pieni alue kuin mahdollista, jotta ne voisivat olla mahdollisimman lähekkäin tai alueiden pitää olla päällekkäin.

Tyypillinen toimisto- tai koulurakennus koostuu huoneista ja käytävistä. Toiset seinät ovat tiiltä, toiset kipsilevyä. Ne läpäisevät radiosignaalia eri tavoin [35]. Eri materiaalit myös heijastavat signaalia eri tavoin erityisesti käytävissä. Radiosignaali läpäisee myös lattiaita.

4.1. Kattavuuden suunnittelu

Kattavuuden suunnittelussa jokaisen tukiaseman pitäisi kattaa niin suuri alue kuin mahdollista kaikissa suunnissa. Tavallisin paikka tukiasemalle on silloin käytävässä. Radiosignaali menee seinien läpi läheisiin huoneisiin.

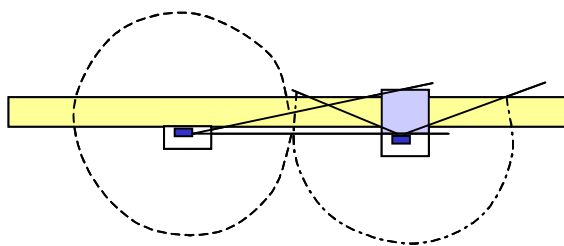
Tässä hankaluutena on kanavien asettaminen sopivasti, sillä käytössähän on vain neljä kanavaa. Samalla alueella voi kuulua vain neljän tukiaseman kanavat. Jos käytävä on pitkä voidaan tarvita enemmän kuin neljä tukiasemaa. Tällöin pitää olla varovainen, että tukiasemien kattavuudet eivät mene väärällä tavalla päällekkäin. Tällöin onkin mahdollista asentaa yksi tai useampi tukiasema huoneisiin päällekkäisyyksien välttämiseksi.

Jos kattavuus ei ole toimistoissa edellä mainituin ohjein riittävän hyvä, niin tukiasema voidaan asentaa ulos 5-10 m talosta ulospäin. Ikkuna läpäisee hyvin radiosignaalia, joten kuuluvuuden pitäisi olla hyvä kaikissa läheisissä huoneissa.

4.2. Suunnittelu suurta kapasiteettia varten

WLAN-tukiaseman kapasiteetti on rajallinen. Käytännöllinen maksimisiirtonopeus on n. 5 Mbit/s 11 Mbit/s:n tukiasemalle. Tavallisessa toimistosovellusten käytössä ja internetin selailussa ²sen pitäisi olla tarpeeksi 20-60 tietokoneelle. Perusidea on sijoittaa tukiasemat niin lähelle toisiaan kuin mahdollista. Ne asennetaan huoneisiin. Teräsbetonipilarit voivat rajoittaa signaalia hyvin johonkin suuntaan, mikäli tukiasema asennetaan pilariin kiinni. Tällöin signaali tulee käytävään seinän läpi, kuva 4.1.

² On huomattava, että mikäli toimistosta Internettiin päin oleva linja on pienempi kapasiteetiltään kuin WLAN, niin WLAN ei ole pullonkaula.



Kuva 4.1 Signaalin suuntakuvi, mikäli tukiaseman lähellä on teräsbetonipilari

Signaali heikkenee mennessään seinien läpi ja etäisyyden funktiona. Tukiasemat voivat sijaita esimerkiksi ulkoseinillä, sisäkatossa vaakapalkkien välissä tai huoneitten välisellä seinällä, jolloin signaali varmastikin kuuluu toiseen huoneeseen. Yleensä signaali läpäisee vähintään yhden seinän ja yhden lattian/katon.

4.3. Rakennusten välinen WLAN

Rakennusten väliin on mahdollista tehdä langaton lähiverkko WLAN-laitteilla [36]. Suuntaavat antennit osoitetaan rakennuksesta toiseen, kunhan rakennusten välimatka ei ole liian suuri. Antennit kytketään tukiasemiin. Näin ei tarvitse vuokrata tai kaivaa kaapeleita rakennusten väliin. Käytännössä näköyhteys tarvitaan. Käytännössä etäisyys vaihtelee muutamasta sadasta metristä aina kuuteen kilometriin.

4.4. Suunnittelu paikan päällä

Tavoitteen asettamisen ja pohjapiirroksen tutkimisen jälkeen kannattaa suunnittelua jatkaa suoraan rakennuksessa esimerkiksi kahden kannettavan tietokoneen voimin tehdyllä ad-hoc-verkolla mitaten signaalin voimakkuutta ja signaali-kohinasuhdetta jokaisessa huoneessa ja käytävillä [35]. Toisella tietokoneella yritetään löytää optimaalisia tukiasemien paikkoja toisen liikkuessa lähialueen huoneissa. Jos tukiasemia on saatavilla, niin niitä voidaan sijoittaa oletettuihin paikkoihin ja tarpeen vaatiessa liikuttaa. Nämä tukiasemat eivät tarvitse LAN-yhteyttä, mutta ne pitäisi konfiguroida eri kanaville etukäteen. Etukäteen konfigurointi tehdään siksi, että mittauspaiikka ei varmaankaan ole paras mahdollinen paikka konfigurointiin alusta asti. Mittauspaikka saattaa olla esimerkiksi rakennustelineiden vallassa ja pölyinen.

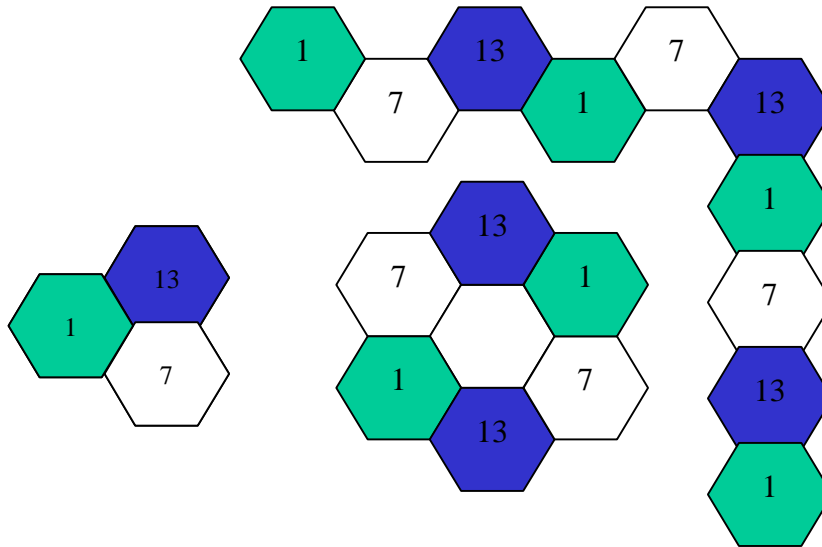
Kun käytössä on useita tukiasemia ja kannettavia tietokoneita analyysin tekeminen on jokseenkin suoraviivaista. Vähillä laitteilla tarvitaan paljon kirjanpitoa rakennuksen pohjapiirrokseen.

Teoreettisesti on mahdollista summittaisesti laskea seinien lukumäärästä signaalin kulkumatka, mutta käytännössä ilman paikanpäällä mittaamista siitä ei saada selvää kuvaa. Vain karkea arvio saadaan, mutta siihen ei voi luottaa.

Wlanbit TriCycle -ohjelmistoa (julkaistu 4/2001) voidaan käyttää mittaamaan häviötä, joka syntyy signaalin kulkiessa seinän läpi [34?]. Ohjelmisto toimii kannettavassa tietokoneessa ja mittaan signaalin na kohinan tasoa, ja tuottaa XML-pohjaisen raportin tuloksista.

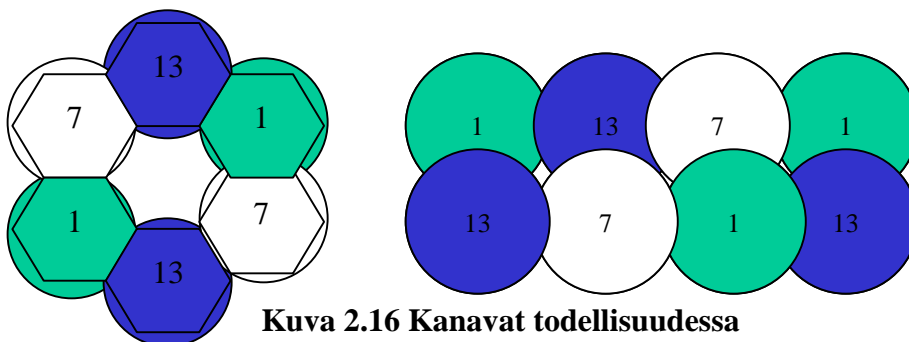
4.5. Kanavien suunnittelu laajassa WLAN-verkossa

Kanavien 1-13 joukosta voidaan siis valita ryhmät 1, 7, 13 ja 1, 5, 9, 13, joita voidaan pitää verkkosuunnittelun pohjana. Jos ryhmän 1, 7 ja 13 kanavat ovat lähellä toisiaan kaksiulotteisessa ympäristössä kuten talon yhdessä kerroksessa tai ulkoilmassa, tukiasemat voidaan asettaa moniin eri malleihin tarpeen mukaan (kuva 2.15). Tukiasemien kattavuusalueet voivat olla osittain päällekkäiset kunhan ne ovat mielellään enemmän kuin parin-kolmen metrin päässä toisistaan.

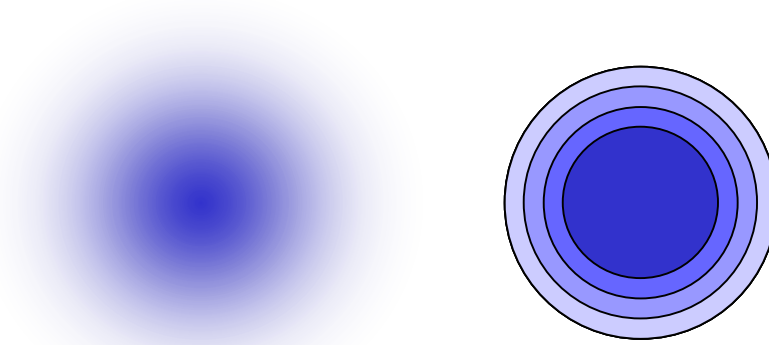


Kuva 2.15 Kanavat 1, 7 ja 13 jonossa, renkaassa ja hunajakennona

Tämä on teoreettinen näkymä perinteisestä hunajakennomallista. Todellisuudessa ilman häiriöitä kuvion enemmänkin kuin kuvassa 2.16. ja tarkemmin ajatellen kuvan ympyröissä ei pitäisi olla mustia reunaviivoja lainkaan. Värien pitäisi vain liukuvasti hävitä reunoilta kun radio kattavuus heikkenee. Mikäli halutaan ajatella eri tiedonsiirtonopeuksia, niin voidaan myös sisäkkäisiä ympyröitä kuvaamaan 11, 5,5, 2 ja 1 Mbps -kattavuus, siten että kuvassa 2.16 keskimääräinen ympyrä kuvaa 11 Mbps.



