

# **DIPLOMITYÖ**

Taneli Roimola

2007



LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
DIGITAALISEN VIESTINTÄTEKNIIKAN /  
TIETOTEKNIIKAN OSASTO

## **LAAJAKAISTAYHTEYKSIEN VERTAILUA KÄYTTÄJÄN JA RAKENNUTTAJAN NÄKÖKULMASTA**

Diplomityön aihe on hyväksytty Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietotekniikan osastoneuvostossa 13.12.2006

Työn tarkastajina ja ohjaajina toimivat professori Esa Kerttula ja johtaja Osmo Ruuska.

Lappeenrannassa 31.5.2007

Taneli Roimola

Teknologiapuistonkatu 2 A 6

53850 Lappeenranta

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Tietotekniikan osasto

Roimola, Taneli Antti Johannes

### **Laajakaistayhteyksien vertailua käyttäjän ja rakennuttajan näkökulmasta**

Diplomityö  
2007

61 sivua, 9 kuvaa, 11 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Professori Esa Kerttula  
Johtaja Osmo Ruuska

Hakusanat: access-yhteys, ADSL, Flash OFDM @450, kuitu, laajakaista, langaton, mobiili, WiMAX ja WLAN

Diplomityön tarkoituksena on selvittää eri laajakaistatekniikoiden ominaisuuksia, ja verrata niitä käyttäjien ja rakennuttajien näkökulmaan. Miten käyttäjät suhtautuvat tekniikan kehittymiseen, ja mitä he ovat valmiita maksamaan siitä. Ovatko näkemykset rakentajien kanssa samansuuntaisia, vai onko tekniikka edellä käyttäjiä? Näihin kysymyksiin pyrittiin saamaan vastaus tässä diplomityössä haastatteleamalla molempia osapuolia ja vertailemalla vastauksia.

Laajakaistayhteydet ovat lähes kaikkien saatavilla nykypäivänä. Suurin osa yhteyksistä on toteutettu kuparitekniikoilla, joista ADSL on yleisin kaapeli-TV ratkaisun kanssa. Harvemmin asutuilla tai muuten hankalasti tavoitettavilla alueilla laajakaistayhteydet ovat toteutettu langattomin ratkaisuin WiMAX- tai @450-tekniikoilla. Laajakaistayhteyksien kriteerinä on ollut 256 kbit/s nopeus, mutta nykyään käyttäjien keskiarvo on noussut 2 Mbit/s nopeuteen.

Nopeudet vaikuttavat sovelluksiin, mitä voidaan käyttää. Nykyään Internetin kautta on saatavilla monipuolisesti erilaisia sovelluksia ja viestintätapoja. Vaatimukset laajakaistayhteyksiltä ovat erilaisia; toiset vaativat reaaliaikaisuutta ja suurta nopeutta ja samalla toiset tyytyvät vähempään. Kaikille yhteyksille on kuitenkin yhteistä se, että niiden käyttövaatimukset ovat kasvaneet jatkuvasti.

Tulevaisuutta on pyritty kartoittamaan tekniikoiden mahdollisesta kehitysnäkökulmasta, sekä sillä, miten muualla maailmassa edetään laajakaistatekniikoiden kanssa. Oman vivahteen kehitykseen tuovat kansalliset tarpeet ja resurssit.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Department of Information Technology

Roimola, Taneli Antti Johannes

### **Broadband techniques comparison between user and builder view**

Master's thesis  
2007

61 pages, 9 figures, 11 tables and 1 appendix

Examiners: Professor Esa Kerttula  
Director Osmo Ruuska

Keywords: access-connections, ADSL, broadband, Flash OFDM @450, fiber, mobile, WiMAX, wireless and WLAN

The intent of the thesis is to clarify features of different broadband techniques and compare those between in view of users and builders. How users react to development of the techniques and are they willing to pay for it? Are the visions of operators and users parallel or is techniques going ahead of users needs? These were the questions, for which answers were tried to find in this thesis by interviewing both parties and comparing the results.

The broadband connections are nowadays available almost for everybody. Most of the connections are done by using copper techniques, from which ADSL is the most common along with cable TV. Wireless techniques, like WiMAX or @450, are used in sparsely populated or difficult reachable areas. The criterion of broadband has been as slow as 256 kbps data transfer rate, but nowadays users are averagely using 2 Mbps speeds connections.

The speeds effect to the applications, which can be used. Nowadays it is possible to get widely different information via Internet, and use many different applications and communications methods. The requirements of the applications differ depending of the user; some needs real-timing and high speed while for some other real-timing and high speed is not such a high priority issue. However for all the applications is common that the requirements have risen all the time.

The requirements of future have been tried to evaluate both in the perspective of possible techniques, and how other countries are progressing with broadband techniques. Also domestic needs and resources make own nuance to the development.

## ALKUSANAT

Diplomityöni laajakaistayhteyksien vertailusta käyttäjän ja rakennuttajan näkökulmasta tein TeliaSoneran toimesta Lappeenrannassa. Laajakaistayhteyksistä tehtiin samaan aikaan kaksi erillistä työtä, joista tämä toi teknisen näkökulman aiheeseen. Tiina Laurila Vaasan yliopiston hallintotieteiden tiedekunnasta käsitteli pro gradu -tutkimuksessaan laajakaistayhteyksien aluetieteellistä näkökulmaa. Työni alkoi keväällä 2006, ja valmistui kesällä 2007. Tänä aikana olen ehtinyt havaitsemaan, kuinka kehittyvää tietoliikennemaailma on - omatkin oivallukset ovat tulleet lehtiin jo moneen kertaan. Työtä tehdessäni olen havainnut, kuinka tietoa ja hyviä näkemyksiä on olemassa laajalti Suomessa, sekä maailmalla. Suurimpana ongelmana pidän tiedon ja näkemysten löytämistä. Tietoliikennemaailman nopea ja jatkuva kehittyminen vaikuttaa siihen, että työni sisältämä tieto tulee vanhenemaan nopeasti, mutta työni antaa tällä hetkellä näkemyksen nykyhetkestä.

Kiitos TeliaSoneralta ohjaajinani olleille johtaja Osmo Ruuskalle ja Satu Wivolin-Järviselle. Kiitos kaikille haastatteluihin osallistuneille, jotka toivat osallistumisellaan laajakaistayhteyksien rakentajien ja käyttäjien näkökulman työhön. Erityiskiitos professori Esa Kerttulalle, joka sai idean jalostumaan diplomityöksi.

Lappeenrannassa 31.5.2007

Taneli Roimola

# SISÄLLYSLUETTELO

## LYHENTEET

## KUVAKKEET

## STANDARDIT

## OSI-MALLI

<b>1. JOHDANTO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. LAAJAKAISTATEKNIIKAT.....</b>	<b>15</b>
2.1 KUPARI.....	16
2.1.1 ADSL.....	18
2.1.2 ADSL 2+.....	21
2.1.3 VDSL.....	22
2.1.4 SHDSL.....	23
2.1.5 EFM.....	23
2.1.6 Kaapeli-TV.....	24
2.1.7 Ethernet.....	24
2.1.8 Muut.....	25
2.2 KUITU.....	26
2.3 LANGATON.....	28
2.3.1 WiMAX.....	30
2.3.2 @450 (Flash-OFDM).....	31
2.3.3 WLAN (Wifi).....	32
2.3.4 Mobiili.....	36
<b>3. TEKNIIKAN VALINNOJA RAKENTAJAN NÄKÖKULMASTA.....</b>	<b>39</b>
3.1 TEKIJÄNOIKEUDELLINEN NÄKÖKULMA.....	40
3.2 PALVELUOPERAATTORI / VERKKO-OPERAATTORI.....	41
3.3 KUPARI.....	42
3.4 KUITU.....	42
3.5 WIMAX.....	44
3.6 ERILAISIA RAHOITUSRATKAISUJA TOTEUTUKSEEN.....	46
<b>4. KÄYTTÄJÄN PERUSTELUJA TEKNIIKAN VALINNALLE.....</b>	<b>47</b>
4.1 HAASTATTELUIJEN TULOKSIA.....	47
<b>5. JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>52</b>
<b>6. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄÄ.....</b>	<b>56</b>
<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>57</b>
<b>LIITTEET</b>	

## LYHENTEET

3GPP2	3rd Generation Partnership Project 2
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANSI	American National Standard Institute
AP	Access Point
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CAP	Carrierless Amplitude and Phase modulation
CCA	Copper, Chrome, Arsenic (kupari, kromi, arseeni)
CMTS	Cable-Modem Termination System
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection
DMT	Discrete Multitone modulation
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specifications
DRM	Digital Rights Management
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
ECC	Electronic Communications Committee
EDGE	Enhanced Data GSM Environment
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
EPON	Ethernet Passive Optical Network
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDDI	Fibre Distributed Data Interface
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum
Flash-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff, Orthogonal Frequency Division Multiplexing
FTTB	Fibre to the building, kuitu talojakamoon
FTTC	Fibre to the curb, kuitu katujakamoon
FTTH	Fibre to the home, kuitu kotiin
FTTN	Fibre to the node, kuitu alueelle
FTTP	Fibre to the premises, kuitu kiinteistöön
GMT	Greenwich Mean Time
GPRS	General Packet Radio Services

GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communication
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
ITU-R	International Telecommunications Union, Radiocommunications
kbit/s	kilobits per second
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
Mbit/s	Megabits per second
MDF	Main Distribution Frame
MHz	Megahertsi
NMT	Nordisk Mobiltelefon
OSI	Open System Interconnection
P2MP	point-to-multipoint, monipistetopologia
PAL	Phase Alternating Line
PLC	Power Line Communications
POTS	Plain Old Telephone System
QAM	Quadrante Amplitude Modulation
QoS	Quality of Services
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
TAG	Technical Advisory Group
TCP	Transmission Control Protocol
TC-PAM	Trellis Coded Pulse Aplitude Modulation
TDMA	Time Division Multiple Access
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Services
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WWW	World Wide Web



## KUVAKKEET



ATM-Switch

ATM-kytkin



Bridge

Silta



Computer

Tietokone



DSLAM

DSLAM



Firewall

Palomuuuri



House

Talo



Hub

Keskitin, toistin



Internet cloud

Internet pilvi



Laptop

Kannettava tietokone



Mobile

Matkapuhelin



Optical transport

Optinen kytkin



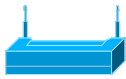
Router

Reititin



Switch

Kytkin



Wireless access point

Langaton tukiasema

## STANDARDIT

802.1 Määrittää verkkojen välisiä ratkaisuja, osoitteiston, yhdysliikenteen ja arkkitehtuurin

802.2 Siirtoyhteyden ohjaus LLC (Logical Link Control), kaikille standardiverkoille yhteinen siirtoyhteysprotokolla (Määrittää kahden aseman välisen liikennöinnin kulun)

802.3 Kuulostelu ja törmäyksen tunnistusväylä (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), sisältää Ethernetin ja Starlanin

802.4 Määrittelee valtuudenvälitykseen perustuvan vuoroväylän ja fyysisen kerroksen määrittelyt (Token Bus)

802.5 Määrittelee vuoreenkaan pääsymenetelmät (Token ring)

802.6 Määrittelee alueverkkoja. (MAN, Metropolitan Area Network) (Määrittelee runkoverkon ja rakennuksissa olevien lähiverkkojen liittämisen kaupunkiverkkoon.)

802.7 Laajakaistaverkko Broadband TAG, laajakaistatekniikan neuvoa antava ryhmä suositeltavat käytännöt kaapelointijärjestelmille

802.8 Määrittelee valokuidun käytön, ja antaa teknistä ohjausta Fiber Optic TAG

802.9 Määrittelee puheen ja kuvan integroinnin lähiverkossa, Integrated Services LAN

802.10 LAN/MAN tietoturva Security

802.11 Langattomat lähiverkot:

802.11a siirtokaista jota käytetään eniten Pohjois-Amerikassa, teoreettinen bittinopeus 54Mbit/s toimii 5,8 GHz:n taajuudella

802.11b siirtokaista, joka toimii 2,4 GHz:n taajuudella ja teoreettinen bittinopeus on 11Mbit/s

802.11c takaa tehokkaan silloitetun yhteyden access pointtien välillä

802.11d tarkoitus taata 802.11 standardin globaali laajeneminen, määrittellä fyysisen kerroksen vaatimuksia

802.11e sisältää palvelunlaatuun (QoS) ja verkon suorituskyvyn parantamiseen liittyviä laajennuksia

802.11f määrittelee liityntäpisteiden välisen liikennöinnin. IAPP-protokollaa (Inter Access-Point Protocol) tarvitaan mm. päätelaitteen liikkuvuuteen.

802.11g siirtokaista, joka toimii 2,4 GHz:n alueella ja teoreettinen bittinopeus on 54Mbit/s

802.11h sisältää lisämääritykset 5 GHz:n taajuusalueen käytölle Euroopassa

802.11i sisältää tietoturvaan liittyviä parannuksia

802.11j loppukirjaimensa mukaisesti sisältää Japania koskevat laajennukset

802.11n siirtokaista (uusin), joka mahdollistaa 250+ Mbit/s teoreettiset nopeudet molemmilla 2,4 ja 5 GHz taajuuksilla

802.12 Demand Priority, esitellään 100VG-AnyLAN tekniikka

802.14 Kaapeli-TV pohjainen tiedonsiirto Cable-TV Modem

802.15 Wireless Personal Area Networks (WPAN), johon kuuluu mm. Bluetoothin kehitys

802.16 Standard Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, kiinteän langattoman laajakaistan standardi

802.17 Resilient Packet Ring, tukee verkkojen joustavaa ja tehokasta tiedonsiirtoa

802.18 Radio Regulatory TAG, kehittää radiopohjaisten järjestelmien aktiviteettejä

802.19 Coexistence TAG, määrittelee vastuita olemassa olevien ja kehitteillä olevien standardien parissa työskenteleville

802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA), IP-pohjainen rajapinta langattomille palveluille

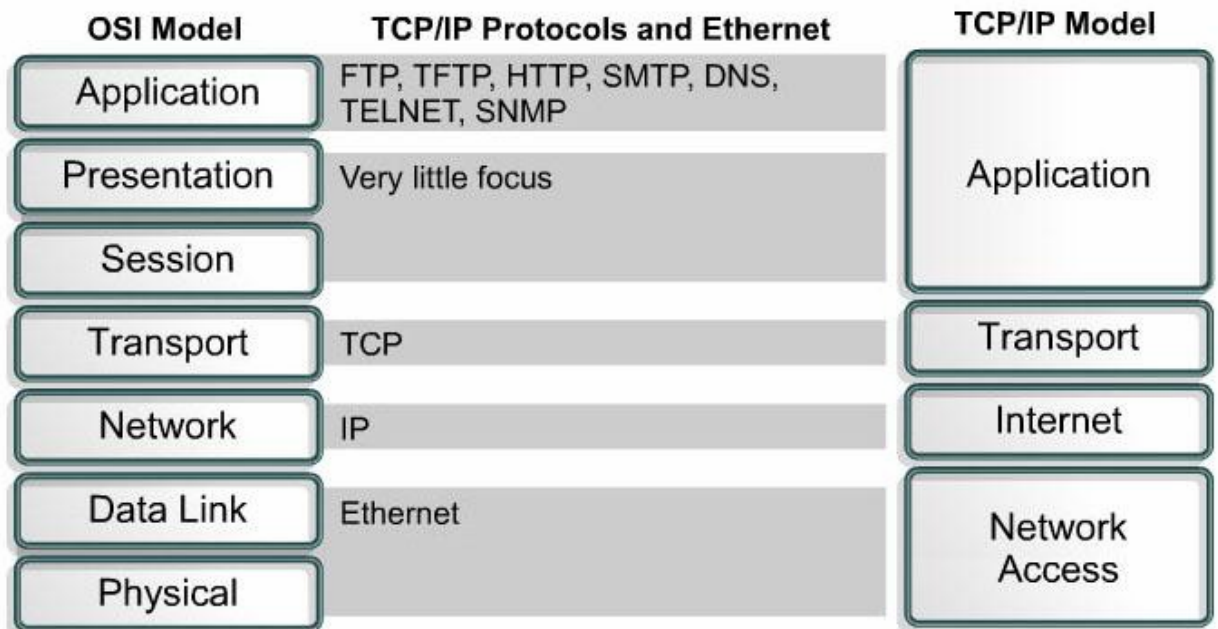
802.21 Media Independent/Handoff tai WRAN kehitellään standardia, joka mahdollistaa kanavan vaihdon verkkotyyppeiden välillä

802.22 Wireless Regional Area Networks

(IEEE, 2006)

## OSI-MALLI

Kolme ylintä kerrosta liittyvät toiminnaltaan sovelluksiin ja neljä alinta kerrosta datan kuljettamiseen.



Kuva 1. OSI-malli (The Open Systems Interconnection Basic Reference Model), sovelluksien sijoittuminen ja vertailu TCP/IP-malliin (Cisco 1., 2002)

### 7. kerros: Sovelluskerros (Application)

Käyttäjää lähinnä oleva kerros, joka toimii perustana eri osapuolien väliselle kommunikoinnille. Tämä kerros synkronisoi ja luo sopimukset menettelytavoille, joilla käyttäjä saa verkkopalvelunsa toimimaan.

### 6. kerros: Esitystapakerros (Presentation)

Tässä kerroksessa varmistetaan sovelluskerroksen järjestelmien toimivuus keskenään. Tietojen tiivistäminen ja salaus kuuluvat myös esitystapakerrokselle.

### 5. kerros: Istuntokerros (Session)

Nimensä mukaisesti kerros luo, hallitsee ja lopettaa kahden sovelluksen väliset istunnot. Esitystapakerros käyttää tämän kerroksen palveluja ja tämä tarjoaa menetelmät tehokkaaseen tiedonsiirtoon, palveluluokitteluun ja ylempien kerrosten ongelmien poikkeusraportointiin.