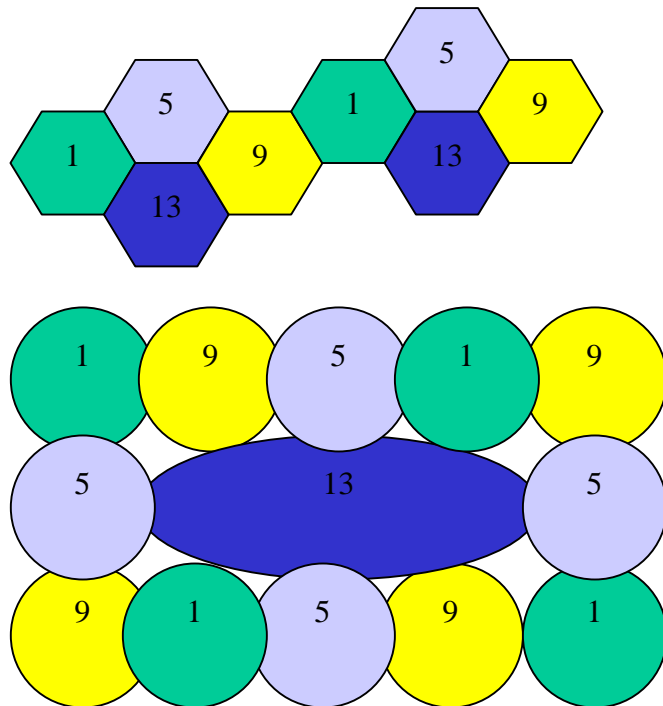
Kuva 2.16 Kanavat todellisuudessa



Kuva 2.17 Luonnollinen radion kattavuus ja käyttäytyminen tiedonsiirtonopeudessa

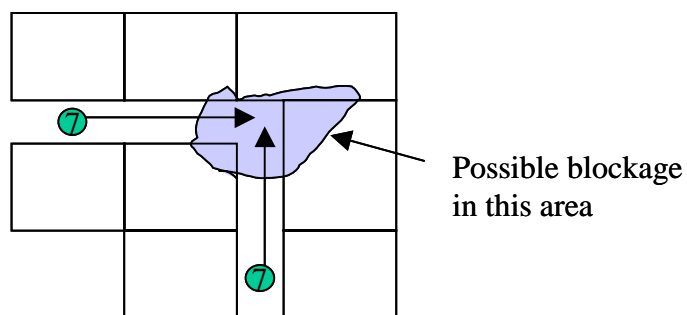
Pieni alue solujen keskellä kuvassa 2.16 on joko todella pieni tai sillä ei ole todellisuudessa merkitystä. Se voi olla käyttämätön tila rakennuksessa kuten varasto tai WC.

Kattamattomien alueiden muoto riippuu hyvin paljon tukiasemien sijoituksesta sekä erilaisista antenneista. Käyttämällä kanavia 1, 5, 9 ja 13 saadaan lisää mahdollisuuksia tukiasemien sijoituskuvioille (kuva 2.18).



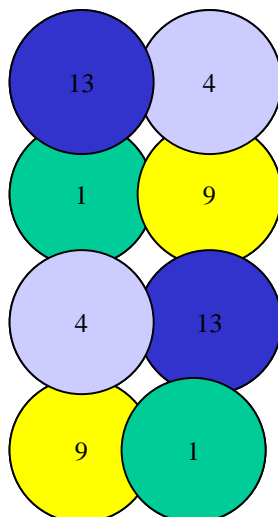
Kuva 2.18 Kaksi käytettyä mallia

Nämä kuviot ovat vain 2-ulotteisia ja teoriaa. Olosuhteet vaihtelevat rakennuksesta toiseen hyvin merkittävästi. Kun yhdessä rakennuksessa signaali läpäisee vain yhden lattian, niin toisessa se voi läpäistä 3-4. Signaali voi kimmota joistakin betonisista käytävän seinistä, lattioista ja katoista pitkiä matkoja, toiset aivan saman näköiset suorastaan imevät signaalia. Erityisesti kuvan 4.2 kaltaiset tilanteet pitää huomioida. Käytännössä tukiasemien paikkojen suunnittelu onkin loppuvaiheessa tehtävä paikan päällä. Usein seinät rajoittavat yksittäisen tukiaseman kuuluvuutta, jolloin merkittäväksi tekijäksi muodostuu läpäistävien seinien lukumäärä, ei etäisyys metreissä.



Kuva 4.2 Väärin konfiguroidut kanavat

Tukiasemat ja kanavat voidaan asettaa kuten kuvassa 4.3. Näin tukiasemat, joilla on sama kanava ovat niin kaukana toisistaan kuin mahdollista. Tämä kuva voisi esittää kapasiteettiorientoitunutta suunnittelua, jossa keskellä on käytävä ja tukiasemat ovat huoneissa.



Kuva 4.3 Tukiasemien ja kanavien periaatteet

4.6. Turvallisuus

Turvallisuusmielessä WLANissa pitää ottaa huomioon tunkeutuminen ja salakuuntelu, fyysinen ja electrical turvallisuus. Ne kaikki pitää huomioida verkon suunnittelun yhteydessä [33].

4.6.1. Tunkeutuminen ja salakuuntelu

Suojauksessa kannattaa käyttää kaikkia WLANin omia menetelmiä. Verkon nimen pitää olla vaikeasti arvattavissa. Verkko pitäisi olla suljettu ”any”-käyttäjiltä. Tukiaseman hallintarajapinta salataan hyvillä salasanoilla, oletussalasanat pitää nopeasti muuttaa. Kaikki liikenne pitäisi kryptata. Kryptausavaimet eivät saisi olla liian helppoja arvata, kuten esimerkiksi koulun nimi. Tarpeesta riippuen tukiasemiin konfiguroidaan listat, joissa on mainittu sallittu MAC-osoitteet (verkkokortin osoite). Nämä MAC-osoitteiden listat pitää olla tukihenkilöillä ajantasalla ja tulostettuina paperille. Tulostus paperille tehdään siksi, että tukihenkilön kiintolevyn rikkoutuminen ei hävitä hankalasti kerättäviä tietoja. Listaa säilytetään lukitussa paikassa. Kaikki muutokset päivitetään listaan esim. tulostamalla se uudestaan. Erityisen tärkeää on listan hallinta ja tukiasemien päivittäminen työntekijän lähtiessä pois yrityksestä. Ja tukiasemien salasanat kannattaa vaihtaa, kun joku help deskistä lähtee.

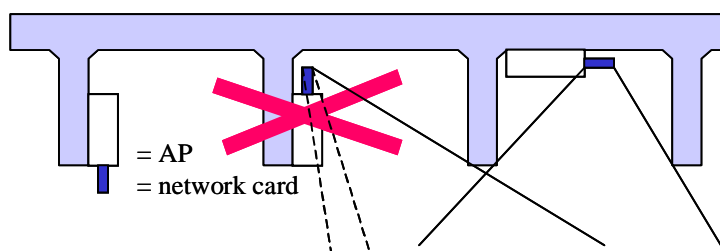
Pelkästään WLANin salausten menetelmät eivät riitä tarvittavaan turvallisuuteen. Käytännössä tarvitaan VPN (Virtual Private Network) takaamaan IP-tasoinen suojaus.

4.6.2. Fyysinen asennus ja suojaus

Tukiasemat pitäisi sijoittaa siten, että kukaan ulkopuolinen ei pääse niihin fyysisesti käsiksi. Paikikkeita ei saa pystyä painelemaan eikä kaapeleita saa pystyä irrottamaan noin

vain. Varsin vähillä tiedoilla jotkut tukiasemat on palautettavissa tehdasasetuksiin, jolloin ne mahdollistavat luvattoman sisäänpääsyn verkkoon.

Tukiasemat kannattaa sijoittaa korkealle seinälle tai kattoon. Tukiasema voidaan asentaa alaslasketun katon yläpuolelle piiloon. Tukiaseman päälle voidaan myös asentaa muovilaatikko. Luonnollisesti turvallisessa ympäristössä tätä ei tarvita. Asentamista vaakasuorien kattopalkkien väliin kannattaa välttää, mikäli se on mahdollista. Kuva 4.4 kuvaa tilannetta, jossa paksu palkki estää kuuluvuutta.



Kuva 4.4 Asennus into ceiling

4.6.3. Sähkö ja salamet

Tukiaseman sähkön pitäisi olla katkeamaton, kuten tietokoneillekin. Tukiaseman käynnistys kestää 20-30 s, jolloin sen liikenne on poikki.

Salaman iskiessä rakennukseen LANissa olevat laitteet voivat olla vaarassa. Tukiasemat saattavat rikkoutua, mutta onneksi niiden sisältämä informaation on varsin pientä. Tämä voi olla harkittua, sillä kovalevyjä sisältävät päätelaitteet ovat näin turvassa.

4.6.4. Tukiaseman LAN-yhteys

Tukiaseman LAN-yhteys voi olla kriittinen. Siinä pitää olla tarpeeksi kapasiteettia reitittimen tai kytkimen päässä. Mikäli tukiasema kytketään liian kiireiseen hubiin, niin liikenne varmasti häiriintyy. Raskas kuorma kuten kovalevyjen peilaaminen saman kytkimen yli voi tukkia tukiaseman liikenteen kokonaan, mikä havaittiin tutkimuksen aikana. LAN-laitteiden pitää pystyä roamaamaan, jolloin ne pitää olla samassa C-avaruudessa. Tämän kaltaiset asiat pitää suunnitella ennen tukiasema-asennusta.

4.7. Muut näkökulmat

4.7.1. Suunnittelu tulevaisuutta varten: kaksikaistainen WLAN

WLAN 2,4 GHz ja Bluetooth tappelevat samasta taajuuskaistasta. On varmaa, että Bluetooth tulee kouluihin ja toimistoihin. Joka tapauksessa WLAN 5 GHz laitteet saapuvat markkinoille jonain päivänä. Samalla, kun asennetaan 2,4 GHz WLAN, voidaan valmistella jo seuraavan sukupolven WLAN-laitteiden asennusta.

Tukiasemat tarvitsevat kiinteän liitännän sekä lähiverkkoon että sähkөөn. Kun nämä asennetaan, niin kannattaa asentaa samalla kaksi kappaletta LAN- ja kaksi sähkörsasiaa. Tyhjäksi jäävät ovat seuraavan sukupolven laitteita varten. Häätötilassa niitä voi käyttää myös verkon hallintaan.

4.7.2. Muut alueen WLAN-verkot

WLANin suosion lisääntyessä kaupunkikohtaiset ja teollisuusaluekohtaiset verkot lisääntyvät. Näitä verkkoja varten ei ole lainsäädäntöä, kuka tahansa voi rakentaa verkon. Voi olla syytä miettiä tulevaisuutta miten näihin verkkoihin suhtaudutaan. Ehkäpä parasta on ensin itse mahdollisimman nopeasti rakentaa verkko ja antaa muitten myöhemmin rakentavien sopeutua tilanteeseen ja jo käytettyihin kanaviin.

4.8. WLANin kustannukset

WLANin kustannukset voidaan jakaa seuraaviin alueisiin, hinnat ovat alkuvuodesta 2001.

Perusinvestoinnit

Tukiasemat maksavat a' 8000-10000 mk. Yksinkertaiset mallit ovat 2600 mk. Hintoja lasketessa on syytä huomata, että Nokian tukiasemien hintoihin kuuluu verkkokortti, Lucentin ei. D-Linkin tuotteessa on mukana palomuri ja kolme porttinen kiinteä hub, hinta x €

Verkkokortit ovat tarvitaan jokaiseen kannettavaan tietokoneeseen, a' 1100-1300 mk. Lisäksi Nokian verkkokortit voidaan varustaa smart cardeilla, jotka maksavat 250 mk kappaleelta.

Sähkö- ja LAN-liittymät pitäisi asentaa. Joskus tarvitaan pitkiä jatkokaapeleita, toisaalla tarvitaan kiinteää asennusta sähkökourujen avulla.

Fyysinen tukiaseman asennus maksaa myös. Asennusaika riippuu tukiaseman sijainnista sekä sähkö- ja LAN-yhteyksistä: 30 min – 1 päivä. Tukiasemat kiinnitetään seiniin tai kattoon tukevilla ruuveilla. Itse tukiasema peruskonfigurointi ottaa 0,5-2 h fyysisen asennuksen jälkeen riippuen esimerkiksi MAC-osoitteiden lukumäärästä.

Kustannukset jatkossa

Yleensä WLAN-laitteet eivät tarvitse jokapäiväistä huoltoa. Kun uusi kannettava tietokone liitetään verkkoon tarvitaan myös muu asennusta ja konfigurointia kuin vain verkkokortin ajurit. Tämä ottaa 0,5 - 1 h riippuen siitä, sisältääkö se tukiaseman konfigoinnin (MAC osoitteet ja/tai VPN) ja kannettavan tietokone asennuksen. Kannettavan tietokoneen poisto verkko 10 min – 0,5 h.

Jos liikenne on liian raskasta se kyllä kuuluu käyttäjiltä. Silloin tarvitaan asiantuntija-apua. Olemassa olevaa verkkoa voidaan konfiguroida uudelleen tai lisätä tukiasemia tai kiinteän verkon kapasiteettia. Vaikka pullonkaula voi olla WLANissa, niin se voi yhtä hyvin olla myös muualla verkossa.

Tukiasemien suorituskykyä voidaan seurata SNMP-hallintajärjestelmällä, jotta voitaisiin ennustaa laitekannan muutokset tai lisäykset verkkoon. Myös valmistajien omia hallintajärjestelmiä voidaan käyttää, mutta ne näyttävät vain yhden tukiaseman tietoja kerrallaan.

Koska WLAN-järjestelmät ovat uusia pitää huomioida, että käyttäjillä voi olla tottumattomuudesta johtuvia ongelmia. Näitten ratkominen vie aikaa. Kun uutta

kannettavaa liitetään verkkoon ehkä kaikki tukiasemat eivät päivitykään MAC-osoitteen osalta aivan saman aikaisesti.

5. WLAN kouluissa

WLANeja tapaa kaikkein varmimmin toimistoissa, sairaaloissa tai kouluissa. Nämä tarjoavat haasteellisen ympäristön WLAN-suunnittelijoille. WLANin saattaa tavata myös ulkona kaupunki- tai lähiverkkona. WLAN voidaan myös asentaa tehtaisiin, myymälöihin ja varastoihin.

Pienet toimistot tarvitsevat vain yhden tukiasema. Liikkuville työntekijöille on helppoa liikkua toimistosta toiseen, sillä kannettava tietokone voi olla koko ajan kiinni internetissä. Jos toimiston internet-yhteys on esimerkiksi 2 Mbps, niin yhden tukiaseman kapasiteetti on paljon sitä suurempi. Mahdolliset pullonkaulat eivät ole silloin ilmatiellä. Jos toimisto muuttaa, niin verkon investoinnit ovat varsin pienet. Uusia sähkökouruja ei tarvitse asentaa. Riittää, kun tuodaan koneet paikalle ja asennetaan tukiasema. Tukiaseman asentaminen vastaa koko verkon asentamista.

Laajat toimistot pitää suunnitella huolellisesti. Voidaan kysyä kuinka monet tietokoneet pitää pitää fyysisessä verkossa ja kenellä pitää olla kannettava tietokone. Kaikki eivät ole halukkaita ottamaan työkoneekseen kannettavaa tietokonetta, koska se voi tarkoittaa kotitöitä. Miten kauas WLAN-verkon pitäisi ulottua? Kaksi toimistoa esimerkiksi tien kahdella puolella voidaan liittää verkoiltaan yhteen WLANin avulla. Suuntaavilla antennilla päästään muutamien kilometrien etäisyyteen.

Kannettavia tietokoneita voidaan käyttää WLANin kanssa sairaaloissa. Lääkärit kuljettavat kannettavia tietokoneita, ei enää sanelukoneita. He kirjaavat muistiinpanonsa suoraan sairaalan palvelimille [47]. Ennen tämä olisi vienyt tuntikausia, kun tiedot olisi purettu sanelukoneilta tietokoneelle. Tämä reaaliaikaisuus on suuri etu koko terveydenhuollon organisaatiolle ja potilaille.

Sairaalat ovat täynnä elektronisia laitteita, jotka ovat herkkiä radiotaajuisille häiriöille, joita muun muassa GSM-puhelimista tulee. GSM-puhelu esimerkiksi saa EKG-analysaattorin tuloksen näyttämään varsin hurjalle. WLAN, kuten aiemmin kuvattu, käyttää matalaenergistä pseudokohinaan piilotettua signaalia, joka ei häiritse sairaalalaitteita.

Kampusverkkoja on monissa suurissa oppilaitoksissa Suomessa ja ulkomailla. Niihin tämä tutkimus ei puutu, sillä ensisijainen tarkoitus on opettaa WLAN-laitteita. Tähän on kuitenkin kerätty tietoa langattoman lähiverkon ja kannettavien tietokoneitten käytöstä kouluissa sekä opettajia että opiskelijoita varten.

5.1. Tietokoneet kouluissa

Kouluissa on paljon tietokoneita. Koulun budjetista suuri määrä menee tietokoneiluokkien ja verkkojen uudistuksiin. Kolmevuotias tietokone, joka yleisesti ottaen toimii erittäin hyvin, on jo vanhentunut ja hidas. Tietokoneiluokkiin kuuluvat tietokoneet, sähkö- ja LAN-kaapeloinnit. Suuret näytöt ja tietokoneet tuottavat lämpöä, jonka poistamiseksi tarvitaan ilmastointia.

Toisaalta melkein kaikilla opiskelijoilla on oma kiinteä tietokone kotona ainakin tietokonepelejä varten. Toisaalta kaikilla on jo mukanaan kannettava tietokone, vaikka he eivät sitä ehkä niin mielläkkään: käsipuhelin on teknisesti tietokone. Kannettavien tietokoneitten hinnat ovat laskusuunnassa. Tällä hetkellä halvan kannettavan tietokoneen kustannukset ovat 8000 mk. Käsipuhelin maksaa 900-3500 mk ja kiinteä tietokone vähintään 4000 mk. Näyttää siis siltä, että opiskelijat ovat halukkaita investoimaan kommunikaatioympäristöönsä.

Voisiko tulevaisuuden visio olla sellainen, että koulu tarjoaa verkon ja opiskelijat sen päätelaitteet? Jo nyt opiskelijat vaihtavat käsipuhelimia ja tietokoneita tasaisin väliajoin. Tulevaisuudessa päätelaite voi olla hyvinkin erilainen kuin nykyinen kannettava tietokone. Sitä aikaa odotellessa kannettava tietokone on joka tapauksessa suuri investointi sekä koululle että opiskelijalle hintojen laskusta huolimatta.

Kannettavassa tietokoneessa on paljon etuja. Muistiinpanot ja harjoitukset kulkevat siinä mukana. Kaikki ohjelmistot voi ottaa mukaan kotiin, kuten toimistosovellukset, selaimet, kääntäjät ja piirrosohjelmat. Kovalevyn kokokaan ei ole enää merkittävä rajoite. Toisaalta eräät opiskelijat sanovat, että jatkuva internet-yhteys ei ole tarpeeksi suuri etu, jotta he haluaisivat ostaa kalliin kannettavan tietokoneen.

5.2. Kannettavat tietokoneet kouluissa

On kutkuttava idea käyttää kannettavia tietokoneita kiinteitten tietokoneitten sijaan kouluissa [37][39]. Mutta antavatko kannettavat tietokoneet mitään positiivista vaikutusta opiskeluun. Tämä osa tutkimusta valottaa asiaa.