#### 4. kerros: Kuljetuskerros (Transport)

Pyrkii tarjoamaan luotettavan datan kuljetuspalvelun ylempien kerrosten sovelluksille. Kerros muodostaa, ylläpitää ja purkaa yhteydet hallitusti. Näiden ominaisuuksien varmistamiseksi kerros käyttää virheentunnistusta, virheenkorjausta ja vuo-nohjausta.

#### 3. kerros: Verkkokerros (Network)

Mahdollistaa toisistaan erillään olevien verkkojen jäsenten yhteyden ja polunvalinnan. Reititys ja looginen osoitteistus kuuluvat tähän kerrokseen.

#### 2. kerros: Siirtoyhteyshierarkia (Data link)

Mahdollistaa datan siirron fyysistä linkkiä käyttäen. Siihen kuuluu fyysinen osoitteistus, verkkotopologia, verkkomedian saanti ja virheentunnistus. Suurin osa verkkolaitteista toimii tällä kerroksella (kytkimet).

#### 1. kerros: Fyysinen kerros (Physical)

Kerros määrittelee sähköiset, mekaaniset, proseduraaliset ja toiminnalliset spesifi-kaatiot päätejärjestelmille, johon kuuluu jännitetasot, jännitevaihteluiden ajoitus, fyysiset siirtonopeudet, tiedonsiirron enimmäisetäisyydet ja fyysiset liittimet.

(Cisco 1., 2002)

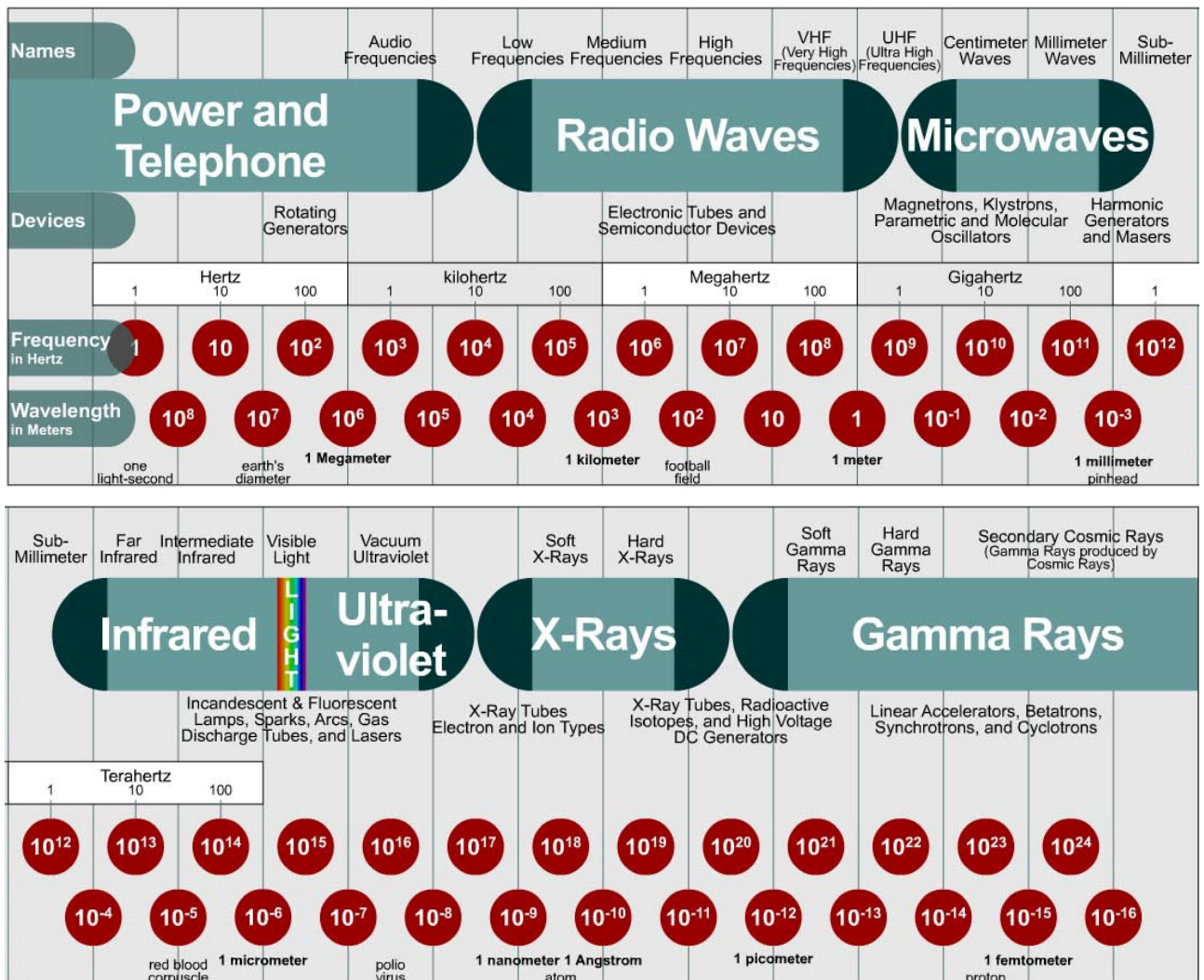
## 1. JOHDANTO

Suomessa on noin 1 500 000 kotitalouksien ja yritysten tilaamaa laajakaistaliittymää. Suomalaisista 97 % asuu alueella, jonne voidaan asentaa jonkinlainen laajakaistayhteys. Kuluvan vuoden aikana tavoitteena on yhdistää 10 % talouksista valokuituverkkoon, joka tarkoittaa 10 - 100 Mbit/s yhteyksiä kuluttajille. Kuluttajien tarve nopeampiin yhteyksiin on huomattavissa liittymien hankinnoissa, sillä 8 Mbit/s yhteys on yksi suosituimmista uusista liittymänopeuksista. (Laajakaistainfo, 2007)

Diplomityön tarkoituksena on selvittää eri laajakaistatekniikoiden ominaisuuksia. Selvitettävänä oli, näkevätkö operaattorit ja käyttäjät tilanteen samalla tavalla. Tulevaisuuden näkymät tekniikan kehityksessä ovat myös kiinnostuksena kohteena. Teoriaosuudessa selvitetään kuparin, kuidun ja langattomien yhteyksien teknisiä ominaisuuksia ja niiden toimintaperiaatteita. Käsiteltävät yhteydet toimivat käyttäjän ja ensimmäisen pisteen välillä operaattoreihin eli access-yhteyksinä. Eri standardien avulla kerrotaan tekniikoiden kehityksestä ja parantumisesta. Teoriaosuuden jälkeen käydään läpi laajakaistatekniikoita rakentajan näkökulmasta. Näkemyksen asiaan toivat asiantuntijat operaattori-, sähkö-, viestintä- ja maakuntatasolta. Haastattelut toivat kokonaisvaltaisemman kuvan tekniikoiden soveltuvuudesta käytäntöön. Lisäksi lähettiin käyttäjille haastattelututkimus, jolla tutkittiin heidän suhtautumista käyttämäänsä tekniikkaan. Käyttäjiltä saatu informaatio on taulukoitu. Tekniikat näyttävät toimintoiltaan käyttäjälle samoilta, mutta valintaperusteina rakentamiselle ja ostamiselle usein on vain raha. Langattomuus on yleistynyt paljon, mutta tällä hetkellä näyttäisi siltä että kuitu tarjoaa parhaiten edellytykset tulevaisuuden tarpeille.

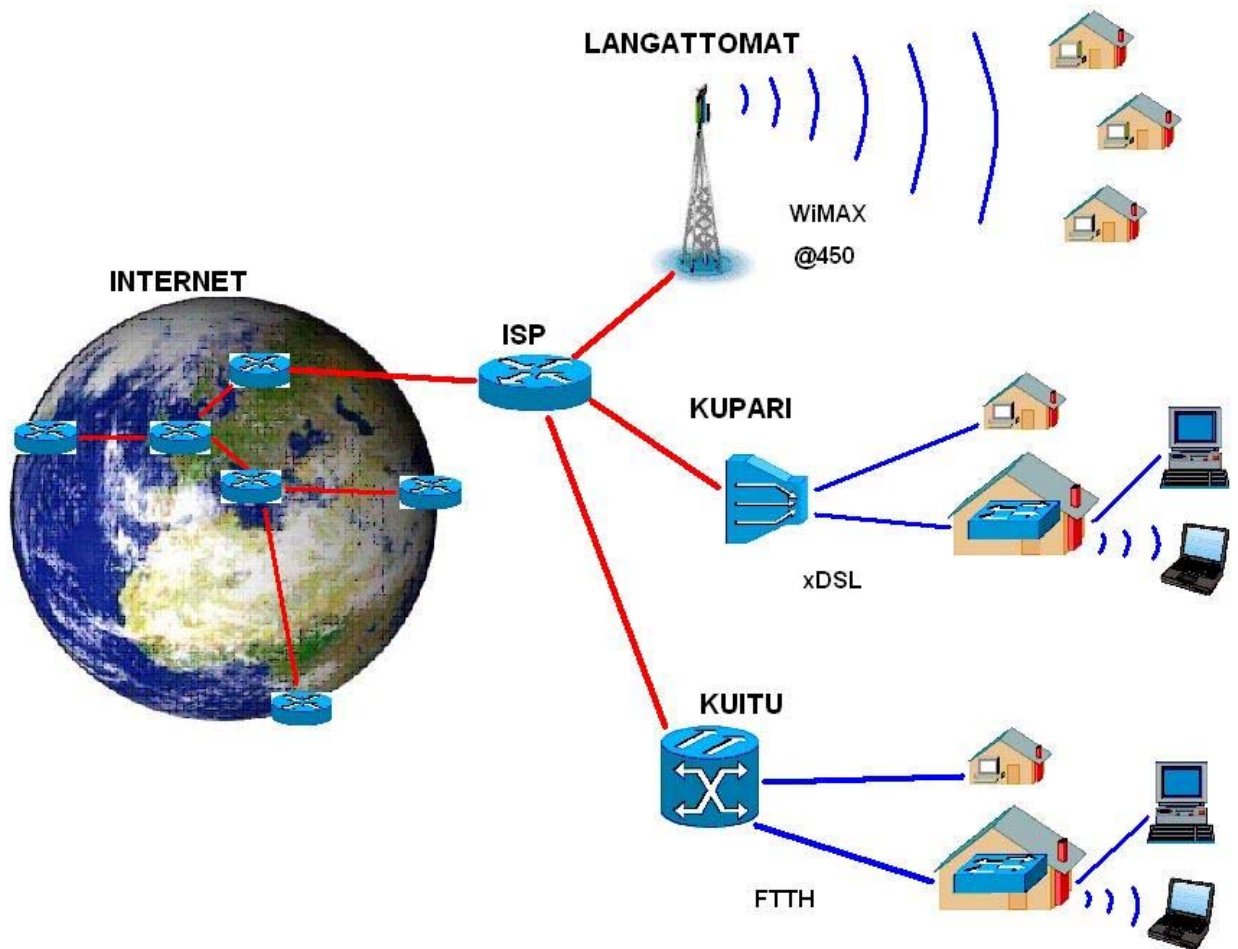
## 2. LAAJAKAISTATEKNIIKAT

Laajakaistojen, kuten mobiiliyhteyksien markkinoinnissa käytetään tapaa, jossa kerrotaan maksiminopeus ja maksimikantama samassa yhteydessä. Tämä pitää varsin harvoin paikkansa, koska käytetyistä tekniikoista johtuvat häiriötekijät ovat usein huonontamassa signaalia. Näin ollen maksimikantaman päässä käytetään usein miniminopeutta.



Kuva 2. Sähkömagneettisen säteilyn spektri (Cisco 1., 2002)





Kuva 3. Access yhteydet

## 2.1 KUPARI

Suurin osa kupariyhteyksistä on tehty olemassa olevaa puhelinverkostoa käyttäen. Puhelinliikenne on varannut tästä vain 0 - 4 kHz:n alueen ja ISDN-tekniikka käyttää 80 - 120 kHz:n aluetta. Näiden jälkeen on jäänyt vielä paljon noin 1 MHz:iin asti ulottuvasta taajuusalueesta käyttämättä.

Lankaliittymien vähenemisen myötä olisi operaattorien kallis omaisuus linjoissa jäänyt vähentyvälle käytölle, ellei tiedonsiirtoa olisi lisätty datan muodossa siirrettäväksi. Ylläpitokustannukset säilyvät kuitenkin ennallaan, tai pikemminkin kasvavat linjojen ikääntyessä.

Valtioneuvosto on esittänyt 1. helmikuuta 2007 viestintämarkkinalain muutoksen vahvistamista, ettei se enää olisi velvollinen tarjoamaan kaikille lankayhteyttä. Syynä tähän on matkapuhelimien yleistynyt käyttö ja laaja peittoalue. Kehityksen myötä kuparitekniikat ovat myös parantuneet; tuotevalikoimat ovat monipuolistuneet, nopeudet ovat kasvaneet ja kantama on saavuttanut miltei lankapuhelinyhteyksien maksimietäisyydet.

Tietoliikenteelle, kuten muillekin tekniikoille, on tavanomaista, että siirtonopeuksiin vaikuttavat paljon kaapelin laatu ja pituus. Tämä ilmenee eri tekniikoiden soveltuvuudessa käyttökohteeseen.

Liikenneluokka	Liikenneparametrit	QoS-parametrit	AAL	Käyttö
CBR	PCR, CDVT	CDV, CTD, CLR, CER	1	Puhe, Video
VBR-rt	PCR, SCR, CDVT, BT	CDV, CTD, CLR, CER	2, 5	Puhe, Video
VBR-nrt	PCR, SCR, CDVT, BT	CTD, CLR, CER	2, 5	Puhe, Video
ABR	PCR, MCR, CDVT	CLR	5	Data
GFR	MCR, BT	ei mitään	5	Data
UBR/+w	CDVT	ei mitään	5	Data

**CBR: Constant Bit Rate (Vakionopeuden yhteydet)**

**VBR-rt: Real Time Variable Bit Rate (Tosiaikaiset vaihtelevan nopeuden yhteydet)**

**VBR-nrt: non-Real Time Variable Bit Rate (Ei-tosiaikaiset vaihtelevan nopeuden yhteydet)**

**ABR: Available Bit Rate (Käytettävissä olevan nopeuden yhteydet)**

**UBR+: Unspecified Bit Rate w/EPD/TPD (Määrittelemättömän nopeuden yhteydet + EPD/TPD-toiminnot)**

**UBR: Unspecified Bit Rate (Määrittelemättömän nopeuden yhteydet)**

**UBRw: Unspecified Bit Rate (Painotetut määrittelemättömän nopeuden yhteydet)**

**GFR: UBR w/ Guaranteed Frame Rate (Määrittelemättömän nopeuden yhteydet miniminopeustakuulla)**

**PCR: Peak Cell Rate (Maksiminopeus)**

**CDVT: Cell Delay Variation Tolerance (Viivevaihtelun toleranssi)**

**MCR: Minimum Cell Rate (Miniminopeus)**

**CTD: Maximum Cell Transfer Delay (Suurin siirtoviive)**

**CDV: Peak-to-peak Cell Delay Variation (Viilpeen vaihtelu)**

**BT: Burst Tolerance (Pursketoleranssi)**

**CLR: Cell Loss Ratio (Soluhävikkisuhde)**

**CER: Cell Error Ratio (Soluvirhe suhde)**

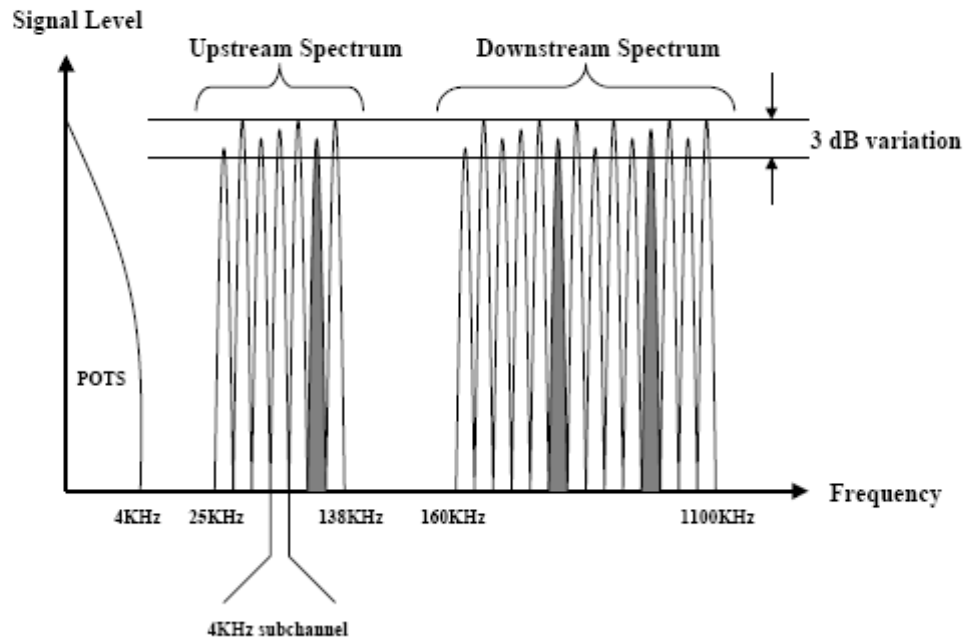
Kuva 4. Liikenteen luokittelu (Ginsburg, 2000)

### 2.1.1 ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) on kehittyntä modeemitekniologiaa, joka vastaa toiminnaltaan esimerkiksi V.32 ja V.90 modeemeja. Käytännössä tämä tarkoittaa kehittyneempää koodaustekniologiaa, jossa voidaan käyttää korkeamman tason kehystystapoja kuten ATM (Asynchronous Transfer Mode), protokollia kuten IP (Internet Protocol), sekä palveluja kuten www-yhteys ja monilähetykset. Tämä luo myös mahdollisuuden kuvata ADSL-tekniikkaa kerrostetun lähetystavan kautta. Tietoverkkoyhteisön sisällä toiminnot ovat kuvattu usein 7 pääkerroksen avulla OSI-viitemallin mukaisesti. Fyysisen kerroksen, eli kuparisen siirtotien, ja eri ADSL-koodaustekniikoiden yläpuolella viitemallissa sijaitsee ATM, jota käytetään useimpien toteutusten kehystystapana.