Joissakin suomalaisissa kouluissa on jo hankittu WLAN-tietokoneluokkia. Toistaiseksi ne enemmänkin näyttävät vain korvaavan kiinteitä tietokoneluokkia, eli kaikkia kannettavuuden etuja ei välttämättä saavuteta. Luonnollisesti sivuvaikutuksena ovat pienentynyt pöytätilan käyttö ja sähkön kulutus sekä vähentynyt ilmaston tarve.

Eri kannettavuuden näkökulmia, jotka liittyvät kannettaviin tietokoneisiin kouluissa, kuvataan taulukossa 5.1. Näitä näkökulmia analysoidaan seuraavissa luvuissa. Suurin osa analyysistä perustuu kirjoittajan kokemuksiin sekä opettajana että opiskelijana kannettavan tietokoneen ja sekä kiinteän että liikuteltavan dataprojektorin kanssa.

	On kannettava tietokone	On WLAN kannettavassa tietokoneessa
Opettaja		
Opiskelija		

Taulukko 5.1 Kannettavien tietokoneitten jako

5.3. Opiskelijoiden ennakkokäsitykset WLAN-kannettavista tietokoneista

Suullinen kysely tehtiin informaatiotekniikan opiskelijoille Espoon-Vantaan teknillisessä ammattikorkeakoulussa. Se paljasti sekä positiivisia että negatiivisia ennakkokäsityksiä

kannettavia tietokoneita ja langatonta lähiverkkoa kohtaan. Kysymykset kysyttiin samanaikaisesti noin 30:lle opiskelijalle, joka johti vilkkaaseen keskusteluun.

Idea kannettavista tietokoneista jakoi opiskelijoiden mielipiteitä. Ne voidaan jakaa uhkiin, vaatimuksiin ja päiväuniin. Yleinen mielipide kannettavista tietokoneista, joita kuljetetaan ympäri koulua, oli hiukan positiivinen varauksin.

Uhkat sisälsivät kannettavien tietokoneitten käyttöön liittyviä seikkoja. Pelaaminen ja internetin selailu luentojen aikana voi häiritä niin omaa kuin muittenkin oppimista. Näppäimistöäännet saattavat nekin häiritä. Kannettava tietokone voi olla tavalla tai toisella rikki. Uusimmat pelit eivät niissä pyöri, koska niissä ei ole viimeisintä prosessoria. Oma tietokone voi olla fyysisesti pelattu hajalle. Opiskelijoiden saama tuki tietokoneilleen voisi olla huonoa, sillä koulun helpdesk ei olisi vastuussa niiden huollosta. Varkaudet pitäisi jo ennakolta estää. Joissakin tietokoneliikkeissä turvamiehet tarkistavat töistä lähtevän henkilökunnan päivittäin. Pitäisikö koululla olla vartijat? Kaikki opiskelijat eivät pysty ostamaan kannettavaa tietokonetta.

Vaatimukset olivat enimmäkseen taloudellisia. Opiskelija tarvitsee 7000-15000 mk kannettavaa tietokonetta varten tullessaan kouluun. Sovellusten pitäisi tulla koululta, koska ne ovat kalliita. Sähköä pitäisi saada kaikkialta. Luentomateriaalin pitäisi olla verkossa. Sen ei tarvitse olla täydellistä, mutta sellaista, että opiskelijat voivat yhdistää siihen muistiinpanonsa. Pikaiset kalvojen vaihtamiset eivät toimisi samalla tavalla kuin aikaisemmin, sillä muistiinpanojen tekemiset tietokoneella voivat olla hitaampia kuin käsin kirjoittaminen ja piirtäminen. Erityisesti piirtäminen on hitaampaa kuin käsin. Materiaalin pitäisi sisältää piirustuksista ainakin osia, joita voi täydentää. Opiskelijat eivät ole halukkaita luopumaan kotona olevasta kiinteästä tietokoneesta. Näppäimistö, hiiri ja suuri monitori ovat tärkeitä. Kannettava tietokone on hitaampi ja kalliimpi kuin kiinteä tietokone.

Lisää vaatimuksia tulee, jos luentoja välitetään videokonferenssilla. Opettajien pitää osata mikrofonin käyttö ja mikrofonien pitää toimia. Tarvitaan palautekanava kysymyksille ja kommenteille.

Päiväunet liittyvät saatavuuteen ja käytön helppouteen. Tietokone olisi koko ajan saatavilla. Luentoaikojen ulkopuolella ei tarvitsisi miettiä mistä vapaan kiinteän tietokoneen löytää. Koululla olisi tarpeeksi resursseja tarjota laadukas verkko, kun ei tarvitse pitää huolta kiinteistä tietokoneista. Kirjoittaminen on nopeampaa koneella kuin käsin sanoivat toiset.

5.4. Opiskelijat, joilla on kannettavat tietokoneet ilman langatonta lähiverkkoa

Ensimmäinen vaatimus laaja-alaiselle kannettavien tietokoneitten käytölle oli sähköpisteiden asentaminen kaikkiin luokkiin, jotta tietokoneita voisi koko ajan ladata. Akku voi kestää pari luentoa, mutta ei koko päivää. Halvimpien kannettavien akut kestävät kaksi tuntia (5/2001) [45]. Kalliimpien mallien akut kestävät luonnollisesti kauemmin.

Kannettavilla tietokoneilla voi tehdä muistiinpanoja. He voivat organisoida muistiinpanot opintojaksokohtaisesti, jolloin heillä säilyvät kaikki tiedot hyvässä järjestyksessä. Jos luentomateriaali on verkossa sähköisessä muodossa, niin he voivat ladata sen omalle koneelleen ja lisäillä omia muistiinpanojaan suoraan materiaaliin.

Opiskelijat voivat asentaa kaikki tarvittavat sovellukset kannettaville tietokoneilleen. Ohjelmointiympäristöt, toimistosovellukset, piirros- ja valuvankäsittelyohjelma. He voivat siten tehdä laboraatiot ja harjoitukset milloin vain riippumatta koulun aukioloajoista. Jos opiskelijat tekevät esityksiä, niin he voivat testata niitä etukäteen [38].

Kun opiskelija lähtee työelämään koulun jälkeen hänellä on kaikki materiaali mukanaan. Tämä voi olla avuksi monissa ammateissa, sillä opiskelijan tietokoneessa oleva teoreettinen tieto voi olla sovellettavissa työpaikalla.

5.5. Opiskelijat WLAN-kannettavien tietokoneitten kanssa

Opiskelija, jolla on kannettava tietokone WLAN-varustuksella, on verkossa niin kauan kuin kannettava tietokone on päällä [40]. Kaikki verkon palvelut ovat käsillä. Email, IRC, web ja pelit ovat käytettävissä million tahansa. Entä luennot? Epäilemättä kontrolloimaton palveluiden käyttö voi johtaa laimentuneeseen mielenkiintoon varsinaista aihetta kohtaan. Tähänkin seikkaan voidaan ohjauksella vaikuttaa. Kouluympäristöt tarjoavat myös kommunikaatiokanavia, kuten keskustelufoorumeja. Sanomien kirjoittaminen vaatii keskittymistä. Myös vastausten lukeminen tekee samaa. Tämä on varmasti hyvä osa oppimisprosessia, mutta ei ole mahdollista samanaikaisesti luennoivan opettajan seuraamisen kanssa. Tietäen, että oppiminen vie aikaa ja voimavaroja, kannattaa opiskelijat opettaa pysymään poissa verkosta luentojen aikana. Opiskelijat oppivat eri tahdissa, joten kannettava tietokone ja WLAN yhdessä laajentaa mahdollista oppimisaikaa [39]. Näin oppimisprosessia voidaan edistää lähiverkkoon liitetyillä kannettavilla tietokoneilla [41].

Se, onko opiskelijalle hyväksi, että materiaali on saatavilla 24 h vuorokaudesta, on opiskelijakohtaista. Opiskelijat eivät välttämättä halua ottaa kannettavaa tietokonetta kotiin, vaan tarvitsevat turvallisen paikan koneelle koulussa [38]. Tämän päivän henki on sellainen, että työ- ja vapaa-aika sekoittuvat. Joillekin tämä sopii, toisille ei. Kaikkiin saadaan yhteys käsipuhelimella. Verkon avulla sähköposti tai jokin muu yhteysmuoto tavoittaa kenet tahansa missä tahansa. Täten opiskelija, jolla on WLAN-kannettava tietokone, voi tehdä liian paljon työtä opiskelunsa eteen.

WLAN-kannettava tietokone koulun verkon kattavuusalueella antaa mahdollisuudet käyttää kannettavaa tietokonetta luokkatilojen ulkopuolella. Ruokalat, käytävät, kirjasto ja jopa piha ovat mahdollisia käyttöpaikkoja. On jopa mahdollista rakentaa luokkahuoneita tai muita tiloja, joissa suunnitellaan käytettäväksi kannettavia tietokoneita. Näissä tiloissa voi olla valmiina suuri näyttö, näppäimistö ja hiiri liitettäväksi opiskelijan kannettavaan tietokoneeseen. Nämä oheislaitteet eivät vanhene niin nopeasti kuin keskusyksiköt.

Ongelmamiksi opiskelijat [38] ovat havainneet kannettavan tietokoneen suuren painon ja lyhyen akun keston. Myöskin heikko WLAN-signaali haittaa, jos WLANia ei ole rakennettu koko tarvittavalle alueelle [38][47].

5.6. Opettaja ja kannettava tietokone

Toisille opettajille on tavallista liikkua kannettavan tietokoneen ja dataprojektorin kanssa luokasta toiseen. Luokassa järjestelmä pistetään toimintakuntoon, luento pidetään ja järjestelmä pakataan takaisin laukkuihin. Tämä ottaa muutaman minuutin joka luennosta tai opettajan tauosta. Kannettavan tietokoneen ja dataprojektorin yhdistelmän etuja perinteisiin kalvoihin nähden on monia.

5.6.1. Edut kalvoihin nähden

Kaikki materiaali on mukana. Kaikkien opintojaksojen materiaali on yhdessä paketissa, joka on aina mukana. Kunkin opintojakson kalvot voivat olla yhdessä hakemistossa ja kunkin luennon kalvot omissa tiedostossaan.