ATM luo perinteisesti piiriyhteyden lähettäjän ja vastaanottajan välille. Se pystyy säilyttämään eri liikennetyyppien palvelutason yhden linkin tai verkon yli tapahtuvan siirron aikana. ATM segmentoi kaikki liikennetyypit soluina tunnettuihin 53 tavun yksiköihin, joihin yhdistetään eri palvelutaso QoS (Quality of Services). Palvelutasoilla pystytään esimerkiksi antamaan kaistaa enemmän vaativalle puheyhteydelle ja pienentämään dataliikennettä, joka ei kuitenkaan kärsi siitä huomattavasti. Tämän liikenteen hallinta on todennäköisesti monimutkaisin alue ATM-tekniikassa. Tällä voidaan nostaa verkon suorituskykyä, koska runkolinjat tulevat helposti ruuhkahuipuissa ylitaluiksi, ja kytkimillä on rajallinen puskuritila. (Ginsburg, 2000)

### ADSL Discrete Multi-Tone (DMT) Spectrum



Kuva 5. ADSL-tekniikan taajuuksien käyttö (DCU, 2006)

ADSL-tekniikalla pystytään siirtämään dataa nykyisissä kuparipuhelinlinjoissa megahertsin taajuudella asti. Tavallinen puhelinyhteys POTS (Plain Old Telephone System) käyttää tästä 4000 alinta hertsiä. Datalle tarkoitetuista taajuuksista matalampi 20 - 160 kHz alue on kaksisuuntainen ja 240 - 1100 kHz on verkosta tilaajalle oleva. Näin säilytetään samanaikaisesti vanhan puhelimen toimivuus. Lisäksi moitteettoman toimivuuden takaamiseksi käytetään puhelinpistokkeissa jakosuodinta, vaikka taajuuksien välissä on reilu ero. Datalla lähetyskäyttöön käytetään 256 kantotaaltoa, joita aktivoimalla ja passivoimalla voidaan tarjota maksimissaan 1,5 - 8 Mbit/s asiakkaalle. Asiakkaalta pystytään tarjoamaan 1,5 Mbit/s nopeus maksimissaan verkkoon päin. (Koljonen, 2003)

Siirtotienä käytetään parikaapelia, jossa käytetty taajuusalue jaetaan kahteen taajuuskaistaan eli kanaviin (channels). Jako voidaan tehdä FDM (Frequency Division Multiplexing) tai Echo Cancellation-tekniikalla. Erona näillä on, että FDM erottelee meno- ja paluukanavat (upstream ja downstream) toisistaan erillään oleviksi taajuusalueiksi. Echo Cancellation ei erota taajuusalueita, vaan laittaa ne päällekkäin erottain kanavien sisällön vastaanottajan päässä paikallisella kaiunpoisto-menetelmällä. Nämä kaksi taajuusaluetta puolestaan jaetaan vielä pienemmiksi alikanaviksi koodausmenetelmiä käyttäen.

xDSL-tekniikassa on useita erilaisia koodaukseen käytettyjä standardeja. Signaalin koodaustavalla pystytään vaikuttamaan yhteyden nopeuteen ja häiriön sietokykyyn (Signal to Noise ratio). Yleisimpiä xDSL-yhteyksien käyttämiä koodaustapoja ovat 2B1Q (two-Binary one-Quartenary), QAM (Quadrante Amplitude Modulation), CAP (Carrierless Amplitude and Phase) ja DMT (Discrete Multitone). Näistä DMT:stä on tullut suosituin tapa ANSI (American National Standard Institute) ja ETSI (European Telecommunications Standards Institute) päädyttyä pelkästään tähän standardiin ja hylättyä toinen kilpailija CAP. Tämä diskreetti monitaajuustekniikka jakaa siirtotien useisiin kapeisiin alitaajuusalueisiin. ADSL voi esimerkiksi jakautua 256 kpl alitaajuuteen, jotka sijaitsevat 4 kHz välein (Kuva 5). xDSL-laite voi säädellä jokaisen alitaajuusalueen bittitiheyttä linjan signaalintason mukaan. Häiriölliset aaltopituudet pystytään poistamaan käytöstä ja palauttamaan signaalin parannuttua (Kuvassa 5. harmaat alitaajuusalueet). (Ginsburg, 2000)

Käyttäjältä lähtevä yhteys päättyy MDF-keskukseen (Main Distribution Frame), jossa parikaapelit keskitetään ja suodatetaan POTS/ISDN liikenne dataliikenteestä. Keskuksessa sijaitsee usein DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), jossa tapahtuu ADSL-koodauksen purku. Yhteen DSLAM:iin pystytään liittämään käyttäjiä valmistajasta ja laitteistosta riippuen muutamista kymmenistä aina moniin satoihin. Käyttäjän ja keskuksen välissä voi myös olla RAM (Remote Access Multiplexer), jota käytetään keräämään lähiseudun DSL-signaalit lähtemään nopeampaa siirtotietä DSLAM:lle. DSLAM siirtää ADSL-päätelaitteilta saadun datan edelleen ATM-verkkoa pitkin palvelun tarjoajan ISP-kytkimeen (Internet Service Provider). (DSL Forum, 2003)

### 2.1.2 ADSL 2+

ADSL- standardista on olemassa myös kevennetty G-Lite-versio (tunnetaan myös nimellä Splitterless ADSL), jonka nopeus on 1,5 Mbit/s käyttäjälle ja käyttäjältä 0,5 Mbit/s. Kevennetty versio on tehty helppokäyttöiseksi Plug-n-Play laitteeksi, ja sillä on pyritty pääsemään eroon POTS-suotimista. ADSL2 ja ADSL2+ versioihin on olemassa Lite-versiot. (DSL Forum, 2003)

ADSL-tekniikkaa kehitettiin ja sille ilmestyi uudempia versioita, jotta suorituskyky ja yhteensopivuus paranisivat. Suurimmalta osin toteutus tapahtui paremman koodauksen ansiosta. Nopeampi yhteys edellyttää lähes aina lyhyttä matkaa puhelinkeskukseen. Myös linjojen kunto vaikuttaa etäisyyteen. (Kuuskaista, 2006)

ADSL2 nopeus voi olla 12/1 Mbit/s ja matkaa saa olla noin 3,6 km keskukselle. Käytetty taajuusalue jakaantuu 2 - 140 kHz uplink ja 140 kHz - 1,1 MHz downlink välillä. (Kuuskaista 2006). Vertailun vuoksi ADSL2 pystyy siirtämään ADSL tasoista 8/1 Mbit/s nopeutta 6 % pitemmän matkan. Uudempi tekniikka pystyy myös seuraamaan siirtotien laatua reaaliaikaisemmin ja säätelemään nopeutta sen mukaan. (DSL Forum, 2003)

ADSL2 omaa verkon diagnosointia ja virrankulutuksen säätelyä edistäviä ominaisuuksia. Laitteisto pystyy tutkimaan verkon tilaa ja auttamaan vikojen paikallistamisessa. Käyttäjille tarjottavan yhteyden suorituskykyä voidaan mitata tarkemmin ja tarjota mahdollisimman suurta nopeutta. Perus ADSL:n toimiessa täydellä teholla riippumatta kuormituksesta pystyy ADSL2-laitteisto havaitsemaan tilanteen ja siirtymään vähemmällä kuormituksella virransäästötilaan. Uudemmat laitteistot tarjoavat mahdollisuuden taajuusalueen tarkempaan kanavointiin ja määrittämään tiettyjen kanavien sovellukset. Tämä on hyödyllistä reaaliaikaisuutta vaativissa sovelluksissa, kuten puheessa. Lisäksi modulointitekniikkaa muuttamalla TC-QAM (Trellis-Coded Quadrature Amplitude Modulation) on pystytty kasvattamaan tilaajajohtojen pituutta. (DSL Forum, 2003)

ADSL 2+ pystyy 24/1 Mbit/s siirtonopeuteen ja etäisyys keskukselle voi tällöin olla noin 1,5 km. Tämä nopeuden kasvatus on saatu aikaiseksi kasvattamalla käytettyä taajuusaluetta entistä suuremmaksi. Aiemmat ADSL versiot käyttivät 1,1 MHz asti ylettyvää taajuusaluetta, mutta ADSL2+ pystyy käyttämään 140 kHz - 2,2 MHz taajuuksia. Suuremmat taajuudet tuovat kuitenkin alttiuden häiriöille ja tästä syystä kantama on noin puolet aiempiin ADSL-tekniikoihin verrattuna. ADSL2+ pystyy käyttämään myös pelkästään 1,1 - 2,2 MHz taajuusaluetta tiedonsiirtoonsa, jolla pystytään vähentämään ristiinkuuluvuutta (toisen parikaapelin aiheuttama häiriö) ja estämään aiempien ADSL-versioiden signaalin kuuluminen ADSL2+-yhteydelle. (DSL Forum, 2003)

### 2.1.3 VDSL

VDSL (Very High speed Digital Subscriber Line) mahdollistaa DSL-tekniikoiden nopeimpia yhteyksiä, kuitenkin lyhyillä välimatkoilla noin 26 Mbit/s molempiin suuntiin. Yhteys voi olla symmetrinen tai muokata modeemiasetuksia tarpeen mukaan sopivasti asymmetriseksi, jolloin paluukanavalle voidaan antaa enemmän taajuuskaistaa. VDSL-yhteyden pituus voi olla noin 800 metriä, joka rajoittaa sen käytettävyyttä haja-asutusalueilla. (DSL Forum, 2001)

Suurien nopeuksien mahdollistajana on laaja taajuusalue (300 kHz - 30 MHz). Korkeat taajuudet vaativat kaapeloinnilta laatua ja hyvää suojausta. Koodauksena käytetään tehokasta DMT-tekniikkaa. (DSL Forum, 2001)

VDSL2 on kaikkein nopein DSL-tekniikka. Uusi standardi käyttää myös DMT-modulaatiota ja mahdollistaa yhdessä kupariparissa 100 Mbit/s symmetriset nopeudet aina 300 metrin etäisyydelle asti. Tekniikka on kuitenkin hyvä esimerkiksi kerrostaloihin, joissa voidaan rakennukseen tuleva kuituyhteys jakaa asuntoihin tekemättä uusia kaapelointeja. Tällöin asunnoissa käytettäisiin edelleen puhelimen parikaapeleita.

#### 2.1.4 SHDSL

SHDSL (Symmetric High-Speed Digital Subscriber Line) on standardoitu versio aiemmin käytetyistä valmistajakohtaisista ratkaisuista HDSL ja SDSL.

HDSL on vanhimpia DSL-tekniikoita, se ei tue kantataajuusalueita, mutta on symmetrinen yhteysnopeudeltaan molempiin suuntiin. HDSL:stä on tehty kahta erilaista koodaustapaa käyttävää versiota 2B1Q ja viimeisempänä CAP. HDSL käyttää 80 - 240 kHz taajuusalueita, joten samassa kaapelissa pystytään käyttämään myös PSTN ja ISDN-yhteyksiä. Suorituskyvyltään se pystyy noin 2,3 Mbit/s nopeuksiin noin 3 km matkoilla, jotka ovat samoja SHDSL kanssa.

SHDSL on kehitetty SDSL-tekniikasta; tätä termiä käytetään edelleen joissain yhteyksissä. Se ei tue kantataajuusalueita, ja se käyttää symmetristä siirtotietä molempiin suuntiin. Koodauksena SHDSL:ssä käytetään TC-PAM-tekniikkaa (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation). Tekniikassa on mahdollista käyttää kahta parikaapelia, jolloin nopeus saadaan tuplattua. Symmetristen siirtoteiden takia tekniikkaa käytetään paikoissa, joissa tarvitaan myös paluukanavalta suurempaa kaistaa. Tavallisen lankapuhelimen käyttö vaatii oman erillisen parikaapelin.

#### 2.1.5 EFM

EFM (Ethernet in the First Mile) on yleisnimitys 802.3ah standardissa määritellyille liityntäverkkotekniikoille. Yhteistä näille on, että ne perustuvat kaikki Ethernet-tekniikkaan. Näin saadaan hyötynä yhtenäisesti käytettyä Ethernet-tekniikkaa lähiverkosta aina suurempiin alueisiin. Protokollamuunnokset vähenevät tällöin ja kuluaikaviive pienenee, joka lisää kapasiteettiä, ja näin selvittää yksinkertaisemmillä laitteilla. EFM toteutukseen on määritetty kolme päätopologiaa, joita voidaan käyttää. Kuparilla (EFMC) käytetään olemassa olevaa puhelinverkkoa 10 Mbit/s nopeudella 750 metrin etäisyyteen, jossa käytetään VDSL-tekniikkaa tai 2 Mbit/s nopeudella 2700 metrin etäisyyteen, jossa käytetään SHDSL-tekniikkaa. Kuidulla (EFMF) käytetään yksimuotokuitua 10 ja 100 Mbit/s nopeudella 10 km etäisyydelle. EFM PON (EFMP) käytetään passiivisessa optisessa verkossa yksimuotokuitua 1000 Mbit/s nopeudella 20 km etäisyyteen. (Teletekno, 2006)



### 2.1.6 Kaapeli-TV

Kaapeli-TV käyttää kaupunkialueille rakennettua TV:n verkkoa. Tekniikka on voimakkaasti epäsymmetrinen ja pystyy tarjoamaan 35 Mbit/s nopeutta asiakkaalle päin ja 1,5 Mbit/s nopeutta asiakkaalta. Nopeudet ovat suuria verrattuna perinteiseen ADSL-tekniikkaan, mutta on muistettava, että kokonaiskaista jaetaan muiden yhtäaikaisten käyttäjien kanssa. Tämä voi ruuhka-aikana laskea saatavilla olevaa nopeutta.

Televioliähetyksiin käytetään koaksiaalikaapelia, joka toimii myös datalähetyksillä. Kaapeli-TV käyttää PAL -standardia (Phase Alternating Line) ja 8 MHz kanavia tv-lähetyksiin per kanava. Samanlaisia kanavia käytetään myös tiedonsiirtoon ja yksi kanava pystyy siirtämään tietoa 30 - 40 Mbit/s. CMTS (Cable-Modem Termination System) tarjoaa käyttäjän ja Internetin välisen reitityksen tarvittavan kytkennän sekä integroi tulevan ja lähtevän liikenteen. (Cisco 2., 2002)

Kaapeliverkkojen tärkein standardi on Docsis (Data Over Cable Service Interface Specifications), jota johtaa CableLabs -yhteisö. Suomen kaapelitelevisioverkot perustuvat EuroDocsis 1.1 standardiin. Uudempiakin standardeja on määritelty. EuroDocsis 2.0 julkaistiin vuonna 2004 ja se pyrki paluusuunnan kapasiteetin kasvattamiseen. Vuonna 2006 julkaistu Docsis 3.0 pyrkii hyödyntämään kokonaiskapasiteettia paremmin hyödyntäen nostamalla datanopeudet 160 Mbit/s asiakkaalle ja asiakkaalta 120 Mbit/s tasolle. (Laajakaistainfo, 2007)

### 2.1.7 Ethernet

Token ring- ja FDDI-lähiverkkotekniikoiden (Fibre Distributed Data Interface) kehitystyön pysähtyttyä on Ethernetistä tullut langattoman verkon lisäksi ainoita lähiverkkotekniikoita. Tekniikkaa on ruvettu käyttämään myös WAN ja nopeissa runkoyhteyksissäkin. Alunperin Ethernet kehitettiin 802.3 standardin kanssa erikseen, mutta yhteensopivuuden ansiosta jo alkuvaiheissa ovat käsitteet alkaneet tarkoittaa lähes samaa asiaa.

Ethernet on yleisnimi kaikille kilpavaraukseen törmäysentunnistuksella CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection) perustuville lähiverkoille, jollainen IEEE standardi 802.3 on. CSMA/CD on menetelmä, jossa vain asema kerrallaan voidaan lähettää viestejä jaetussa mediassa. Kaikki lähetyspyynnöt huomioidaan ja päätetään mitkä laitteet voivat lähettää kulloinkin, jotta kaikki saavat riittävän palvelun. (Cisco 1., 2002)

#### 2.1.8 Muut

Kun NMT-verkko (Nordisk Mobiltelefon) lopetti toimintansa Suomessa, on kadonnut myös koko maan kattava langaton verkko. GSM-verkko (Global System for Mobile communication) kattaa kuitenkin tiestöt ja ne alueet, joilla on asutusta. Tällä hetkellä ainoa koko maan kattava televerkko on satelliittioperaattoreiden kautta saatava. Kuluttajien kiinnostusta satelliittipalveluihin on karsinut vastaanottimien suuri koko ja palvelujen hinta. (AINO, 4/2005)

Satelliittilaajakaistaliittymä voidaan toteuttaa, joko kaksisuuntaisesti satelliittiin tai sitten, että asiakkaalta lähtevä liikenne käyttää jotain muuta tekniikkaa, kuten mobiili- tai modeemiyhteyttä. Satelliitin kautta voidaan saada 300 kbit/s - 1 Mbit/s laajakais-  
tayhteys asiakkaalle päin, mutta lähtevä liikenne on riippuvainen valitusta tekniikasta kuten modeemin nopeudesta. Tällä hetkellä Suomessa ei ole tarjolla satelliittilaajakaistan tarjoavaa operaattoria yksityiskäyttäjille, mutta yrityksille on Eutelsat Euroopassa.

PLC (Power Line Communications) käyttää sähköverkkoa datan siirtämiseen. Energiayhtiöt ovat yleisimpiä palvelun tarjoajia ja käyttävät tekniikkaa sähköverkon kaukovalvontaan ja ohjaukseen. Datasähköä varten tarvitaan tietokoneen ja pistorasian välille adapteri sekä kiinteistön sähköpääkeskukseen reititin. Reititin on yleensä kiinni sähkönkulutusmittarissa, ja se huolehtii tietoliikenteestä muuntamon ja asunnon välillä. Muuntamolle tulee yleensä perinteisin tietoliikenneyhteyksin toteutettu yhteys.

Tällä tekniikalla tiedonsiirtokapasiteetti on noin 2 Mbit/s ja siirtoetäisyys 300 metriä, joihin vaikuttavat valmistajakohtaisesti tuotteet. Lisäksi kodin sisällä nopeus voi olla 5 Mbit/s ja etäisyys 70 metriä. Nopeuteen vaikuttavat kaapelin yhteiskäyttö ja etäisyys muuntoasemalle.

Suomessa sähkö käyttää 50 Hz taajuutta ja datasähkö huomattavasti korkeampaa 15 - 30 MHz taajuutta. Datasähkölaitteiden on toimiakseen pystyttävä ottamaan huomioon, että sähköverkon kuormitus ei ole vakio. Datasähkön toiminta perustuu informaation sisältävän signaalin modulointiin kantoaaltoon OFDM-tekniikalla. Laajan taajuusalueen ansiosta pystytään vähentämään häiriöiden vaikutusta. Datasähkölaitteet voidaan kytkeä verkkoon joko induktiivisesti eli virtakytkenäisesti tai kapasitiivisesti eli jännitekytkentäisesti.

Hyötynä tällä tekniikalla on valmiit kaapeloinnit ja monet liitännäspaikat kodeissa. Huonoina puolina ovat keskenäinen standardointi sekä häiriöherkkyys. Datasähköä häiritsee helposti muut huonosti suojatut sähkölaitteet, jotka voivat sähkömagneettisella säteilyllään tai sähköverkkoon aiheuttamallaan häiriöllä aiheuttaa heikentyneitä toimintaa. Lisäksi datasähkö voi aiheuttaa radiosignaalia yleisesti käytetyillä taajuuksilla, josta esimerkiksi radioamatöörit ovat huolissaan. (Liikenne ja viestintäministeriö, 1/2004)

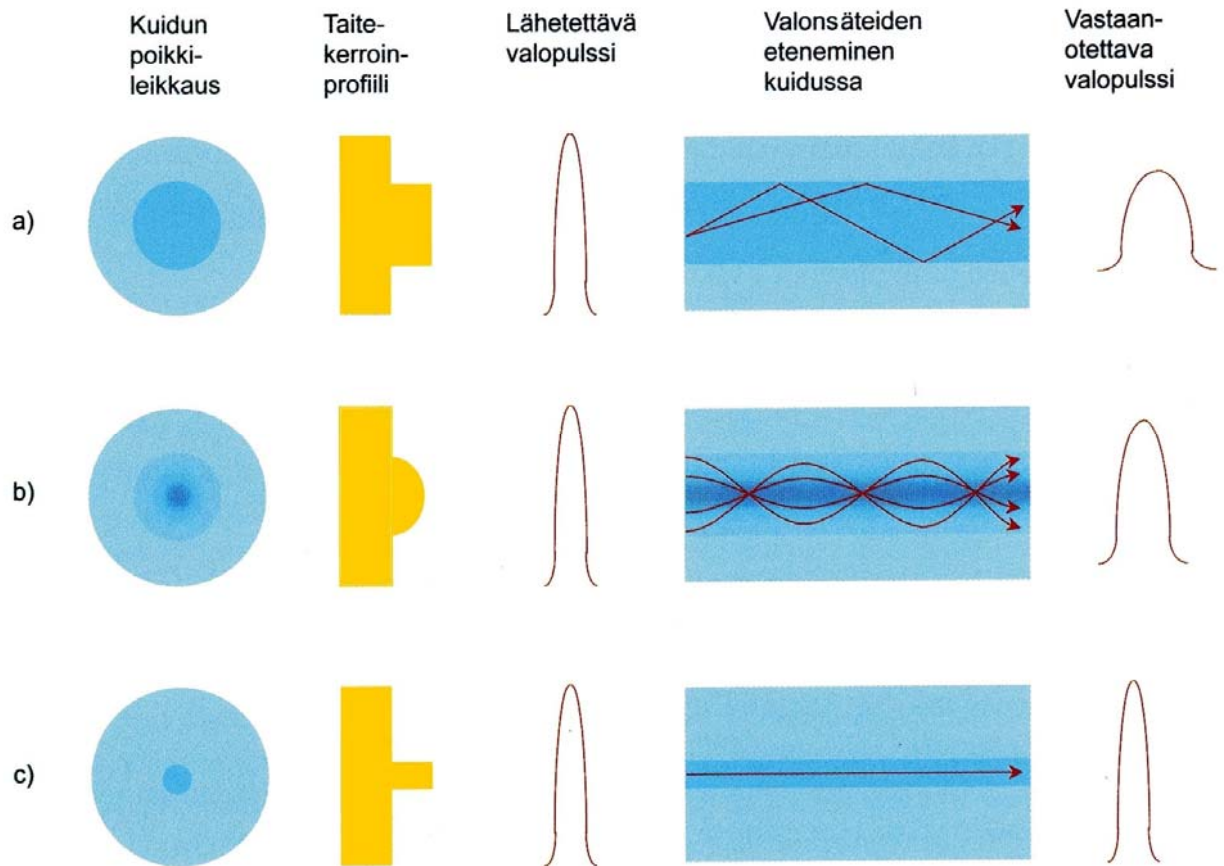
## 2.2 KUITU

Kuiduissa käytetään valoa signaalin siirtämiseen, onhan valokin sähkömagneettista säteilyä. Tällä hetkellä valoa käytetään vain optisella siirtotiellä kaapeleissa, joten signaali joudutaan muuntamaan molemmissa päissä sähköiseen muotoon. Valon hyvänä ominaisuutena on suuri nopeus ja taajuus, jotka nostavat sen siirtokapasiteettia. Valon nopeus luonnossa on 300 m/ $\mu$ s ja lasin taitekerroin on tyypillisesti 1,46, jolloin valon nopeudeksi tulee kuidussa noin 200 m/ $\mu$ s. Taitekertoimen ero kuidun ytimen ja kuoren välillä on saatu aikaiseksi lisäämällä lisääainetta, kuten germaniumoksidia ( $\text{GeO}_2$ ). Taitekertoimen ero on noin 1 % tai vähemmän kertoimesta kuoren ja ytimen välillä.

Kuiduissa kulkevaan valoon kohdistuu vaimentumista ja erilaiset liitokset lisäävät sitä. Silti kuitujen kantama säilyy erittäin pitkänä verrattuna muihin tekniikoihin säilyttämisen hyvän siirtokapasiteetin. Materiaalina kuiduissa on usein kvartsilasia ( $\text{SiO}_2$ ). Vähemmän vaativissa sovelluksissa voidaan käyttää myös sekä kuoreltaan lasia tai muovia olevia kuituja että kokonaan muovisia kuituja. Nämä ovat itsessään eristäviä aineita, eivätkä ole alttiita sähkömagneettisille häiriöille. Muistettava on kuitenkin, että jotkut valokaapelit saattavat sisältää metallisia vahvikkeita, jotka tulee maadoittaa asiallisesti. (Teletekno, 2006)

Hintojen halpenemisen myötä ja rakentamistekniikan yleistyttyä on tullut mahdolliseksi käyttää tätä tekniikkaa myös käyttäjille asti. Huonona puolena kuiduilla voidaan pitää lasin huonoa joustavuutta ja liitoksissa vaadittavaa tarkkuutta sekä puhtautta.

Kuituja on erityyppisiä ja ne luokitellaan yleensä sen mukaan kuinka valo etenee niissä. Pääjakona on yleisesti yksimuoto- ja monimuotokuitu. Kuvassa 6. on esitelty kolme päätekniikkaa, joista ensimmäisen askelkuidun käyttö on vähentynyt tiedonsiirrossa nykyään. Askelkuidussa signaali saa helposti monta eri muotoa, kun signaalit heijastelevat eri kulmissa. Tästä aiheutuu valopulssin signaaleille eripituisia matkoja kuljettavaksi, joka leventää pulssia ja muodostaa muotodispersiota. Asteittaiskuidussa on pyritty pienentämään tätä signaalin levenemistä muuttamalla signaalin taitekerrointa asteittaisesti ytimestä kuorta kohti poikkileikkauksen säteen suunnassa. Tällöin säteet eivät muuta suuntaa jyrkästi vaan vähitellen taittuen. Saman pulssin signaalien kulkemaa eri matkaa on pyritty yhtenäistämään siten, että valon nopeus on ytimen reunoilla suurempi kuin keskellä. Näin pitemmän matkan kulkevat signaalit kulkevat nopeammin. Myös vaimeneminen on pienempää asteittaiskuidussa kun askelkuidussa. Yksimuotokuidussa etenee vain yksi muoto signaalista ja kuidun halkaisija on paljon monimuotoa pienempi. Vaimeneminen on myös yksimuotokuidussa pienempää verrattuna monimuotokuituihin, mutta niissäkin valoa joutuu tehollisesti huonoille alueille. Kuituja merkitään ytimen ja kuoren halkaisijalla esimerkiksi 9/125  $\mu\text{m}$  yksimuotoisilla yleinen ja 50 - 62,5/125  $\mu\text{m}$  monimuodoilla. (Teletekno, 2006)



Kuva 6. Erilaisten kuitutyypin periaatteet; a) askelkuitu, b) asteittaiskuitu ja c) yksimuotokuitu (Teletekno, 2006)

### 2.3 LANGATON

Radiotaajuuksia Suomessa säätelee Viestintävirasto. Euroopan tasolla radiotaajuuksien käyttöä suunnittelee ECC (Electronic Communications Committee) ja maailmanlaajuisesti käyttöä säätelee ITU-R (International Telecommunications Union, Radio-communication Sector). Viestintävirasto myöntää luvanvaraisten radiolähettimien vaatimat luvat, sekä koordinoi taajuuksien käyttöä. Suomessa Viestintävirasto vahvistaa käyttösuunnitelman, jossa määritellään käyttötarkoitus, sekä joitakin teknisiä yksityiskohtia, kuten käytettävä modulaatio, lähetelaji ja suositeltavat standardit. Luvasta vapautettuja radiolähtimiä ovat esimerkiksi GSM-puhelimet. Nämä laitteet toimivat kuitenkin verkon kontrollissa ja luvan voidaan ajatella sisältyvän verkolle myönnettyyn lupaan. Luvasta vapautetut laitteet toimivat niille varatuilla taajuusalueilla itsenäisesti tai erillisinä järjestelminä. (Öörni, 2005)

Langattomat laajakaistat ovat jakaantuneet käyttämään kahta modulointitekniikkaa OFDM ja CDMA. WLAN (802.11), WiMAX (802.16) ja @450 (802.20) käyttävät kaikki OFDM-tekniikkaan pohjautuvaa tekniikkaa. Mobiili puolen 3G standardit käyttävät taas CDMA-tekniikkaa. Langattomissa tekniikoissa taajuus on merkitsevin asia signaalin etenemisen kannalta, koska korkeampi taajuus vaimenee nopeammin. Modulointitapa on oma asiansa, eikä sillä vaikuteta signaalin etenemiseen. Eli nopeat modulointitavat toimivat pidemmällä etäisyyksillä hyvin signaalin ollessa riittävän voimakas, ja se onnistuu helpoiten matalimmilla taajuuksilla.

Langattomia verkkoja suunniteltaessa arvioidaan yleensä käyttäjien määrän ja kokonaiskapasiteetin suhdetta ruuhkaisimpana hetkenä, jotta verkosta tulee hyötysuhteeltaan toimiva kaikille osapuolille. Laskennassa uplink on merkitsevä, koska lähetysteho käyttäjältä on huomattavasti pienempi. Päätelaitteen sijaintina käytetään solun reunaa, ja tässä voidaan joutua käyttämään matemaattisten mallien lisäksi paikan päällä tehtyä mittausta. Solun sopiva käyttäjien määrä voidaan laskea, kun tiedetään solun kapasiteetti, jona voidaan esimerkiksi @450:lla pitää 2,5 Mbit/s.

Esimerkki:

Käyttäjien kokonaisdatamääriä kuukauden aikana voidaan selvittää erilaisilla sovelluksilla, kuten ftp, www (World Wide Web) ja VoIP (Voice over Internet Protocol). Internetin selailemisessa käytetyn liikenteen määränä voidaan pitää esimerkiksi 10 GB käyttäjää kohden kuukaudessa. Laskelmissa voidaan olettaa, että kuukaudessa on 22 työpäivää ja ruuhkatunnin osuus liikenteestä on 15 %. Kun 10 GB kokonaistarve jaetaan 22 työpäivällä ja kerrotaan 0.15:lla, saadaan 68 MB hetkellinen tarve kiiretunnille (8,5 Mbit/s). Tämän jälkeen tulos muutetaan sekunneiksi jakamalla 3600 ja saadaan noin 2400 bit/s siirtonopeustarve käyttäjää kohti. Tällä jakamalla kokonaiskapasiteetti 2,5 Mbit/s, saadaan kyseiselle solulle noin 1050 samanaikaista käyttäjää.

$$\left(\frac{10GB}{22\text{työpäivää}} * 0,15\right) / 3600 \approx 2400 \text{ bit/s}$$

$$\frac{2,5Mbit / s}{2400bit / s} \approx 1050 \text{ käyttäjää}$$

### 2.3.1 WiMAX

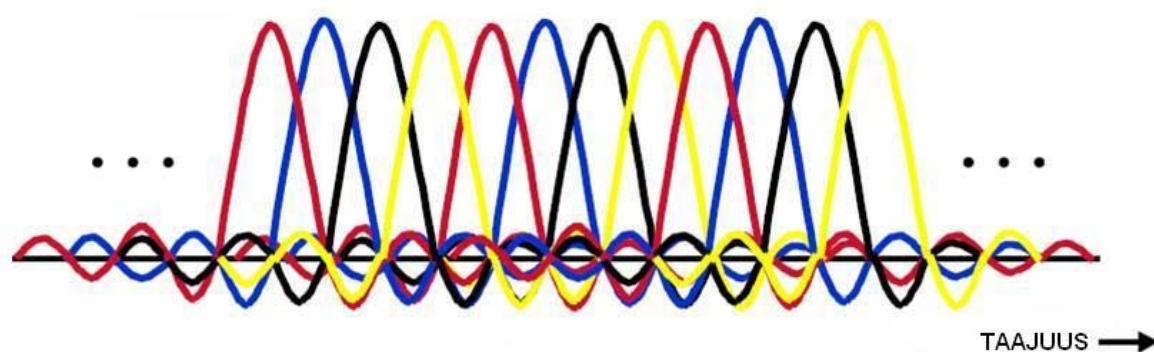
WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) perustuu yleisiä tietoliikennestandardeja hyödyntävään verkkotekniikkaan, jossa tuotteet on standardiin pohjautuen sertifioituja. Kaikki laitteet eivät kuitenkaan vielä ole yhteensopivia. WiMAX voidaan luokitella alueeltaan kattavampiin laajakaistatekniikoihin eli MAN-verkkoihin (Metropolitan Area Network). WiMAXilla on ollut useita standardeja, joissa sitä on kehitetty eri 802.16 -alaliitteiden alla (kuten -2001/a-2003/c-2002/REVd). Uusin tällä hetkellä aktiivisista standardeista on 802.16-2004, johon on pyritty yhdistämään aiemmat standardit ja korjaamaan niissä olleet virheet. Tämä standardi koskee paikallaan olevaa yhteyttä, jossa käyttäjä pystyy liikkumaan vain oman tukiaseman alueella. Kehitteillä on myös standardi 802.16e, jonka myötä tekniikka pyrkii myös parantamaan käyttäjien liikkuvuutta tukiasemien välillä ja kilpailemalla muiden mobiiliratkaisujen kanssa. Standardien erona on myös vanhemman standardin käyttämä 20 MHz taajuuskaista ja uudemman 10 MHz. Käytetty taajuuskaista vaikuttaa teoreettiseen maksimi tiedonsiirtonopeuteen siten, että aiemmalla standardilla se oli 75 Mbit/s ja uudemmalla 30 Mbit/s.

Modulation/Code Rate	QPSK/ 1/2	QPSK/ 3/4	16 QAM/ 1/2	16 QAM/ 3/4	64 QAM/ 2/3	64 QAM/ 3/4
1,75 MHz	1,04	2,18	2,91	4,36	5,94	6,55
3,5 MHz	2,08	4,37	5,82	8,73	11,88	13,09
7,0 MHz	4,51	8,73	11,64	17,45	23,75	26,18
10,0 MHz	8,31	12,47	16,63	24,94	33,25	37,40
20,0 MHz	16,62	24,94	33,25	49,87	66,49	74,81

Taulukko 1. Datanopeudet (Mbit/s), modulaatiotavat taajuuskanavilla. (Telenor, 2004)

Suomessa WiMAX käyttää lisenssin vaativaa taajuusalueita 3,5 GHz. Erittäin hyvissä olosuhteissa pystytään jopa 50 km kantamiin, mutta normaali olosuhteissa etäisyydet ovat 8 km luokkaa. Näillä suurimmilla etäisyyksillä myös siirtonopeudet putoavat minimiin eli 1 Mbit/s tasolle. Parhaimmillaan, lähellä tukiasemaa, siirtonopeus voi olla 8 Mbit/s operaattorin tarjoamista liittymistä riippuen. Mobiiliversion on arvioitu pystyvän toimimaan noin 100 km/h vauhdissa. WiMAX:ia vertailtaessa WLAN:in nykystandardiin on tämä verkko viisaampaa, sillä se pystyy erikseen havaitsemaan yksittäiset käyttäjät tehojen mukaan, eikä yksittäinen virittelijä pääse viemään tai häiritsemään niin helposti koko kaistaa. Lisäksi liikenne on luokiteltua ja tärkeimmille voidaan antaa helposti kaistaa lisää.