Usein opettaja opettaa samankaltaisia opintojaksoja. Silloin voi olla käytännöllistä kuljettaa kaikki mahdollinen materiaali mukana siltä varalta, että kesken luennon pitäisikin näyttää toisen opintojakson materiaalia.

Kalvot ovat aina oikeassa järjestyksessä eikä yksikään puutu. Kalvoissa voi olla myös muistiinpanot, joista opettaa. On mahdollista lisätä tekstiä esimerkiksi PowerPoint-kalvoesityksen muistiinpanoalueelle.

Materiaali on helppo pitää ajantasalla. Kperinteisten kalvojen pitäminen ajantasalla vaatii korjauksia kalvokynällä, jolloin mahdollinen alkuperäinen sähköinen muoto pysyy muuttumattomana. Tästä tulee potentiaalinen korjausongelma - tai sitten pitää alkuperäinen korjata ja tulostaa suoraan kalvoksi tai tehdä kalvo kopiokoneella. Kalvot, jotka ovat vain sähköisessä muodossa, voidaan korjata suoraan luennolla ja ne ovat varmasti kunnossa seuraavaa kertaa varten. Erityisesti kaikki tietokoneisiin ja kommunikaatioon liittyvää materiaalia täytyy koko ajan päivittää .

Toisaalta tämä voi aiheuttaa vaikeuksia, jos opiskelijoilla on sama materiaali kopiotuna joko sähköisesti tai tulostettuna paperille. Tulostettua materiaalia voidaan päivittää mekaanisesti luennolla – jos opiskelija osallistuu siihen luento, jolla sitä käsitellään. Jos heillä on kannettava tietokone, he voivat editoida materiaalia suoraan. Luonnollisesti helpottaa, jos opiskelijat osaavat käyttää esitysohjelmia (tyypillisesti Microsoft PowerPoint). Muuten he voivat joutua käyttämään paljon aikaa muutosten tekemiseen ja kenties eivät seuraa opetusta täysitehoisesti.

Dataprojektori tarkennetaan vain kerran ja sen jälkeen vain vaihdetaan näytössä kalvoja. Kalvot ovat koko ajan suorassa. Opettaja näkee itse oman tiedokoneensa ruudussa, joten hän voi olla koko ajan kääntyneenä opiskelijoihin päin. Valkokankaalle kääntymistä tarvitaan vain, kun opettaja haluaa osoittaa karttakepillä kalvolle. Tämä on myös hyvä asia, sillä se pitää opiskelijoidne mielenkiinnon yllä. Kaikki opettajan elävyys voi olla luennon aikana positiivista. Aika, jolloin opettaja joutuu suoristamaan tavan takaa samaa kalvoa, on ohi. Kalvoille voi piirtää yksinkertaisia viivoja ja näyttää kohteita tietokoneen hiirellä PowerPointissa, mikäli opettaja ei voi esimerkiksi valkokankaan korkeuden takia käyttää karttakeppiä.

Värikkäät kalvot ovat kauniita katsella. Perinteinen mustavalkoinen kalvo on tylsän näköinen, tosin värikirjoittimilla saadaan nykyisin myös värikalvoja – tosin varsin kalliisti. Sähköisesti on myös mahdollisuus valita tumma tausta ja valkoinen teksti. Toiset opiskelijat pitävät siitä enemmän kuin perinteisestä vaalea tausta / tummat kirjaimet – värikyksestä, koska vähemmän silmiä häiritsevää valoa tulee valkokankaalta.

Animaatioilla voidaan esittää monimutkaisia kuvia, jotka muuten eivät olisi helposti ymmärrettäviä. Kun aloitetaan yksinkertaisesta kuvasta, johon lisätään yksi kerrallaan uusia elementtejä, voidaan opettaa hyvinkin monimutkaiset aihekokonaisuudet. PowerPoint ja muu samanlaiset sovellukset tarjoavat hyviä animaatiomahdollisuuksia.

Luonnollisesti animaatioiden tekeminen vaatii paljon työtä, mutta siitä voi hyötyä monta kertaa tulevina vuosina.

Yhden tekstirivin näyttäminen on tapa, jota eräät opettajat suosivat. Perinteisillä kalvoilla toteutettuna tämä tapa on joko huvittava tai turhauttava, harva osaa sen kunnolla. Yksinkertaisella animaatiolla saadaan tekstit rivi kerrallaan valkokankaalle juuri oikeaan aikaan. PowerPoint tarjoaa helpon tavan näyttää tekstiä ranskalainen viiva kerrallaan. Tämä tosin toimii vain ensimmäisen tason viivoissa. Näytettäessä ensimmäisen tason ranskalaista viivaa myös kaikki sen alitasot tulevat näyttöön yhtä aikaa. Tämän piirteen kanssa tosin on helppo työskennellä, kun sen ensin vain on oivaltanut.

Kun kannettavan tietokoneen ja dataprojektorin käytöstä tulee rutiinia myös opettajan luokkaantuloajan voi käyttää hyödyllisesti opiskelijoitten kanssa jutellen esimerkiksi edellisestä luennosta tai uutisia kertoen, koska opettajan ei varsinaisesti tarvitse keskittyä järjestelmänsä pystyttämiseen, vaan se tulee selkärangasta. Kannettavan tietokoneen käynnistäminen salasanoineen ja virustarkastuksineen voi viedä paljon aikaa. Tutkimuksen aikana huomattiin, että käynnistettäessä PowerPoint virustorjuntaohjelman suorituksen aikana aiheutti ongelmia. On siis parempi antaa sen ensin tehdä tehtävänsä.

5.6.2. Huonot puolet kalvoihin nähden

Materiaali on kiinteästi ennalta määrättyssä järjestyksessä eikä anna tilaa muutoksille. Joissain tilanteissa voisi olla parempi esittää materiaali eri järjestyksessä. Vaikka tämänkaltainen muutos voi olla pieni opettajalle, niin opiskelijoita se voi vaatia paljon energiaa oikeitten kalvojen löytämiseksi ja varsinainen opetettava asia saattaa hukkaa.

Materiaalin päivitystä verkkoon ei välttämättä tapahdu. Kun materiaalin muutos tehdään opettajan kannettavalla tietokoneella muistaako hän päivittää myös materiaalin verkkoon opiskelijoita varten? Tässä olisi tilaus langattomalle lähiverkolle ja materiaalin välittömälle päivittämiselle.

Perinteiset kalvot ja myös kalvot tietokoneelta voivat olla opiskelijoista tylsiä. Pohjilliltaanhan ne ovat sama asia, mutta vaikka samoja kalvoja näyttää joko dataprojektorilla kuin piirtoheittimellä ei samankaltaista väsymistä näytä tulevan niin helposti.

Opettaja voi yliarvioida oppimiskapasiteettin vaihdellessaan kalvoja liian tiuhaan. Jos opiskelijat kopioivat materiaalia käsin opettajan pitää muistaa opettaa liitutaulunopeudella, jolloin opiskelijat pystyvät seuraamaan. Liitu- tai tussitaulu onkin dataprojektorilla opettavan opettajan hyvä apuväline, sillä muuten on vähän mahdollisuuksia kalvojen ulkopuoliselle selittämiseksi tai tehtäville.

Dataprojektori voi ärsyttää silmiä, jos se on ainoa opetusmenetelmä. Dataprojektori kannattaisikin pari kertaa sammuttaa opetuksen aikana ja käyttää esimerkiksi liitutaulua, joka on oikein hyvä opettamistyökalu sen käytön osaavalle.

5.7. Opettaja, jolla on kannettava tietokone langattomasti lähiverkossa

Luonnollisesti selallaisella opettajalla, jolla on kannettava tietokone langattomasti lähiverkossa, on kaikki edut tavallisen kannettavan tietokoneen edut. Langaton yhteys verkkoon vain lisää mahdollisuuksia.

Jo ennen luokkaan astumista opettaja voi hyötyä verkkoyhteydestä. Opettaja voi selailla luentomateriaalia jättäen aloitusnäytön tietokoneelle. Hän voi myös selailla mielenkiintoisia verkkosivuja ja näyttää ne luennon alussa. Sen jälkeen voi siirtyä vaikka PowerPointin käyttöön.

Luento voi alkaa välittömästi, sillä tietokone on päällä. Mahdollisesti viivettä on dataprojektorin lämpenemisessä. Periaatteessa kaikkien sähköisten laitteiden pitäisi olla poissa päältä niitä liitettäessä toisiinsa, mutta ainakaan tutkimuksen aikana kirjoittaja haavainnoinut ongelmia liitettäessä päällä olevaa kannettavaa tietokone virrattomaan dataprojektoriin. Tosin joissakin tilanteissa näitten laitteiden käynnistysjärjestyksellä on merkitystä. Esimerkiksi jos InFocuksen dataprojektori on päällä ja Windows 98 käynnistetään kaapelit kiinni, Windows kysyy projektorin ohjelmistoa. Käytännössä tätä ei tarvita, koska dataprojektori toimii hyvin standardiajaurilla.

Opettaja voi valita luennon alkuun myös toisenlaisen lähestymistavan. Se voi olla esimerkiksi edellisen luennon kertaaminen. Tämän voi tehdä monella tavalla, mutta ei ole huono idea vilkaista edellisen luennon kalvoja.

Koko luentomateriaali voi olla kannettavassa tietokoneessa tai verkkolevyllä. Materiaalin paikalla ei ole vaikutusta sen näyttämiseen, jos verkko toimii kunnolla. Jos opettajalla on kannettava tietokone langattomassa lähiverkossa nopeudella 11 Mbps ainakaan ilmarajapinnan ei pitäisi olla pullonkaula. Myös materiaalin päivittäminen verkkoon luennon aikana ei vaadi erikoista vaivaa varsinkin, jos se on verkkolevyllä.

Oppitunnin aikana opettaja voi haluta näyttää muutakin materiaalia kuin kalvot. Tämä voi olla esimerkiksi tenttiin tai laboraatioihin liittyviä ohjeita tai tuloksia tai ehkä ohjeet opintojakson loppua varten. Mikäli materiaali on verkossa se on helppoa. On hyvä idea siirtää kaikki materiaali verkkoon luonnollisesti huomioiden lait ja tekijänoikeudet.