### 2.3.2 @450 (Flash-OFDM)



Kuva 7. OFDM signaali, jossa yksittäisen signaalin huippu ajoittuu muiden signaalien nollakohtaan.

Flash-OFDM-tekniikka (Fast Low-latency Access with Seamless Handoff, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) käyttää nimensä mukaisesti lisensoitua 450 MHz taajuutta, joka oli aiemmin käytössä valtakunnallisesti NMT-verkolla. Nykyäänkin tukiasemia sijoitetaan pitkälti vanhoihin NMT-mastoihin. Tekniikan verkko-operaattorina on Digita Suomessa ja tavoitteena on kattaa koko Suomi tällä langattomasti vuoden 2009 aikana.



Flash-OFDM-tekniikka on saatu toimimaan jopa 250 km/h nopeudessa ja tukee täysin mobiiliutta. Liikkeessä tukiaseman vaihtoa ei pitäisi huomata liikenteen katkoksesta. Verkon vasteaika on 50 millisekuntia, mutta siinä ei ole luokiteltu liikennettä. Näin ollen esimerkiksi VoIP-puhelut eivät saa etuoikeutta liikenteessä, ja niiden laatu riippuu signaalin tasosta ja muusta liikenteestä. Käyttäjille tullaan tarjoamaan ainakin aluksi Suomessa 1 Mbit/s / 512 kbit/s yhteyksiä. Tekniikka mahdollistaisi nopeudet 2,7 Mbit/s / 780 kbit/s. Kantama lähetinasemalla voi olla hyvissä olosuhteissa 50 km, mutta toiminnalliseksi luvataan 25 km kantamaa ulkona ja sisällä 15 km kantamaa. (Kakko, 2006)

Palvelujen laatua pystytään nostamaan luokittelemalla käyttäjiä esimerkiksi liikennemäärän, sijainnin tai käyttöajankohdan mukaan. Tekniikkaan kuuluu kolme virran säästöominaisuutta. Vaihtoehtoina ovat parhaillaan käyttävät ja aktiiviset (liikenne satunnaista, aikatarkkailu), sekä pidossa olevat (liikennettä ei ole juuri lainkaan). (Kakko, 2006)

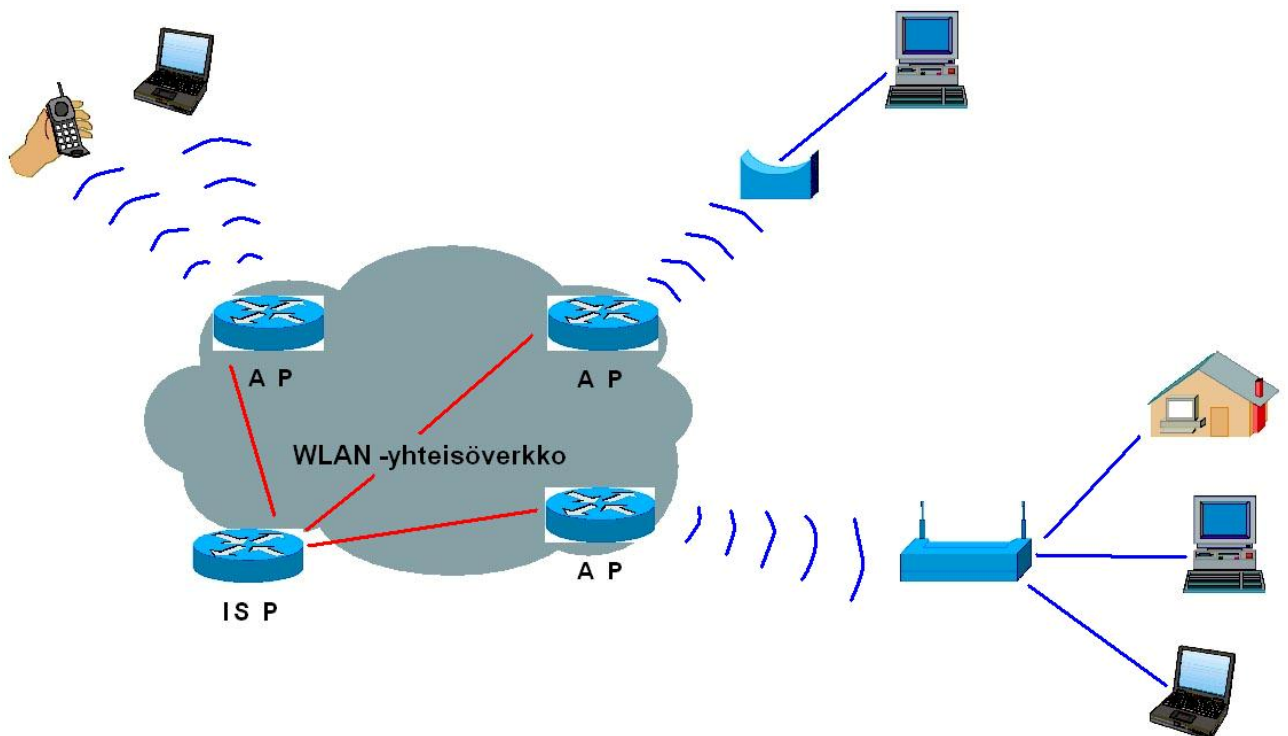
Taajuuskaistan käyttö jakaantuu tarkemmin 453,000 - 457,500 MHz käyttäjältä tukiasemalle päin ja 463,000 - 467,500 MHz tukiasemalta käyttäjälle päin. Siinä käytetään 1,25 MHz taajuuskaistaa liikennöintiin. Modulointitekniikkana käytetään QAM- tai QPSK -tekniikkaa (Quadrature Phase-Shift Keying), signaalin laadun mukaan. QPSK:ta käytetään signaalin laadun ollessa huonompi, mutta sitä voidaan käyttää molempiin suuntiin liikenteessä. QAM-modulointia voidaan käyttää vain tukiasemalta käyttäjälle päin ja laadukkaalla signaalilla. (Kakko, 2006)

### 2.3.3 WLAN (Wifi)

WLAN (Wireless Local Area Network) tekniikan taajuus 2,400 - 2,485 GHz on sallittu sekä luvasta vapautettujen yleisten lyhyen kantaman radiolähettimien että laajakaisletekniikoiden datasiirron käyttöön. Langattomien lähiverkkolaitteiden suurin sallittu teho on 100 mW (EIRP). EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) eli efektiivinen säteilyteho voidaan määrittellä kertomalla antenniin syötetty teho antennin vahvistuksella suhteessa ideaalisesti ympärisäteilevään antenniin. (Öörni, 2005)

Häiriöiden vähentämiseen voidaan käyttää modulaatiota, joka sietää hyvin taajuuskaistalla esiintyviä häiriöitä. WLAN-verkoissa tätä varten on kehitetty taajuushyppely- ja hajaspektritekniikat. (Öörni, 2005)

Merkittävä ero WLAN-verkkojen ja muiden langattomien verkkojen välillä on käytetty vapaataajuusalue. Muut tekniikat käyttävät lisensoituja taajuuksia, joiden saaminen maailmankattaviksi on työlästä. Lisäksi lisenssinhaltijaksi pääsemisenä on edellytyksiä, joka tuo myös veloitteita verkon suunnitteluun ja toteutukseen. Vapaalla taajuusalueella ei voida välttyä häiriöiltä, joita aiheuttavat muut saman taajuusalueen käyttäjät. (Puska, 2005)



Kuva 8. WLAN-yhteisöverkot ja useat pisteet päästä käyttämään sitä

802.11b- ja g-verkkojen käyttämä 2,400 - 2,485 GHz:n Euroopassa vapaasti käyttämä taajuusalue jaetaan 13:een 22 - 40 MHz:n levyiseen kanavaan 5 MHz:n välein. OFDM-tekniikalla saadaan paremmin käyttöön rinnakkaiset kanavat g-standardilla, jotka b:llä pitäisi jättää väliin. Myös Pohjois-Amerikassa käytetty a-standardi pystyy käyttämään 5 GHz taajuudella viereisiäkin kanavia samaan aikaan.

Ei-päällekkäisiä kanavia Euroopassa ovat 1, 7 ja 13. Kanavan 7 tilalla vierekkäiset kanavat 6 ja 8 ovat myös ei-päällekkäisiä. Taajuusalueella on kolme erillistä kanavaa, joista jokainen jaetaan 52 ortogonaaliseen alikanavaan 0,3125 MHz:n välein. Alikanavoista neljää käytetään pilottikanavina vaihesiirtymän ja kantoaaltojen välisen ylikuulumisen seurantaan. Nämä neljä kanavaa lähettävät vain kiinteää bittikuviota, eikä hyötydataa. Fyysisellä mediariippuvalla kerroksella lähetetään 250 000 symbolia sekunnissa 48 alikanavalla. Osa biteistä menee virheenkorjaukseen konvoluutiosuhteen mukaisesti, jolloin saavutettu kokonaisbittinopeus vaihtelee 1 - 54 Mbit/s:n välillä. (Puska, 2005)

Bittinopeus Mbit/s	Modulaatio	Bittejä per kantoaalto	Bittejä per symboli	Koodaussuhde	Databittejä per symboli
6	BPSK	1	48	1/2	24
9	BPSK	1	48	3/4	36
12	QPSK	2	96	1/2	48
18	QPSK	2	96	3/4	72
24	16-QAM	4	192	1/2	96
36	16-QAM	4	192	3/4	144
48	64-QAM	6	288	2/3	192
54	64-QAM	6	288	3/4	216

Taulukko 2. OFDM-siirron modulointitavat, virheenkorjaussuhteet ja bittinopeudet (Puska, 2005)

WLAN-verkkojen suorituskykyä mitataan (kuten muidenkin verkon osien): siirtonopeudella (bit/s), verkon aiheuttamalla viiveellä, viiveen vaihtelulla ja hävinneiden kehysten osuudella kokonaisliikennemäärästä. WLAN-verkossa ei saavuteta koskaan bittinopeuden suuruista siirtonopeutta. Vuoronvarauksen, kehystysten ja kuittausten takia päästään enimmilläänkin vain 60 - 70 % bittinopeudesta. Solukohtaiseen siirtonopeuteen vaikuttavat hidastavasti: virtuaalinen kantoaallon kuuntelu, radioaaltojen vaimentuminen, radiohäiriöt, kehysten uudelleen lähetykset, muut laitteet ja eri standardia käyttävien laitteiden sovittaminen samaan verkkoon.

Kaikki aktiiviset laitteet jakavat solun yhteispisteen tarjoaman siirtonopeuden. Viivettä verkkoon aiheuttavat kehysten puskurointi, uudelleenlähetykset, päätelaitteen vaihtaessa toisen solun alueelle ja käytetyt tehonsäästötoiminnot päätelaitteessa. (Puska, 2005)

Standardi	Ratifioitu	Hajaspektri- tekniikka	Teoreettinen bittinopeus	Taajuus- alue	Kanavia yht.	Ei- päällekk. kanavia	Slot Time
802.11	1997	FHSS, DSSS	1 ja 2 Mbit/s	RF: 2,4 GHz	DS: 14	3	20 µs
802.11b	1999	DSSS	1, 2, 5.5 ja 11 Mbit/s	2,4 GHz	14	3	20 µs
802.11a	1999	OFDM	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ja 54 Mbit/s	5 GHz	12	12	9 µs
802.11g	2003	OFDM	1 - 54 Mbit/s	2,4 GHz	12	3	9 tai 20 µs
802.11n			250 + Mbit/s	2,4 ja 5 GHz			

Taulukko 3. Langattomien verkkojen standardeja. (Puska, 2005)

Viiveen vaihteluun voidaan vaikuttaa vastaanottopuskureilla.

Parametri	Sovellus	Tyypillinen raja-arvo
<b>Siirtonopeus</b>	Tiedonsiirto Tiedosto- ja tulos- tuspalvelut Internetin Web-sivut Vuorovaikutteinen puhe, video	ei raja-arvoa: < parempi ei raja-arvoa: < parempi ei raja-arvoa: < parempi vähintään lähetyksen maksi- minopeus
<b>Viive</b>	Puhe Videoneuvottelut Tiedostonsiirto	max. 150 ms max. 200 ms max. kymmeniä sekunteja
<b>Viiveen vaihtelu</b>	Puhe Video Tiedostonsiirto	max. 20-50 ms max. 20-50 ms ei merkitystä
<b>Hävinneiden ke- hysten osuus</b>	Puhe Video Tiedostonsiirto	max. 2-3 % max. 3-5 % jopa kymmeniä prosentteja

Taulukko 4. Sovellusten suorituskyky parametrejä ja niiden raja-arvoja. (Puska, 2005)

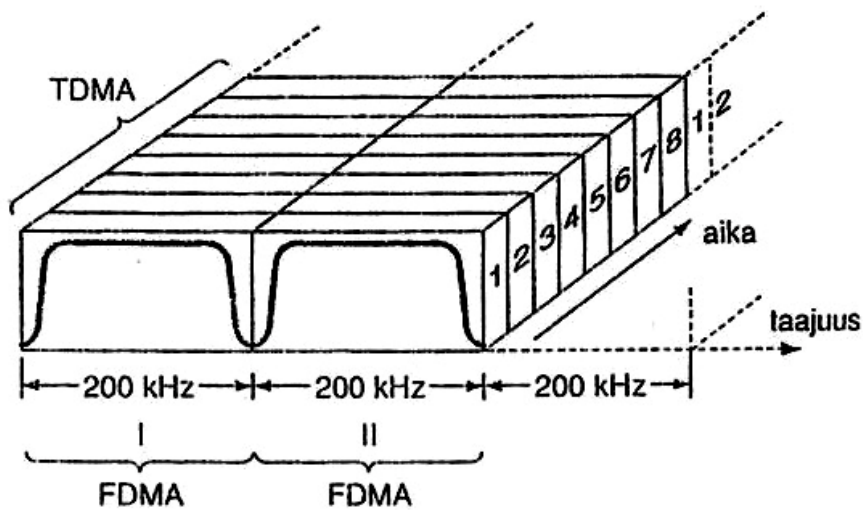
#### 2.3.4 Mobiili

1G oli ensimmäinen sukupolvi matkapuhelimita ja käytti analogista tekniikkaa. Se oli suunniteltu puheen siirtoon langattomasti. Nykyiset tekniikat ovat digitaalisia, mutta eivät pohjautu puhtaasti IP-tekniikkaan. Käytettäessä puhelimella esimerkiksi Skype-ohjelmaa, puhumiseen aiheutuu datamuutos viivettä prosessoinnin takia. Viive on 3G laitteissa 75 - 100 ms, joka on juuri reaaliaikaisuutta vaativien sovellusten toimivuuden rajoilla. Kehitteillä on jo 4G, jolla nopeudet saadaan nostettua vielä nopeammiksi (Taulukko 5).

Tekniikka ja nopeus kbit/s	Generaatio	Keskiarvo	Maksimi
GSM	2G	9,6	14,4
TDMA	2G		
PDC (Japani)	2G		
GPRS	2,5G	40	114
EDGE (EGPRS)	2,75G	100	384
WCDMA (UMTS)	3G	384	2 000
TD-SCDMA (Kiina)	3G		
HSPDA	3,5G	2 000-3 000	14 000
HSUPA	3,75G		
CDMA (IS-95)	2G	10	14
CDMA2000 1x RTT	2,5G	600	2400
CDMA2000 1x EV-DV	3G		
CDMA2000 1x EV-DO	3G	1 600	4 000
CDMA2000 3x EV-DO- DV	3,75G		
UMB (3GPP2)	4G	100 000	280 000

Taulukko 5. Mobiilitekniikat ja niiden nopeudet (Anritsu, 2007)

GSM käyttää TDMA-tekniikkaa (Time Division Multiple Access), joka aiheuttaa verkoon ominaisuuden, ettei samoja kanavia voida käyttää vierekkäisissä tukiasemissa. Uudemmassa 3G tekniikassa käytetään CDMA-tekniikkaa, joka mahdollistaa samojen kanavien käytön vierekkäisillä tukiasemilla. Tällöin myös verkon kokonaiskapasiteetti voidaan pitää suurempana.



Kuva 9. Kanavaerottelu TDMA ja FDMA

Operaattorit ovat tuoneet markkinoille nyt kiihtyvällä vauhdilla HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) palveluita, jotka käyttävät heidän WCDMA-verkkoja (Wideband Code Division Multiple Access). WCDMA tarjoaa joustavamman tiedonsiirtokapasiteetin ja tehokkaamman käytössä olevien taajuuksien käytön. HSDPA tarjoaa käyttäjille teoriassa 3,6 Mbit/s nopeuden, joka kuitenkin käyttäjätasolla on noin 3,1 Mbit/s radiotien häiriöiden ja virheen korjauksien takia. Latausnopeudet pystytään tällä tekniikalla nostamaan vielä 7,2 Mbit/s ja 14,4 Mbit/s asti. Modulointina käytetään 16 QAM ja QPSK tekniikoita. (Ericsson, 2006)

### 3. TEKNIIKAN VALINTOJA RAKENTAJAN NÄKÖKULMASTA

Jotta rakentamispuolen näkökulma saatiin työssä esille, käytettiin haastatteluita. Haastateltavina oli asiantuntijoita niin operaattori-, sähkö-, viestintä- kuin maakunnalliseltakin tasolta. Kaikille lähetettiin aluksi kysymysluonnokset, joissa 100 Mbit/s nopeuden saavuttaminen järkevästi oli keskeisenä tekijänä. Haastattelut olivat aina vapaamuotoisia keskusteluja, joissa asiaa käsiteltiin laajemmin.

Miltei 120 vuotta on kulunut, kun 23.12.1886 annettiin asetus puhelinlaitteiden ja -johtojen asentamisesta ja käyttämisestä Suomen suuriruhtinaan maassa. Eri puolilla maata oli kuitenkin jo asetuksen antoaikaan puhelimia käytössä. Nämä eivät olleet useinkaan yleisessä käytössä tai yhdistettynä keskuksen kautta muiden tavoitettavaksi. Tämä oli aiheuttanut epätietoisuutta toimilupien tarpeellisuudesta. Valtion hirtaan toiminnan takia valistuneet kansalaiset ehtivät toimia nopeammin kuin lainlaattajat.

Nykypäivänä laajakaistayhteyksien käyttö on yleistynyt. Ongelmaksi ovat tulleet kuitenkin pienet kylät, joissa ei ole asukkaita tarpeeksi kaupallisesti kannattavan liiketoiminnan aloittamiseen. Käytännöksi on muodostunut samantyyppinen toimintatapa kuin puhelimen yleistyessä 1930-luvulla. Kylältä lähtee joku ajamaan asiaa ja kääntyy yleensä lähimmän tietämänsä verkko-operaattorin puoleen ehdottaen laajakaistan saamista kylälle. Tilanteessa on 80 vuoden takaiseen yhtäläistä se, että operaattorit eivät ryhdy tarjoamaan palvelua, jos liittymiä on vähän tai kylä on kaukana yhtiön linjoista. (Pöyry, 1988)

Uusi malli voisi olla sellainen, että yhteiskunta tarjoaisi verkkopalvelun. Tällöin markkinat voisivat olla jakautuneet vertikaalisti ja toimia tehokkaammin. Tämä toisi verkko-operaattorin toimintaan perustavanlaisen muutoksen. Siinä ei tavoiteltaisi voiton maksimointia vaan yhteiskunnan hyvinvoinnin kasvattamista. Tällöin markkinat jakautuisivat helpommin ja mahdollistettaisiin pienten yritysten osallistuminen kilpailuun. Yhteistä verkkoa käytettäessä vältettäisiin myös suuret verkkoinvestointiriskit. (AINO, 4/2005)



Verkko-operaattoreilla on erittäin hyvä tietämys laajakaistoista, joita kuluttajille voidaan tarjota ja mitä nämä tekniikat pystyvät tarjoamaan. Suurin osa Internet liikenteestä on tällä hetkellä P2P:n tuottamaa, joka pystytään luokittelemaan taustalle häiritsemästä tärkeämpiä sovelluksia.

Kuluttajat tietävät yleensä tekniikoista vähän ja heitä kiinnostaa vain hinta ja kuuluvuus/toimivuus. Esimerkiksi Internet saatetaan kokea kaiken tietoliikenteen omaavana alueena, ja yleisin toimimattomuus johtuu omasta palomuurista. Varsinkin kaupallisesti kannattamattomilla alueilla nämä kiinnostuksen kohteet voivat aiheuttaa ristiriitoja vertailtaessa paremmin kilpailtujen seutujen vastaaviin ominaisuuksiin. Eturistiriidan synnyttyä, tarvittaisiin verkko-operaattorien puolelta enemmän markkinointitaitoja kertomaan perusteita muille vaihtoehdoille. Usein käyttäjät eivät tiedä kaikkia hinnan ja kuuluvuuden lisäksi taustalla olevia hyviä puolia.

### 3.1 TEKIJÄNOIKEUDELLINEN NÄKÖKULMA

Tekijän oikeuksia on pidetty mobiili-TV:n tuloa valmistellessa tekniikan kehittymistä hidastavana tekijänä. Tietoliikenteen vauhtien kasvaessa kuluttajille aiemmin rajattu väylä on nyt muuttunut lähes rajoittamattomaksi, eikä pullonkauloja enää ilmene normaalille käyttäjälle. Todellisuudessa tekijänoikeudet ovat vain pyrkineet mukautumaan kehityksen tuomiin mahdollisuuksiin, eikä ohjaamaan tekniikan kehittymistä. Yhtenä hidastavana tekijänä voi olla 1886 Bernin konvention ajoilta asti lähtöisin oleva tekijänoikeuksien suojaustapa, vaikka sitä on muokkailtu sopivammaksi nykypäivään. Perusajatus tekijänoikeuksissa on kuitenkin kokenut suuria mullistuksia tietotekniikan myötä ja samoja periaatteita ei enää voida soveltaa kaikkiin teoksiin samanarvoisesti (vrt. maalaustaide ja musiikki). Hinnoittelun sopiminen on mahdollisesti ollut juuri musiikkimaailman ongelmana, jos vertaa sitä tietokonepelienvalmistajiin, jotka ovat selvinneet paljon paremmin muutoksista. Tietokonepelien oikeuksien ja hinnoittelun hallinta on ollut helpompaa yksittäisen pelin kysynnän mukaan. Kun musiikkikappaleet ovat hinnoiteltu kollektiivisen yhteisön tekemien neuvottelujen kautta, jolloin ne ovat kuuluneet suurempiin kokonaisuuksiin.

Musiikissa kaikki kappaleet ovat olleet yhtä kalliita ja kuuluneet esimerkiksi CD:lle. Kuitenkin suosituimpia kappaleita soitetaan ja kuunnellaan paljon useammin, joten hinnoittelutapamuutos voisi olla mahdollista.

Internetin kautta tehtävien tiedostojen latauksiin ei nykyinen CD-levyissä käytetty DRM-tekniikka (Digital Rights Management) sovellu liian suurien transaktiokustannusten takia, vaan tämäkin vaatisi muutoksen. Käyttäjien tulee tekniikan kehittyessä tietää milloin rikkoo lakia ja tämän tulisi kuulua yleiseen valistukseen.

### 3.2 PALVELUOPERAATTORI / VERKKO-OPERAATTORI

Palvelu- ja verkko-operaattori käsitteet ovat tulleet esille esimerkiksi Digitan rakennettua @450-verkon, ja toimiessaan sen verkko-operaattorina. Tälle verkolle on etsitty nyt palveluoperaattoreita. Lisäksi virtuaalioperaattoreita on tullut näiden kahden kategorian lisäksi, ja suurimmat alan yritykset ovat luoneet tällaisia tietyille käyttäjäryhmille. Käytännössä erot eri operaattorien määrittelyssä ja toiminnassa ovat kuitenkin pienentyneet.

Palvelu- ja verkko-operaattorin määritelmät tulevat Suomen viestintämarkkinalaista, ja ne tarkoittavat samaa kuin teleyritykset. Teletoinnalla tarkoitetaan kyseisten operaattoreiden viestintä- ja verkkopalveluja. Verkkoyritys omistaa viestintäverkkoja ja tarjoaa halussa oleviaan verkkoja muille tiedonsiirtoon. Palveluyritys tekee tiedonsiirtoa omassa tai käyttöönsä saamassa verkossa tai pitää viestejä saatavilla tai jakelee joukkoviestintäverkoissa. Virtuaalinen verkko-operaattori on palveluoperaattori, joka ei omista omaa verkkoa, mutta voi omistaa keskeisiä verkkoelementtejä, kuten toimintaan tarvittavia palvelimia, tai mobiilipuolella kotisijaintirekisterin. Laajakaista puolella operaattori voi omistaa paikallisen verkon, mutta myydä palveluitaan alueensa ulkopuolella toisilta verkko-operaattoreilta vuokraamiensa kapasiteettien avulla. Näin virtuaalioperaattorin määritelmä ja virtuaalisuuden aste on liukuva käsite. (Liikenne ja viestintäministeriö, 2/2004)

### 3.3 KUPARI

ADSL-tekniikalla on toteutettu suurin osa Suomen laajakaistayhteyksistä. Haja-asutusalueilla valmiina olleet aiemmat puhelinverkot ovat helpottaneet tekniikan käyttöönottoa. Rajoittavana tekijänä on ollut käyttäjien etäisyys puhelinkeskuksesta, joka nyt on jopa 9 km hyvälaatuisilla kaapeleilla ja käyttäen uusinta Annex T standardia. Harvaan asutuilla alueilla tämä ei ole kannattava tekniikka, koska asukkaita on liian vähän ja keskittimeen tulevat laitteet ovat kalliita. Lisäksi tekniikan valintaan vaikuttavat koko televerkon infrastruktuuri ja sen vaatima investointitaso. Puhelinverkon ilmanlinjan tolpat alkavat vanhentua ja näiden uusiminen on kallista. Tämä tarkoittaisi myös useamman vuosikymmenen kestävästä investointia. (Piirainen, 2004)

### 3.4 KUITU

Sähköyhtiöilläkin on mielenkiintoa ruveta yhteistyöhön kaivamaan kaapeleita maahan. Ruotsissa myrskytuhot ovat koetelleet ilmajohtoja jo rajusti, mutta Suomessa on vielä selvitty pienemmän mittakaavan tuhoilla. Eikä myrskyjen tuhoilta suojautumista pidetä vielä kannattavana kaivamalla kaapelit maahan koko Suomessa. Ongelman sijaan aiheuttavat ilmajohtojen pylvää, jotka koskettavat myös teleoperaattoreita. Kaapelit kestävät huomattavasti pitempään, mutta pylväisiin alkaa kohdistua mittavat uudistustarpeet. Lisäksi ympäristöllisistä syistä nykyään on myrkyjen käyttö pylväiden säilymiseksi rajoitettua, ja nykytekniikalla pylväiden kesto on pienempi. Tällä hetkellä on valittavissa kolme vaihtoehtoa pylväsmateriaaliksi; kupari-, suola- ja kreosiitkilyllästeisiä (Copper, Chrome, Arsenic), joista vain kupari-kyllästeinen on käyttökelpoinen. CCA-suolakyllästeinen kiellettiin, koska siinä on maaperään liukenevia aineita, kuten kromia ja arseenia. Kreosiitti vaatii asentajiltakin suojapuvut ja täten kupari jää vähiten vaaralliseksi. Parhaillaan on käsiteltävänä millaisia materiaaleja pylväissä saadaan käyttää, mutta selvää on, ettei pylväiden ikä tule säilymään nykyisten ympäristösäädöksiänsä ansiosta yhtä pitkänä aiempien vuosien tapaan. Maakaapelien asennustyö on kallista sähköyhtiöille, koska tilanne on juuri päinvastainen kuin tietoliikennepuolella, eli kaapeli onkin kuparin hinnannousun takia kalliimpaa kuin kaivaminen. Ilmassa kulkevissa johdoissa on paljon käytetty halvempia metalleja, mutta maahan upotettava tulisi olla kuparia.

Tietoliikennepuolella on kaivamista pidetty kalliimpana, vaikkakin todennäköisesti molemmat saisivat investointinsa katettua, koska sijoituksilla voidaan ajatella olevan pitkä palautumisaika. Nyt tapana on ollut maaseudulla vetää kylän halki sähköjohto ja siitä haaroitettu jokaiselle asiakkaalle omat johdot. Kaapeleiden sijoittaminen maahan aiheuttaa myös uuden haasteen vikojen etsimiselle ja korjaustoille, sekä nostaa tietysti näiden töiden hintoja. Kaapeleiden havaitseminen myös hankaloituu paikanpäällä ja vaikka ne piirrettäisiin karttoihin tarkasti voi vahinkoja sattua helposti.

Erityinen ongelma on ollut maankäyttö, koska kukaan ei halua omalle maalle linjoja ja tolppia, mutta kaapeli kuitenkin pitäisi saada. Kuitua vedettäessä tilanne on sama maankäytön suhteen, tilannetta vain hankaloittaa, ettei maa kaikkialla ole sovelias kaivamiseen. Parhaat kaapelin maahan laittopaikat ovat tiestöt ja pellot. Varsinkin pelloilla tulee kuitenkin haitaksi viljely, eli viljelijät eivät halua kaivinkoneita kesällä pelloille, jolloin kaivamiseen sovelias aika jää todella lyhyeksi. Lisäksi kaivamiseen tai auraamiseen soveltuvaa kalustoa on laajemmin tehtävään työhön rajoitetusti saatavilla.

Kilpailuvirasto on päättänyt, etteivät sähköyhtiöt saa tuoda ilman erillistä kilpailutusta linjoja tontin rajaa, linjan viimeisen pylvään (amka)liitintä tai jakokaappia pitemmälle. Nämä asiakkaan liittymiskaapelit tai talojohdot, jotka tulevat sähkömittarille asti, ovat yleensä eri sähköasentajien tekemiä. Kyseinen asetelma mutkistaisi myös energiayhtiöiden kanssa tehtävää yhteistyötä kuidun vetämisessä, koska vielä viime metreillä yhteistyökumppani vaihtuisi.

Signaali kulkee valokaapelissa sähkön johtamisen kannalta eristeaineessa, mutta kaapelin rakenneosissa voi olla myös metallia. Tällaisia ovat metallivaipat, vetoelementit sekä ilmakaapelien kannatinköydet. Tällöin pitää myös suojautua ukkoselta ja maadoittaa johtavat elementit asiaankuuluvalla tavalla. Nämä metalliosat auttavat kuitenkin kaapelin havaitsemista maasta jälkeenpäin. Täysin metallittomissa kaapeloinneissa voidaan asentaa erillinen kuparijohdin tai induktiivisia merkkejä helpottamaan kaapeloinnin löytämistä. Paikannus GPS-tekniikalla (Global Positioning System) on myös mahdollista, mutta edellyttää luotettavien dokumenttien olemassaoloa. Maahan kaivetun kaapelin yläpuolelle laitetaan vielä varoitusnauha varoittamaan myöhempiä kaivauksia kaapelin kohdalla. (Teletekno, 2006)

### 3.5 WIMAX

Suuri etu langattomilla tekniikoilla lankatekniikoihin tulee vertailtaessa toimintaetäisyyksiä. Langattomassa tekniikassa signaali menee suoraan, kun taas langalliset kiertelevät maaston ja muiden syiden mukaan erinäisiä matkoja. Vaikkei matka aivan samaa tarkoita tästä syystä, on kupari- ja langattomilla tekniikoilla kaukaisimmille käyttäjille kuitenkin tarjottavissa vain samaa noin 1 Mbit/s nopeutta. Maksiminopeuksien esittely saattaa johtaa käyttäjiä harhaan eri tekniikoiden hyvydestä.

Korkean taajuutensa takia signaali ei läpäise hyvin esteitä eikä omaa taipuvuutta signaalilla, jolloin pääsee helposti muodostumaan katvealueita esimerkiksi mäkien taakse. Signaali pystyy kuitenkin peilautumaan, mutta tällaiseen signaaliin vaikuttaa helposti sää ja vuodenaikat. Yleisesti tulisi saada näköyhteys antennien välille, jolloin varmistetaan yhteyden toimivuus. Ylitettäessä puiden korkeus saavutetaan usein vaadittu korkeus. Antennin sijainti ei kuitenkaan tarvitse olla lähellä asuntoa ja pienellä rakentelulla voidaan yhteys saada hankalampaankin paikkaan, sillä antennin ja modeemin etäisyys voi olla jopa sata metriä.

Jokaiseen mastoon ei tarvitse tehdä kaapeleilla runkoyhteyttä, vaan tämä voidaan tuoda myös ilmassa radiotietä käyttäen. Tämä puolestaan mahdollistaa pelkän antennien tilan vaativan vuokrauksen tehtäväksi, jollei omata omaa mastoa alueella. Matkapuhelinverkon mastotiheys on WiMAX- tekniikallekin soveltuva, ainoana pieneenä miinuksena on mastojen korkeus ja varsinkin vapaan tilan korkeus. Yleensä parhaat (korkeimmat) paikat ovat jo käytössä, mutta hyvin suunnitellulla antennien sijoituksella voidaan saavuttaa haluttu asiakaskunta.

Yleisesti operaattorit, joilla on WiMAX- tai WLAN- tekniikkaa, ajattelevat toisia tekniikoita vain vahvistavina tekijöinä. Myös @450-verkko koetaan tarpeelliseksi, jolla voidaan kattaa paikat, jonne ei muilla tekniikoilla järkevästi päästä. WiMAX on saanut suuren laitevalmistajan Intelin rakentamaan elektronisia piirejä, ja tämä varmasti edistää tekniikan kehitystä. Tuotteita valmistetaan vielä kuitenkin pieniä määriä ja ne ovat kalliita, mutta tuotannon kasvaessa ja siirtyessä halvempiin maihin, voidaan tuotteiden hintojenkin odottaa laskevan.

Hyvänä esimerkkinä on WLAN, jota tehdään jo halvalla ja joka kuuluu automaattisesti jo moniin laitteisiin. @450-verkkoa on ollut ehkä hidastamassa tekniikan kehittäneen yrityksen Flarion Technologies:in myynti kilpailija Qualcomm:in haltuun, jolla on myös kilpailevia tekniikoita tarjottavanaan. Qualcomm on tunnettu CDMA-tekniikan kehittäjäyrityksenä ja Flarion Technologies:in kautta se sai OFDM-tekniikkaa myös haltuunsa.

WLAN-verkkoja on jo monessa paikassa, ja niitä on saatavilla monella eri tavalla asiakkaille. Operaattorit tarjoavat WLAN-verkkoa laajakaistayhteytenä, sen lisäksi on tarjolla ilmaisia yhteyksiä tai muuten eri tahoihin kytköksissä olevia toimintatapoja. Näillä pyritään kuitenkin yleensä kattamaan kaupunkien keskustoja ja tiheästi asuttuja alueita. Monesti WLAN ei kuitenkaan ole kodin pääinternetyhteys, vaan sen avulla on poistettu kodin sisällä tehtäviä kaapelointeja.

### 3.6 ERILAISIA RAHOITUSRATKAISUJA TOTEUTUKSEEN

Laajakaistayhteyksien rahoituksen tulisi olla yrityksistä lähtöisin, jolloin ne eivät vaikuttaisi kilpailulliseen tilanteeseen. Tästä syystä ei tietysti joka puolelle laajakaistaa tulisi ja tukia tarvitaan. Tällöin tuetut verkon osat olisi kuitenkin sopivaa olla vapaasti kaikkien käytettävissä (Open Access), tai ainakin kohtuullista korvausta vastaan. Vapaassa käytössä jää tietysti epämääräiseksi kenen maksettavaksi jäävät ylläpidolliset kulut, mutta ne voisivat olla sidottu esimerkiksi prosentuaalisesti käyttöön. (Liikenne ja viestintäministeriö, 2005)

Tuettu ja kaikille edullinen osuus verkosta saattaisi lisäksi olla käyttäjän ja puhelinkeskuksen välinen yhteys, jolloin kilpailullista tilannetta voisi edelleen haitata puhelinkeskuksesta lähtevän linjan omistussuhde. Todennäköisesti tämän yhteyden omistaa jo jokin operaattori, ja tämän linjan käytöstä joutuisivat muut operaattorit kuitenkin maksamaan.