Oppitunnin loputtua opettaja voi sulkea tietokoneen vain sulkemalla sen kannen. Tietokoneen akku pitää tietokoneen pystyssä parisen tuntia, joten yksittäisen luennonkin voi pitää ilman laturia sähköverkossa. Mikäli dataprojektori on kiinteä opettajan kannettavana on vain kannettava tietokone, mikä voi olla paljon yksinkertaisempaa kuin kasa kalvokansioita.

Dataprojektorien lisälaitteisiin kuuluu pyörillä varistettu laukku, johon mahtuu myös kannettava tietokone. Tämä laukku helpottaa oleellisesti laitteiden kuljetusta.

Opettajien havaitsemat huonot puolet tai ongelmat kannettavien tietokoneitten kanssa [38] liittyivät dataprojektoreihin ja kannettavan tietokoneen painoon. Opettajat eivät moittineet esimerkiksi akun käyttöaika.

5.8. Kasvatussosiologinen näkökulma

Kasvatussosiologian näkökulmasta tradenomiopiskelijat elävät aikaa, jonka perusteella he sijoittuvat yhteiskunnan työelämään [42]. (s. 67) He ovat ensin valikoituneet pyrkijäjoukosta opiskelupaikkaan ja opiskelun tuloksena valikoituvat paikoilleen yhteiskunnassa. Koulutuksen tehtävänä on antaa heille kvalifikaatiot eli tiedot, taidot ja tutkinto työelämää varten. Koulu antaa muodollisen pätevyyden, jota mitataan arvosanoin. Käytännön ammattitaitoa voidaan mitata harjoitus- ja päättötöin, mutta muuten oppilaitos ei sitä voi tietää.

Elämme voimakkaasti muuttuvassa yhteiskunnassa erityisesti, kun katsomme tietotekniikan ja tietoliikenteen kehitystä. 20 vuotta sitten harvat yritykset ja oppilaistokset omistivat tietokoneen. Nykyisin tietokone on jo lähes joka taloudessa, ja monilla opiskelijoilla on oma tietokone. Sähköposti on jo diagnostisoitu yhdeksi suureksi stressitekijäksi työpaikoilla. 10 vuotta sitten kannettava puhelin oli raahattava puhelin, hyvin harvojen ja rahakkaiden herkku. Nyt 75 % suomalaisista käyttää käsipuhelinta, jonka katoaminen saattaa tietää suuria menetyksiä mm. kadonneina puhelinnumerona.

Tietotekninen nopea kehitys tuntuu erityisen suurelta opiskelijoitten, jotka ovat n. kaksikymmenvuotiaita, ja heidän vanhempiensa välisessä kuilussa. Vanhemmat ovat olleet jo vuosia työelämässä, jonne hiljalleen on tullut tietokoneita työpaikkaan kuin työpaikkaan. Tämä näkyy tietokoneitten vieroksumisena ja jopa pelkona niitä kohtaan. Nuoret ovat taas jo peruskoulusta asti saaneet käyttää tietokoneita, vaikka sellaista ei kotona olisi ollutkaan. Heidän arvomaailmansa ja ymmärryksensä tietoverkoista ovat hyvin erilaiset kuin vanhempiensa. Kestänee yhden sukupolven verran aikaa, että tietokoneista tulee kaikille tuttuja ja turvallisia apuvälineitä.

Maailma ympäröi lapset kaikenlaisilla elektronisilla laitteilla kuten tietokoneilla, videopeleillä, käsipuhelimilla ja PDA-laitteilla [46]. Viime mainittuja ei ole vielä juurikaan kouluissamme, mutta ajan saatossa ne saattavat olla tärkein oppimateriaalin välitystapa.

5.8.1. Koulutus kasaantuu

Koulutus kasaantuu eli keskittyy sellaisiin perheisiin, joilla on jo entuudestaan vankka koulutustausta [42]. (s. 77) Vanhemmat eivät tahdo, että heidän lapsensa jäävät matalammalle tasolle koulutuksessa kuin he itse. Tämä onkin hyvä asia, sillä silloin he myös ovat halukkaita investoimaan lastensa kouluttamiseen. Yleisen koulutustason kohoamisen myötä alimpien tutkintojen arvo mitätöityy. Lapset saavat siis käytännössä saman yhteiskunnallisen aseman kuin vanhempansa, jos ovat jonkin verran paremmin koulutettuja. (s. 80) On oletettavaa, että suurin osa ammattikorkeakouluun hakeutuvista on toimihenkilöiden lapsia (s. 101). Toimihenkilöt taas ovat keskimääräistä tutumpia tietokoneitten kanssa työtehtäviensä puolesta, jos heitä verrataan työväestöön tai maatalousväestöön.

Tällä hetkellä tavallinen käsipuhelin maksaa 500-1500 mk ja kotitietokone 4000-6000 mk. Kannettava tietokone maksaa 8000-12000 mk. Jääkin nähtäväksi ovatko vanhemmat halukkaita investoimaan lapsilleen kannettavaa tietokonetta, joka on kooltaan varsin pieni ja haavoittuva. Ja etenkin, jos edellä mainittu kotitietokone on jo hankittu. Tämä selviää projektin aikana. Medianuoret

Medianuorilla tarkoitetaan pääasiassa keskiluokan jälkikasvua, jolla on löyhä side perinteiseen suomalaiseen elämäntapaan ja -arvoihin. He arvostavat hyviä kavereussuhteita ja pitävät sähköisiä viestimiä tärkeinä tiedon, uusien nuorisokulttuurien ja viihteen välittäjinä. [44]. (Tervo 1993, 107-131)

Opetettava asiasisältö muodostaa usein vain taustan, jota vasten luokkahuoneessa on käynnissä hyvin monenlaisia prosesseja. (Förnäs 1993, 13-90) Näitä prosesseja saatetaan pystyä hyödyntämään opetuksessa. Jos ne väkisin tukahdutetaan voi koko opetustilanne kärsiä. [42]. (144) Opettajat voisivat valmiiden didaktisten mallien etsimisen sijasta luottaa avoimeen kommunikaatioon ja välittömään vuorovaikutukseen lasten ja nuorten kanssa. Tämä oli ennen tietokonepohjaisten oppimisympäristöjen esiinmarssia.

5.8.2. Opettaminen muuttuu

Tietokone- ja tietoverkkoperusteinen opetus murtaa perinteisen oppimisen mallin rikkomalla luokkahuonerajat ja lukujärjestyksen sekä muuttamalla opettajan toimenkuvaa ja roolia opetustilanteessa. Äärimmilleen vietynä opettajan ainoaksi näkyväksi tehtäväksi jää todistusten allekirjoittaminen tarkastettuaan tietokoneella tehdyn tentin tulokset. Näkymättömissä ovat ne lukemattomat tunnit, jotka kuluivat opetusmateriaalin suunnitteluun ja toteutukseen. Koska nykyiset palkkaustavat eivät juuri tunne sitä suurta työmäärää, joka kuluu tietoverkkopohjaisen opetuksen toteuttamiseen, opettajat suureksi osaksi tekevät verkkokursseja omalla ajallaan.

Opettajan roolin muuttuu aikataulullisesti. Mikäli opiskelijat suorittavat kursejaan vapaasti ilman lukujärjestystä opettaja joutuu oman aikataulunsa suhteen uuteen tilanteeseen. Ennen riitti, kun piti oppitunnit ja harjoitukset sekä korjasi kokeet, jolloin opiskelijat jokseenkin samassa tahdissa suorittivat opintonsa. Nyt opiskelijat menevät kaikki omaa tahtiaan ja tarvitsevat apua mahdollisesti mihin vuorokaudenaikaan tahansa. Pitääkseen oman elämänsä järjestyksessä opettajan on osattava asettaa rajat opiskelijakontakteihin sähköpostiin tai puhelimeen vastaamiseen suhteen määrällisesti ja ajallisesti. Muuten opettaja joutuu tilanteeseen, jossa hänellä on enemmän töitä tietoverkkopohjaisessa kuin perinteisessä opettamisessa. Siis tietokone lisää töitä! On kuitenkin modernia ja kuvastaa oppilaitoksen kehittyneisyyttä siirtyä ohjelmajohjaiseen opetukseen eikä kehitystä voi estää.

Opettajan roolin muuttuessa onkin mielenkiintoista nähdä miten perinteiset opettajat ja oppilaitokset pystyvät roolimutokseen. Opettajakoulutus koostuu näytetunneista, ei näytetietokonekursseista esimerkiksi WebCT:llä. Palkkaus perustuu lähitunteihin tai opintoviikkoihin, jotka nekin propagoituvat lopulta lähitunneiksi, eikä sähköpostiin vastaamiseen.

Opiskelijat tulevat alemmilta koulutustasoilta, joissa opettajan rooli on ollut suuri. He ovat tottuneet kuuntelemaan opettajaa. Nyt opettaja onkin hiljaa ja tietokoneohjelma opettaa. Siis kesken nuoruuden oppimisjakson tapahtuu murros opetusmenetelmissä. Tietokoneaddikteilta nuorille tämä saattaa olla jopa helpotus, kun ei tarvitse olla sitä vähääkään sosiaalista kasvokkain tapahtuvaa kommunikaatiota, joka on opiskelijan ja opettajan välillä koululuokassa. Sosiaalisemmille opiskelijoille tämä saattaa taasen merkitä tärkeää elämänmuodon häviämistä ja korvautumista persoonattomalla ja tunteettomalla tietokoneella, jota korkeintaan videopätkät elävöittävät. Toki tietokonepohjaiset opetusmenetelmät peruskouluihinkin aikanaan tulevat, jolloin on saatu koko koulutusputki epäsosiaalistettua.

Tavallisen käsipuhelimen investointikustannukset ovat 500-1500 mk ja tavallinen kiinteä tietokone maksaa 4000-10000 mk. Kannettava tietokone maksaa 8000-12000 mk. Mahtavatko kaikki vanhemmat haluta investoida lapsensa kannettavaan tietokoneeseen, joka on pieni ja haavoittuva. Erityisesti ongelmia voi tulla, jos kotitietokone on juuri ostettu opiskelua varten. Joissakin tapauksissa opiskelijat voivat saada kannettavan tietokoneen yrityksestä, jossa ovat osapäiväisesti töissä – taustalla on ajatus työskennellä kotona tai vapaa-ajalla.