## 4. KÄYTTÄJÄN PERUSTELUJA TEKNIIKAN VALINNALLE

Käyttäjät rahoittavat operaattoreiden toiminnan ja tekevät liiketoiminnasta kannattavaa. Usein kerrotaan miten alhaisia hinnat ovat kuluttajille, mikä estää operaattorien investoinnit tulevaisuuteen. Kuitenkin tilanteen pitäisi olla niin, että uusiin investointeihin saataisiin rahaa myös niiden toiminnasta, eikä kaikkea rahaa kehittämiseen tarvitsisi olla jo ennakkoon olemassa. Nykyään ovat operaattorien investointien takaisinsaantiajat laskeneet ja voittoa tulisikin saada nopeammin. Investoinnit tietoliikenneverkkoihin ovat kestoaltaan varsin pitkiä, esimerkiksi jos ajatellaan lankapuhelimia ja niiden käyttöikä, sekä linjoille kehitettyä uutta toimintaa. Erilaisia tarpeita kuvaa se, että operaattorit haluaisivat käyttäjien ottavan nopeampia liittymiä, mutta käyttäjät eivät koe sitä tarpeelliseksi ennen kuin sille on todellista tarvetta. Onneksi nyt aletaan muun muassa IP-TV:n muodossa ainakin tarjota näitä uusia sovelluksia.

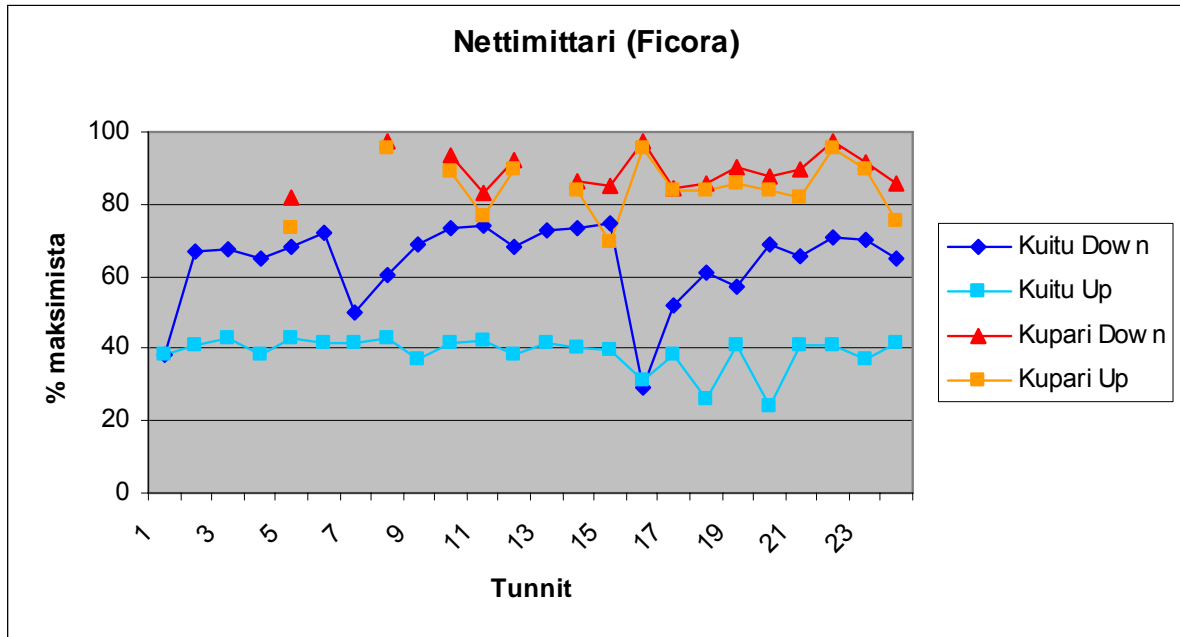
### 4.1 HAASTATTELUJEN TULOKSIA

Haastattelututkimus lähetettiin kymmenelle ihmiselle ja lisäksi Internetin keskustelupalstalle jätettiin ilmoitus, jossa pyydettiin vapaaehtoisia osallistumaan tutkimukseen. Kyselyn henkilökohtaisesti saaneet vastasivat hyvin, mutta keskustelupalstan kautta ei saatu osallistuneita. Haastattelun kysymykset ovat kokonaisuudessaan liitteissä.

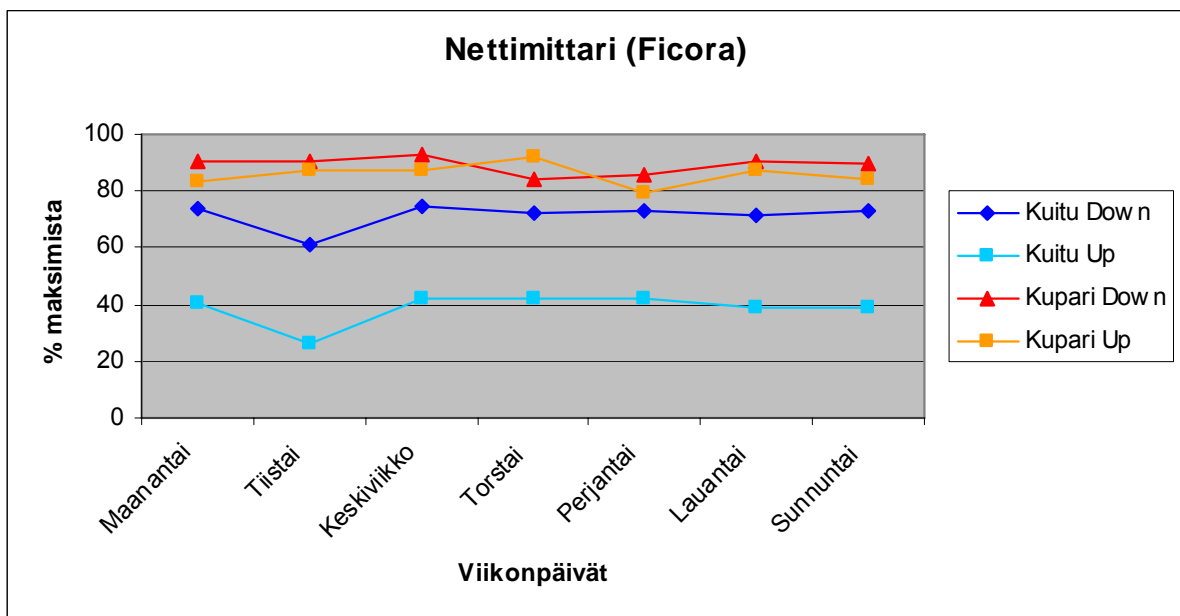
Suppean otannan takia tuloksia ei voi sanoa tilastollisesti merkittäviksi vaan suuntaa antaviksi. Tutkimuksen pääasiallisena tavoitteena oli saada varsinkin langattoman verkon käyttäjien kokemuksia eri olosuhteissa, tästä syystä kysyttiin myös mittausajankohdan olosuhteita. Nyt suurin osa osallistuneista oli xDSL-, VDSL- ja kaapelitekniikoita käyttäneitä. Langattomia edustivat WLAN ja samalla tekniikalla jatkettu HomePNA yhteys. Jälkimmäinen osoittautui kuparitekniikoita vastaavaksi ja paransi langattomien tuloksien keskiarvoa. Mittauksissa tavoiteltiin ajankohdan ja sijainnin merkitystä liikenteen sujuvuuteen.



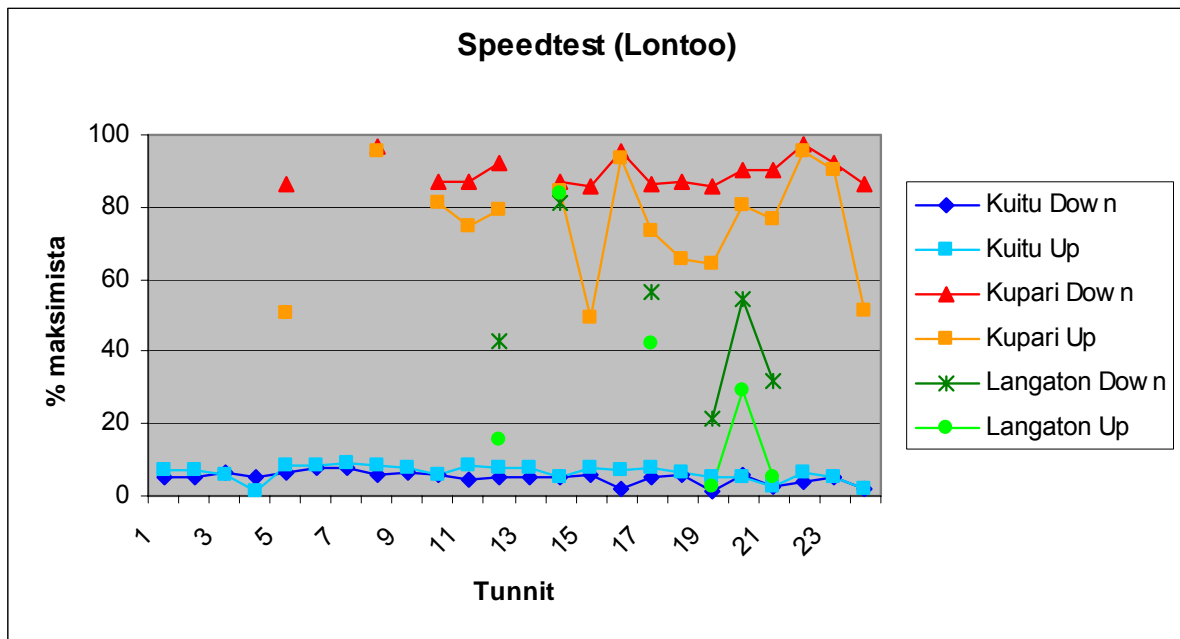
Tiedettäessä ruuhkaisimmat ajankohdat yritettiin niiden vaikutusta selvittää myös ulkomaille, Lontoon -2 tuntia GMT (Greenwich Mean Time) ja Sydney +10 tuntia GMT. Käytännön kokemuksissa tavoiteltiin käyttäjien tyytyväisyyttä eri sovellustyyppien parissa.



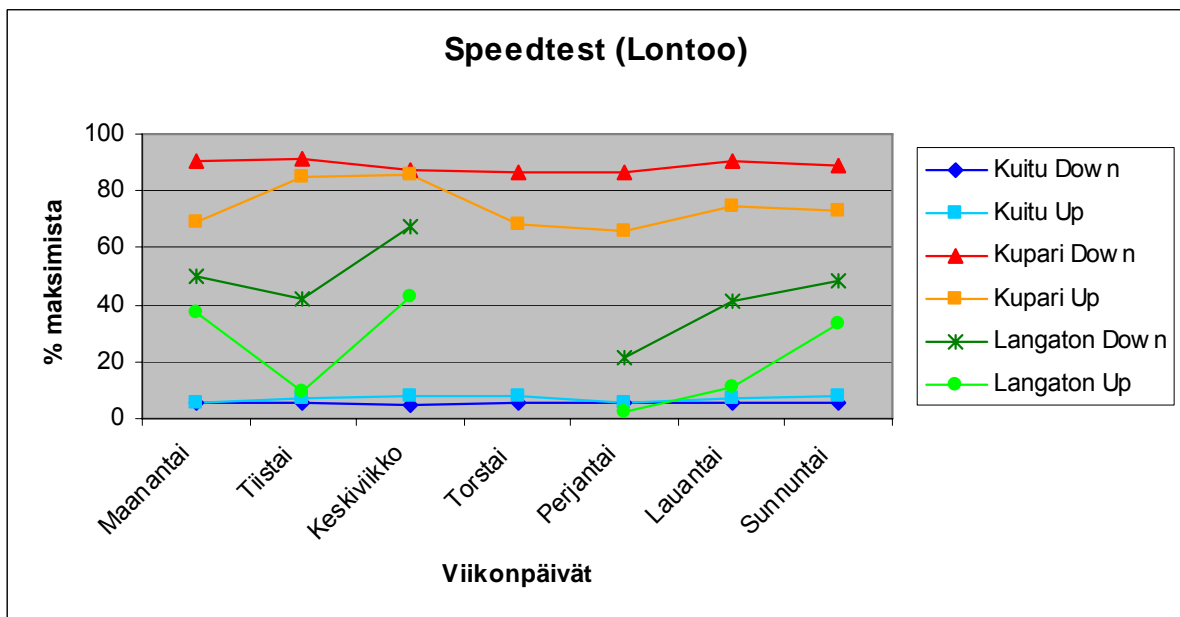
Taulukko 6. Nettimittarin tuloksia vuorokauden jaksolla Suomessa.



Taulukko 7. Nettimittarin tuloksia viikon jaksolla Suomessa.

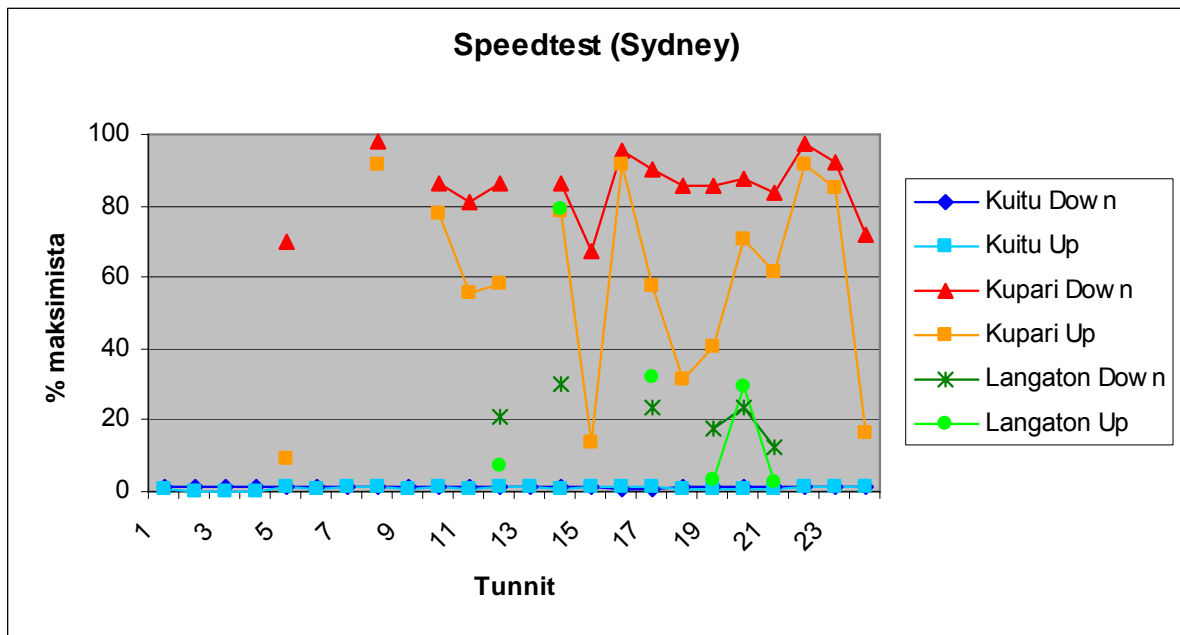


Taulukko 8. Nopeustestin tuloksia vuorokauden jaksolla Lontoon välillä (+2 GMT).

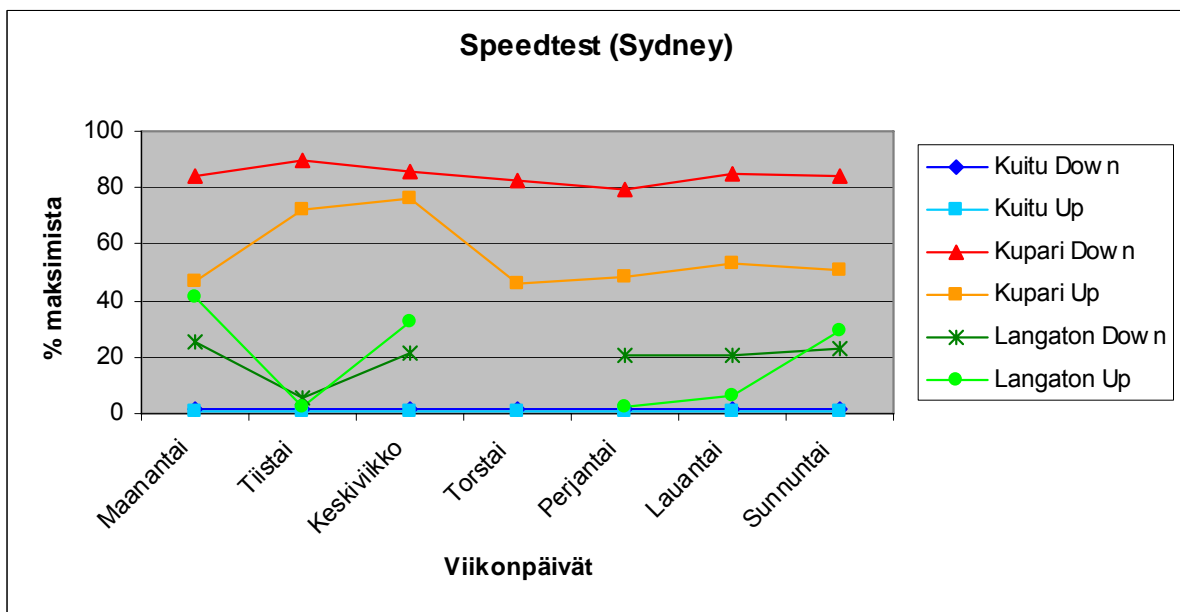


Taulukko 9. Nopeustestin tuloksia viikon jaksolla Lontoon välillä.