5.8.3. Opiskelijan ja opettajan välinen suhde muuttuu

Koulutuksessa opiskelija antaa opettajalle auktoriteetin [42]. (81) Perinteisesti opettaja on ollut luokan edessä ja luennoinut sieltä. Hänet on ollut helppo havaita ja mieltää arvosanoja antavaksi vallanpitäjäksi.

Opiskelun muuttuessa tietoverkkopainotteiseksi opettajan rooli muuttuu. Opiskelija ei katselekaan opettajaa vaan tietokonetta. Tietokone puolestaan on samankaltainen media kuin televisio, jonka ruutua lapset ovat tottuneet pienestä pitäen katselemaan tunnista toiseen vanhempien mahdollisia kieltoja uhmaten. Opettaja ei enää olekaan ihminen, vaan verkossa oleva ohjelma, joka sisältää animaatioita siinä missä lastenohjelmat televisiossakin. Animaatioitten aiheet ovat tietysti erilaiset. Tekstejä ja kuvia seuraten opiskelija oppii aivan kuten itse ohjaisi omaan tahtiin television aikuisopetusohjelmaa.

Kun opetusohjelma opettaa, niin opettajan rooli muuttuu. Tiedon primääri alkun ei olekaan opettajan puheessa. Opettajasta tulee opastava apu, jolta voi kysyä vaikeuksissa. Tämäkin kommunikaatio saattaa tapahtua sähköpostitse, jolloin opettaja henkilönä on kaukaisempi kuin perinteisessä opetuksessa. Opetuksen muutos voidaan ajatella opetuskulttuurin modernisaationa, kun tavara (tietokone) korvaa ihmisen (opettaja) [43] (Ziehe 1991, s 61).

Jos opettaja ei enää luennoikaan, hänen luennointitaitonsa eivät olekaan enää tärkeitä. Sen sijaan, jos hän vastailee opiskelijoiden vaikeisiin kysymyksiin, painottuvat hänen asiantuntijuutensa ja ihmissuhdetaitonsa. Esimerkiksi usein opiskelijan kohdatessa vaikeuksia hänelle nousee voimakkaita tunteita. Nämä tunteet opettajan on hyvä tunnistaa, mutta ei mennä niihin mukaan. Opettajan on maltillisesti saatava tietoa perille näistä tunteista huolimatta, tai ehkäpä jopa niitä hyödyntäen. Opettajan vuorovaikutustaidot voivat joutua koville. Erittäin haasteellisia ovat tilanteet panikoivan tai täysin toivottoman opiskelijan kanssa.

5.8.4. Epätavanomaiset oppimisprosessit

Epätavanomaisella oppimisella tarkoitetaan sellaista kollektiivista oppimisprosessia, jossa yksilän itseymmärrys ja toimintavalmiudet lisääntyvät [43](Ziehe 1991, s. 161). Ulkokohtainen todellisuus ja uusi tieto muuttuvat omakohtaisiksi, omaa sisäistä todellisuutta jäsentäväksi tekijöiksi [42]. (130) Tällaisessa oppimisprosessissa omat tavoitteet ja motivaatio on tärkeää. Pedagogisesti olisi huomattava, mikä on opiskelijoiden kannalta narsistisesti kiinnostavaa. Oppimisen olisi annettava mahdollisuus tuoda opiskelijan oman identiteetin kehittymisen kannalta tärkeitä asiasisältöjä osaksi oppimistapahtumaa. Muuten opittavat asiat irtoavat opiskelijoitten kokemusmaailmasta ulkopuolisiksi abstraktioiksi, jotka jäävät sisäistämättä.

Langaton lähiverkko-kurssilla olisikin hyvä, että opiskelijoilla olisi omat kannettavat tietokoneet. Oma tietokone on vastaavasti kuin käsipuhelin hyvin omaan persoonaan sitoutuva tai uppoava laite. Tämän voi jokainen havaita unohtaessaan käsipuhelimensa jonnekin, olo on kuin eksyneellä. Langattoman lähiverkon suunnittelu omalla tietokoneella omaa tietokonetta ja omaa tiedonsiirtoyhteyttä varten ja lopuksi oman tiedonsiirtokapasiteetin mittaaminen mahdollistavat hyvin mieleenpainuvan oppimistapahtuman. Kun tämä vielä tehdään ryhmässä, niin kollektiivisesti nähdään verkon toiminta ja saadaan tunne-elämään vaikuttavia yhteisöllisiä kokemuksia.

5.8.5. Nuorisokulttuuri ja markkinat

Suomalaisen yhteiskunnan rakennemuutos 1960-luvulla mahdollisti nuorisokulttuurien leviämisen. [42](s. 109) Nuorista tuli oma markkinasegmenttinsä ja koulutuksesta muodostui nuoruutta pidentävä elementti. Kulttuurituotteita vaatteista musiikkiin ja televisio-ohjelmista virvoitusjuomiin tulvii vuosittaisina muotiaaltoina.

Kaupunkikeskeisyys yhdistettynä kaupallisuuteen ja kulutukseen sekä kansainvälisyyteen on antanut nykypäivän nuorille aivan erilaiset kokemukset kuin mitä vanhempansa ovat lapsuudessaan, jolloin mustavalkoinen televisio oli jotain suurta, saaneet.

Jatkossa onkin mielenkiintoista havaita, tuleeko niistä opiskelijoista, joilla on kannettava tietokone ja niistä, joilla sitä ei ole, kaksi eri alakulttuuria. Vaikuttaako tietokoneen omistaminen myös sosiaaliseen ryhmään? Muuttuuko sosiaaliluokka oppilaitoksen sisällä kannettavan tietokoneen hankkimisen myötä? Tuleeko kannettavasta tietokoneesta statusvai käyttöesine? On oletettavaa, että ainakin kannettavien yleistyessä niiden statukselle käy kuten autolle ja käsipuhelimellekin historian saatossa - niistä tulee osa arkipäivää.

5.8.6. Medianuoret

Medianuorilla tarkoitetaan pääasiassa keskiluokan jälkikasvua, jolla on löyhä side perinteiseen suomalaiseen elämäntapaan ja -arvoihin. He arvostavat hyviä kaveruussuhteita ja pitävät sähköisiä viestimiä tärkeinä tiedon, uusien nuorisokulttuurien ja viihteen välittäjinä. [44]. (Tervo 1993, 107-131)

Opetettava asiasisältö muodostaa usein vain taustan, jota vasten luokkahuoneessa on käynnissä hyvin monenlaisia prosesseja. (Förnäs 1993, 13-90) Näitä prosesseja saatetaan pystyä hyödyntämään opetuksessa. Jos ne väkisin tukahdutetaan voi koko opetustilanne kärsiä. [42]. (144) Opettajat voisivat valmiiden didaktisten mallien etsimisen sijasta luottaa avoimeen kommunikaatioon ja välittömään vuorovaikutukseen lasten ja nuorten kanssa. Tämä oli ennen tietokonepohjaisten oppimisympäristöjen esiinmarssia.

5.8.7. Opettaminen muuttuu

Tietokone- ja tietoverkkoperusteinen opetus murtaa perinteisen oppimisen mallin rikkomalla luokkahuonerajat ja lukujärjestyksen sekä muuttamalla opettajan toimenkuvaa ja roolia opetustilanteessa. Äärimmillen vietynä opettajan ainoaksi näkyväksi tehtäväksi jää todistusten allekirjoittaminen tarkastettuaan tietokoneella tehdyn tentin tulokset. Näkymättömissä ovat ne lukemattomat tunnit, jotka kuluivat opetusmateriaalin suunnitteluun ja toteutukseen. Koska nykyiset palkkaustavat eivät juuri tunne sitä suurta työmäärää, joka kuluu tietoverkkopohjaisen opetuksen toteuttamiseen, opettajat suureksi osaksi tekevät verkkokursseja omalla ajallaan.

Opettajan roolin muuttuu aikataulullisesti. Mikäli opiskelijat suorittavat kursejaan vapaasti ilman lukujärjestystä opettaja joutuu oman aikataulunsa suhteen uuteen tilanteeseen. Ennen riitti, kun piti oppitunnit ja harjoitukset sekä korjasi kokeet, jolloin opiskelijat jokseenkin samassa tahdissa suorittivat opintonsa. Nyt opiskelijat menevät kaikki omaa tahtiaan ja tarvitsevat apua mahdollisesti mihin vuorokaudenaikaan tahansa. Pitääkseen oman elämänsä järjestyksessä opettajan on osattava asettaa rajat opiskelijakontakteihin sähköpostiin tai puhelimeen vastaamiseen suhteen määrällisesti ja ajallisesti. Muuten opettaja joutuu tilanteeseen, jossa hänellä on enemmän töitä tietoverkkopohjaisessa kuin perinteisessä opettamisessa. Siis tietokone lisää töitä! On

kuitenkin modernia ja kuvastaa oppilaitoksen kehittyneisyyttä siirtyä ohjelmajohjaiseen opetukseen eikä kehitystä voi estää.

Opettajan roolin muuttuessa onkin mielenkiintoista nähdä miten perinteiset opettajat ja oppilaitokset pystyvät roolimutokseen. Opettajakoulutus koostuu näytetunneista, ei näytetietokonekursseista esimerkiksi WebCT:llä. Palkkaus perustuu lähitunteihin tai opintoviikkoihin, jotka nekin propagoituvat lopulta lähitunneiksi, eikä sähköpostiin vastaamiseen.

Opiskelijat tulevat alemmilta koulutustasoilta, joissa opettajan rooli on ollut suuri. He ovat tottuneet kuuntelemaan opettajaa. Nyt opettaja onkin hiljaa ja tietokoneohjelma opettaa. Siis kesken nuoruuden oppimisjakson tapahtuu murros opetusmenetelmissä. Tietokoneaddikteilta nuorille tämä saattaa olla jopa helpotus, kun ei tarvitse olla sitä vähääkään sosiaalista kasvokkain tapahtuvaa kommunikaatiota, joka on opiskelijan ja opettajan välillä koululuokassa. Sosiaalisemmille opiskelijoille tämä saattaa taas merkittävästi elämänmuodon häviämistä ja korvautumista persoonattomalla ja tunteettomalla tietokoneella, jota korkeintaan videopätkät elävöittävät. Toki tietokonepohjaiset opetusmenetelmät peruskouluihinkin aikanaan tulevat, jolloin on saatu koko koulutusputki epäsosiaalistettua.

5.9. Yhteenveto

Markkinoilla on paljon langattoman lähiverkon laitteita. 802.11-laitteet ovat olleet sen verran kauan käytössä, että ne alkavat olla toiminnallisesti luotettavia. Hinnat ovat jokseenkin edulliset.

Kannettava tietokone on hyvä apu sekä opettajalle että opiskelijalle. Kannettavien tietokoneitten avulla voivat opiskelijat säästää kouluille miljoonia markkoja vuosittain. Niissä opiskelijat voivat ylläpitää kaikkia muistiinpanojaan ja projektiympäristöjään yhdessä paikassa ja viedä materiaalin mukanaan työelämään.

Opettajat saavat kannettavista tietokoneista monenlaista etua. Materiaali voi olla kirjoitettuna missä tahansa ja tulokset ovat aina näkyvissä. Jos kannettava tietokone on koko ajan langattomasti lähiverkossa voidaan kone viedä kaikkialle ilman informaation vähenemistä. Nykyisin kannettavan tietokoneen akku pitää tietokoneen toiminnassa muutaman tunnin ajan, joten luennolla tai kokouksessa ei välttämättä tarvita verkkosähköä.

Kannettavien tietokoneitten käyttö on helppoa langattomassa lähiverkossa, mikäli kokonaisuus on katettu tukiasemilla. Sähköä on saatavilla helpommin kuin kiinteän lähiverkon liittymiä. Kannettava tietokoneet ei ole riippuvainen lyhyistä sähkökatkoista, joten se ei tarvitse UPS-sähköä. Kuljettaessa luokasta toiseen yhteys säilyy, ja samoja dokumentteja tai verkkosivuja voidaan lukea paikasta riippumattomasti.

Suurimmat langattoman lähiverkon huonot puolet liittyvät itse asiassa kannettavien tietokoneitten huonoihin puoliin. Kannettava tietokone on vielä raskas kantaa. Hiiren toteutukset keskellä tietokonetta ei ole kaikkien mieleen. Ne saattavat väentää kättä tai olla tehottomia. Ulkoisen hiiren käyttö vaatii myös hiiren jatkeena olevan kaapelin sietämistä erityisesti konetta kannettaessa. Lisäksi lähiverkkokortti tulee ulos pari senttiä koneen kyljestä lisäten koneen kokoa, ja se voi vaurioitua koneen osuessa varomattomasti esteeseen.

Suurin ikävyys on Windows-käyttöjärjestelmä liikuttaessa ympäristöstä toiseen. Konfiguraation vaihtaminen on hankalaa. Kun IP-osoite vaihdetaan pitää kone käynnistää uudelleen. Ilman uudelleenkäynnistystä saattaa selvitä vain uusimmissa Windowseissa (2000 ja XP). Nokian laitteissa on kehitetty profiilikäsike helpottamaan siirtymistä. Myös Netscapessa on mahdollista konfiguroida käyttäjäprofileja.

WLAN-laitteiden hinnat ovat laskemassa, mutta tehokkaat kannettavat tietokoneet ovat vielä arvokkaita. Myös kannettavan tietokoneen varustaminen kameralla ja mikrofonilla maksaa. Pääsyvät vähäiseen kannettavien tietokoneitten ostamiseen ovatkin hinta ja hitaus tietokonepeleihin.

6. Viitteet

Chapter 2

WLAN standardit

- [1] IEEE 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE, 1997
- [2] IEEE 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz band, IEEE, 1999
- [3] IEEE 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer extensions in the 2,4 GHz band, IEEE, 1999
- [4] QUICK GUIDE TO IEEE 802.11 WG & ACTIVITIES, http://grouper.ieee.org/groups/802/11/QuickGuide_IEEE_802_WG_and_Activities.htm, luettu 2.11.2001

The following books were used in Wireless Communication Systems course at the North Carolina A&T State University

- [4] Mobile and Wireless Networks, Uyles Black, 1996
- [5] Wireless and Personal Communications systems, Garg & Wilkes, 1996
- [6] Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications, Sampei, 1996
- [7] Cellular Mobile Radio Systems, Hammuda, 1997
- [8] Wireless Communications, Rappaport, 1996

Other references

- [9] Reliability of IEEE 802.11 Hi Rate DSSS WLANs in a High Density Bluetooth Environment, Jim Zyren, June 8, 1999
- [10] NACS-News 2000.7, The Electronic Newsletter of UCI Network and Academic Computing Services, <http://www.nacs.uci.edu/news/2000.7.txt>
- [11] Canadian Healthcare Technology, Steve Lawrence, May 2000, Cisco Systems Press Clippings Archive, http://www.cisco.com/warp/public/3/ca/pressroom/clips_trade.archive.html

- [12] Output, volume 1997 number 4, West Virginia University Office of Information Technology, <http://www.access.wvu.edu/Publications/fall972.pdf> (existing networks)
- [13] Nokia web site, <http://www.wbs.nokia.com/>, read 26.4.2001
- [14] Ministeri Heinonen kilautti Wlanilla ensimmäisenä maailmassa, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/te20010425170859_em_38861524, read 26.4.2001
- [15] Modalenin kunnassa laajakaista joka kodissa, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/te20010420112009_ea_79848020, read 26.4.2001
- [16] Empirical study for IEEE 802.11 and Bluetooth interoperability, Howitt et al, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/arc/802-15-2list/pdf00001.pdf>, read 2.5.2001
- [17] Uusi WLAN-standardi ei säilytä vanhaan sitoutuneita, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/te20010518171108_jvi_28126344, read 21.5.2001
- [18] Frequency bands for EP_BRAN HIPERACCESS, ETSI, http://grouper.ieee.org/groups/802/16/liaison/bran/80216lb-99_03.pdf
- [19] ETSI HIPERLAN/2 standard, ETSI, <http://www.etsi.org/technicalactiv/hiperlan2.htm>, read 21.5.2001
- [20] http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/finanssi20010326164105_em_38704966, read 27.3.2001
- [21] IT-viikko n:o 7, 15.2.2001
- [22] Soneran luottoluokitus putoamassa, Erkki Mäki, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/finanssi20010327150603_em_87763790, read 27.3.2001
- [23] Vaasalaiset käyttämään Radionetin uutta WLAN-tekniikkaa, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/te20010418110742_ea_66426642, read 26.4.2001
- [24] Discussion at CeBIT 2001 on Ericsson stand
- [25] Discussion at CeBIT 2001 on joint Bluetooth stand
- [26] Ericsson ja Telenor tutkimaan umtsin ja Wlanin integrointia, Erkki Mäki, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/finanssi20010329150740_em_75983520, read 30.3.2001
- [27] Bluetooth tuo laitekirjon, http://www.digitoday.fi/digi98fi.nsf/pub/dd20010404101431_jv_53393911, read 4.4.2001

- [28] Wireless Local-Area Networking, Cisco,
http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/witc/ao340ap/prodlit/airo_ov.htm, read 26.5.2001
- [29] Planning and implementing Wireless LANS,
<http://www.networkcomputing.com/netdesign/>, read 29.5.2001
- [30] Wireless LAN Security Issues, Audit and Security,
<http://isds.bus.lsu.edu/fall98/7520/WirelessLAN/audit.htm>, read 29.5.2001
- [31] Nokia Wireless LAN, <http://www.nokia.com/corporate/wlan/>, read 29.5.2001
- [32] Multimedia Mobile Access Communication Systems, Umehira, NTT,
http://comet.ctr.columbia.edu/demo98/slides/japanese_view.pdf, read 29.5.2001

Chapter 3

- [1] War driving the bay, Wireless network hacking turns cyber attack into street crime,
<http://www.securityfocus.com/news/192>, read 29.5.2001
- [2] Hyvä wlan-verkko ei synny tuurilla, MikroPC 6 / 2001
- [3] Planning and implementing Wireless LANS,
<http://www.networkcomputing.com/netdesign/>, read 29.5.2001
- [4] Wireless Local Area Networks – for the home and office,
<http://www.rhowireless.com/lans.htm>, read 29.5.2001

Chapter 4

- [1] Wireless networks in education, George D. Stetten, Duke University
<http://www.dcet.k12.de.us/teach/reynolds/wired1.html>, read 25.4.2001
- [2] CSC Newsletter of the Computing Services Centre, City University of Hong Kong, September 1999, <http://www.cityu.edu.hk/csc/netcomp/net21/net21.pdf>
- [3] Intel PRO/Wireless 2011 Solution, Learning Opportunities, Intel,
<http://www.intel.com/network/go/wireless/learning.html>, read 24.4.2001
- [4] IEEE 802.11b High Rate Wireless Local Area Networks, Intel,
http://www.intel.com/network/documents/pdf/wireless_lan.pdf, read 24.4.2001
- [5] Higher Education Survey Results, Proxim,
<http://www.proxim.com/markets/education/hsurvey.shtml> , read 2.5.2001
- [6] Takala, T. 1991. Kasvatussosiologia, Werner Söderström Oy, ISBN 951-0-20513-3
- [7] Ziehe, T. 1991. Uusi nuoriso - epätavanomaisen oppimisen puolustus. Tampere: Vastapaino.
- [8] Tervo, J. 1993. Hapuilua ja hallintaa. Tampereen yliopisto. Acta Universitatis Tampereensis Ser A 387

- [9] Alle kymppitonin sylimikrot, Mikrobitti 5/2001, Helsinki Media
- [10] Personal Area Networks: Near-field intrabody communication, Zimmerman, <http://www.research.ibm.com/journal/sj/mit/sectione/zimmerman.html>, read 29.5.2001
- [11] Technology plan, LenapeTech, 2001-2003, <http://www.lenape.k12.pa.us/techplan/tp2k1fin.pdf>

Chapter 5

- [1] Langattomat lähiverkot, Tietokone-lehti, 11/1999, Helsinki Media
- [1,5] Langaton kaista laajenee, Mikro PC, 9/2000, Talentum
- [2] Langattoman lähiverkon ytimessä, Tietokone-lehti, 3/2001, Helsinki Media
- [3] Nokia Operator Wireless LAN, White paper, 2000
- [4] Discussions with Lucent importer Daimler Finland personal on the phone 11/2000
- [5] x10.com home page, <http://www.x10.com/>, read 18.5.2001