Vaikka kuitu jääkin taulukossa alimmaksi on sen siirtonopeus edelleen 5 - 8 kertainen verrattuna 1 Mbit/s ADSL yhteyteen. 100 Mbit/s nopeuksisen kuidun 8 % tarkoittaa vielä 8 Mbit/s nopeutta, kun 1 Mbit/s nopeuksisen ADSL:n 90 % tarkoittaa 900 kbit/s nopeutta.



Taulukko 10. Nopeustestin tuloksia vuorokauden jaksolla Sydneyn välillä (-10 GMT).



Taulukko 11. Nopeustestin tuloksia viikon jaksolla Sydneyn välillä.

Taulukoiden tuloksissa kannattaa huomioida, että käyrät kuvaavat tekniikan nopeutta sen luvatusa teoreettisesta maksimista, jotka esimerkiksi ADSL:lla saattoi olla 512 kbit/s, WLAN:illa 11 Mbit/s (joka harvoin käytännössä toteutuu access tyyppisissä yhteyksissä) ja kuidulla 100 Mbit/s.

Oman operaattorin puuttuessa käytettiin Nettimittarissa parhaan tuloksen antanutta toista operaattoria. Tuloksien ollessa prosentteja ovat ne kuitenkin helposti muutettavissa bit/s-nopeuksiksi. Esimerkiksi 1 Mbit/s ADSL:n 90 % on 900 kbit/s ja 100 Mbit/s kuidun prosentit on suoraan myös siirtonopeuksia Mbit/s.

Australiaan asti tehdyssä mittauksessa on kuidun nopeusetu miltei kokonaan menetetty tavallisiin ADSL yhteyksiin nähden. Tämän johdosta voidaan todeta myös, että palvelimien sijainnilla on suuri merkitys ja varsinkin siirryttäessä käyttämään nopeita yhteyksiä ja haluttaessa siirtää laadukasta videokuvaa. Näin pienellä otannalla ei muun liikenteen merkitystä voida todentaa, ja tuloksiin voi vaikuttaa monta tekijää.

Yleisesti ottaen tulokset olivat varsin tasaisia. Kuidun ja muiden nopeimpien tekniikoiden käyttäjillä tietoliikenteen nopeus oli niin suurta, että se vaatii myös laitteistolta suorituskykyä. Näissä nopeimmissa tekniikoissa nopeuteen vaikuttavat paljon myös samanaikaiset muut prosessit koneella.

Mielenkiintoisena asiana ilmeni kyselyn nopeustestien sivutuotoksena hidas tietoliikennyhteys itäiseen naapuriimme Venäjään. Suomalaisilla yrityksillä on paljon toimintaa naapurimaassamme, ja venäläiset ovat esimerkiksi suuri matkailijaryhmä Suomessa. Edustaahan pelkästään Pietarin alue asukasmäärältään yhtä suurta aluetta Suomen kanssa, ollen lähempänä maantieteellisesti Ruotsia ja muita läntisen Euroopan maita. Tällä hetkellä nopeustestien tuloksien mukaan siirtonopeudet Pietariin ovat lähes samaa luokkaa Australian kanssa, joka on toisella puolella maailmaa, eikä 200 kilometrin päässä. Tämä tarkoittaa nopeudessa sitä, että esimerkiksi VoIP-puhelut eivät voi onnistua varmuudella. Pietarin ja Suomen välisen tietoliikenneverkon parantamiseen tähtäävää rakentamista helpottaa varmasti nopeallakin aikataululla käynnissä olevat kaasulinjat, tai tulevat valtateiden rakentamisinvestoinnit.

Käyttäjiltä kysyttiin myös arviota eri sovelluksien toimivuudesta. Kaikki sovellukset saivat hyvät arvosanat, koska jokainen käyttäjä tiesi oman laajakaistansa nopeuden ja osasi arvioida sen suorituskyvyn. Tästä syystä käytetyt sovelluksetkin olivat niitä, jotka hyvin toimivat oman yhteyden nopeudella.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Monissa verkkoratkaisuissa on helppo seurata tulevaa kehitystä seuraamalla uusien standardien kehitystä ja tuloa tuotteisiin. Ilman standardia toteutetut tuotteet ovat usein valmistajakohtaisia, eikä yhteensopivuutta toisten valmistajien tuotteisiin pystytä takaamaan. Operaattorit odottavat myös tuotteiden standardointia ennen tuomista kuluttajille, koska näin taataan tuotteille parempi saatavuus. Esimerkkinä voidaan pitää WLAN-verkkoja, joissa monet tuottajat ovat kehittäneet 802.11g -standardia ennen 802.11n -standardin tuloa markkinoille.

Nopeudeltaan alle 8 Mbit/s kupariyhteyksiä pitäisi pyrkiä välttämään. Ongelmana ovat kuitenkin kauimpana sijaitsevat taloudet. Hitaimmat yhteydet pystytään tarjoamaan langattomasti ja tällöin uusi asukas alueella ei joudu maksamaan mahdollisia kalliita linjanvetoja asuntoonsa. Lisäksi avojohtoihin perustuvien verkkojen pylväätkä alkavat vanhentua, ja niiden uusimiseen kohdistuu investointeja. Investoinnit kupariyhteyksiin aiheuttavat myös todennäköisesti alueelle tilanteen, jolloin sinne ei investoida lähiaikoina muuhun tietoliikenteeseen, ja myöhemmin siellä ollaan nopeuksien kasvaessa taas jäljessä kehityksestä.

Yksi suurimpia käyttäjien suosimia palveluita on televisio, ja paljon on ollut kiinnostusta sen siirtymisestä IP-pohjaiseksi. Siirtotien muuttuminen kuiduksi mahdollistaa toteutumisen laajakaistan kautta. Tällöin TV-lupamaksu voisi sisältyä nopeimpiin laajakaistayhteyksiin. Toteutuksena helpointa olisi tehdä multicast -lähettyksiä, jolloin toiminta olisi nykyisen kaltaista. Vertailtaessa TV-lähettyksiä pitempään käytössä olleisiin nettiradioon ja musiikin ostamiseen Internetistä, tulee esille, että kaupallisesti on helpompaa myydä kannattavasti yksittäisiä kappaleita kuin harrastaa broadcast -tyyppisiä lähettyksiä. Tämä asia tulee helposti myös esille videoiden puolella, eli kuluttajat haluavat valita katsomansa ohjelmat paremmin, jos vain mahdollista. Tämä tuo toki tekijänoikeudellisia ongelmia levitykseen ja mainostamiseen sekä uusia tapoja toteutukseen.

Tekniikan siirtyessä yli 50 Mbit/s nopeuksiin ja mahdollistaessa täydet HD TV-lähetykset (High-definition television) verkon kautta, on päästy tilanteeseen, jolloin käyttäjä voi valita siirtotien vapaasti. Kuluttajille tarkoitetuista sovelluksista on saatavilla suurin osa. Tämä luo myös paineita saada tekijänoikeudet toimiviksi, koska nyt jo on saatavilla esimerkiksi rajoitetusti TV-lähetyksiä laajakaistan kautta.

Tällä hetkellä kuluttajilla on maksettavana laajakaistan ja matkapuhelimen kuukausittaiset laskut. Laajakaistan tultua tärkeäksi viestimeksi, ihmiset haluavat todennäköisesti toiminnon myös lomilleen, esimerkiksi kesämökille. Jo nyt mobiilipuolelta on saatavilla siirrettävä datayhteys, jonka EDGE-ominaisuus on kattavuudeltaan kohtuullisen suuri. Ellei datamäärät ole suuria, niin osa ihmisistä on jo päätenyt tällaiseen ratkaisuun siirrettävyyden takia. Siirrettävyys tarpeen mukaan olisikin laajakaistaliittymälle hyvä ominaisuus, ettei tarvitsisi ottaa vielä kolmatta liittymää kesäksi matkapuhelimen ja laajakaistan lisäksi. Yksi tapa olisi liittää @450-verkon käyttömahdollisuus laajakaistasopimukseen. Toiminta operaattoreiden välillä voisi olla samankaltainen, kuten postilla on esimerkiksi kesällä. Postihan voidaan ohjata mökille, samoin laajakaistan käyttäjä pääsisi käyttämään yhteyttään mökiltä.

Langattomien tekniikoiden puolella tekniikat tulevat vielä kehittymään paljon. Tekniikat kehittyvät viisaammiksi eli pystyvät paremmin käsittelemään liikennettä. Laskentatehon kasvaessa myös algoritmit voivat kehittyä. Sama laskentatehon kasvu voi vaikuttaa myös tiedonsiirtoon pakkaustapoja parantaen. Tosin monesti on parannettu sovellusten ja tiedon (valokuva) laatua ainakin vielä tähän asti kehityksen mukana, eikä tiedostojen koko ole pienentynyt. Langattomissa tekniikoissa olisi kuitenkin helppoa lisätä kaistaa, antamalla tekniikan käyttämien taajuuksien viereisiä taajuuksia lisää käyttöön. Nykyään osa näiden käyttäjistä on siirtynyt käyttämään jotain yleisistä langattomista tekniikoista ainakin jossain määrin. Lisäksi kehittyvät muutkin tekniikat digitalisoitumisen myötä, mutta tarvitaanko ja käytetäänkö näissä kaikissa tämän muutoksen myötä lisää dataa vai vapautuuko tällöin myös kaistaa muuhun käyttöön. TV-signaalin muuttuessa digitaaliseksi vapautuvat analogiset taajuudet, vaikkakin ne todennäköisesti taitavat jäädä TV-käyttöön lisäämään kanavia ja toivottavasti parantamaan laatua.

Uusilla kaavoitetuilla alueilla ei tulisi kaivaa sähköjohtoja maahan, jättämättä samalla myös optiota kuituun. Vastuu tästä siirtyy paljolti energiayhtiöille, mutta olisi lyhytnäköistä kaivaa pihat tai tiet auki taas viiden vuoden päästä, kun kuitutarve kasvaa ja asuntojen pihat sekä tiestöt on saatu siistiin kuntoon. Sama tilanne on myös vanhoissa kerrostaloissa, joissa putkiremonttien yhteydessä olisi helppoa asentaa laadukkaammat kaapeloinnit datalle.

Oman lisänsä tuo myös pakollinen viemärintiasetus (lähinnä liitettäessä kunnalliseen verkkoon). Jos on vain mahdollista, tulisi kuitu asentaa maahan yhdessä vesija viemärijohtojen kanssa. Nyt laajakaista on miltei kaikilla ja sitä ei enää mielletä asunnon arvoa nostavana tekijänä, mutta nopeampiin yhteyksiin varautuminen voi olla tulevaisuudessa arvossaan.

Jotkut puhelinkeskuksista ovat olleet jo pitkään käytössä, mutta tarvittavan tilan tarve on pienentynyt huomattavasti. Keskukset ovat sijainniltaan ja rakennettujen nopeiden runkoyhteyksien ansiosta paljon parempia, verrattuna esimerkiksi langattomien tekniikoiden mastoihin ja niiden sijaintiin runkoyhteyksineen haja-asutusalueella. Näiden rakennusten purkaminen on hankala kysymys, eli tuovatko ne runkoyhteyksineen mahdollisuuden nopeammille yhteyksille vielä jatkossa, ja ovatko ne tekniikkaa ylläpitävä tekijä haja-asutusalueilla. Vai olisiko tulevaisuudessa järkevintä tehdä sopivamman kokoiset uudet kopit, koska tilan tarve on pienentynyt ja sijoittaa vielä paremmin tekniikalle sopivaan paikkaan.

Yksi ajatuksen arvoinen mahdollisuus olisi käyttää mikrokuitupuhallusta, jossa kunta tai kylä kaivaisi putket maahan, ja operaattori huolehtisi kuidun puhalluksesta ja asennuksista. Laajakaistayhteyksien nopeutuessa yleisesti 50 Mbit/s tasoiisiin nopeuksiin, tulee verkon hitaimmat kohdat ainakin aluksi olemaan käyttäjien ja palveluntarjoajien päissä. Suuret nopeudet vaativat suorituskykyä laitteistolta, tai estävät ainakin samanaikaiset prosessit aiheuttaen hitautta päällä oleviin toimintoihin.

Todella nopeiden yhteyksien tulo ei ole aikataulullisesti nopeata koko maan laajuudessa, jolloin rakentajille jää runsaasti aikaa varautua runkoyhteyksien suorituskyvyn parantamiseen. Kuidun vieminen nykytekniikalla ei ole sen hankalammin toteutettava asia, kuin aiemmin kupariyhteyksien tuominen jokaiseen talouteen. Kuten kuparissa, tulisi kuidussakin huomioida pitkä rakentamisaika ja useiden vuosikymmenien verkon toiminnallinen aika.



## 6. TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ

Suomen tapa toimia siten, ettei valtio ole rakennuttanut suoraan kotiin kuituyhteyksiä on ollut hyvä. Tarve tietoliikenteen nopeudessa ei kuitenkaan vielä yleisesti ole kuituyhteyksiä vaativa, koska palvelut ovat olleet riittäviä hitaammillekin yhteyksille. Asianmukaista olisikin rakentaa nopeampia yhteyksiä tarpeen mukaan, koska tekniikka kehittyy joka alalla nopeasti, ja käytettäväksi voi tulla paljon uusia ratkaisuja, joita ei aiemmin olisi ollut käytettävissä. Yhtenä vertailevana esimerkkinä voisi olla myös koti PC, jonka laitteisto on kehittynyt paljon nopeammin kuin tehoa vaativat tavallisten käyttäjien ohjelmistot, vain pelit ovat olleet kehityksessä mukana. Käy helposti niin, ettei ohjelmistoja viimeistellä loppuun asti optimoimaan tehon tarvetta, ja ne voivat syödä turhaan resursseja. Tällainen sama piirre voisi tulla tietoliikenteen puolella esiin, jos tarjottaisiin kaistaa niin paljon, että sen käytön tarve menettäisi merkityksen.

Vertailtaessa muualla maailmalla tapahtuneeseen tietoliikenteen kehitykseen, voisi odottaa Suomenkin seurailevan samoja linjoja. Etelä-Koreassa mentiin aluksi langattomaan suuntaan erityisesti mobiilipuolella, kunnes laajakaistan kautta saatavat palvelut kehittyivät liian raskaiksi tätä kautta saataviksi. Erityisesti elokuvat ja TV-lähetykset korkealaatuisina alkoivat siirtää kiinnostuksen kuidun käytön puolelle. Suomeenkin malli sopisi varmasti hyvin, aluksi mahdollistettaisiin kaikille pääsy Internetiin laajakaistan avulla, jonka jälkeen kiinnostuksen mukaan ruvettaisiin tuomaan nopeampaa tekniikkaa.

## LÄHDELUETTELO

Anritsu 2007, The Must-Have Reference for Wireless Communication, [www-dokumentti] [käytetty Huhtikuussa 16, 2007] Sivulta:

<http://www.eu.anritsu.com/wireless/>

Cisco Verkkoakatemia Ensimmäinen vuosi, 2002, IT Press

Cisco Verkkoakatemia Toinen vuosi, 2002, IT Press

DSL Forum, ADSL2 and ADSL2plus – The new ADSL standards, [www-dokumentti]

Päivitetty Maaliskuussa 25, 2003 [käytetty Maaliskuussa 21, 2007] Sivulta:

[http://www.dslforum.org/aboutdsl/ADSL2\\_wp.pdf](http://www.dslforum.org/aboutdsl/ADSL2_wp.pdf)

DSL Forum, VDSL Tutorial, [www-dokumentti] Päivitetty 2001 [käytetty Maaliskuussa

21, 2007] Sivulta: [http://www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl\\_tutorial.html](http://www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl_tutorial.html)

Dublin City University (DCU), 2006. [www-dokumentti] Päivitetty Maaliskuussa 23,

2001 [käytetty Marraskuussa 23, 2006] Sivulta:

<http://www.eeng.dcu.ie/~ee199/slides/pdf/dsl.pdf>

Ginsburg David, 2000, ADSL, IT Press

Kakko Pirjo, 2006, Flash-OFDM and Wireless Broadband Applications, The Bachelor's Thesis, Kemi-Tornio polytechnic the unit of technical education

Koljonen Jorma, 2003, Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tietotekniikan osasto

Kuuskaista, 2006, [www-dokumentti] [käytetty Joulukuussa 4, 2006] Sivulta

[http://www.kuuskaista.com/knopit/knoppi01\\_03.pdf](http://www.kuuskaista.com/knopit/knoppi01_03.pdf)

Laajakaistainfo, Kansallinen laajakaistastrategia 2004-2007, Loppuraportti, [www-dokumentti] Päivitetty Tammikuussa 23, 2007 [käytetty Elokuussa 5, 2007] Sivulta: <http://www.laajakaistainfo.fi/toimeenpano/loppuraportti0107.php>

Liikenne ja viestintäministeriö, Peruspuhelinpalvelut voi jatkossa järjestää myös matkapuhelinliittymällä, 2007, [www-dokumentti] Päivitetty Helmikuussa 1, 2007 [käytetty Kesäkuussa 26, 2007] Sivulta: <http://www.lvm.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1870&menuid=88&channelitemid=15460&channelid=54>

Liikenne ja viestintäministeriö, Verkon avoin käyttö 76/2005, [www-dokumentti] Päivitetty Lokakuussa 31, 2005 [käytetty Huhtikuussa 25, 2007] Sivulta: [http://www.mintc.fi/oliver/upl930-Julkaisuja\\_76\\_2005.pdf](http://www.mintc.fi/oliver/upl930-Julkaisuja_76_2005.pdf)

Liikenne ja viestintäministeriö, Datasähkö Suomessa 1/2004, [www-dokumentti] Päivitetty Heinäkuussa 28, 2004 [käytetty Maaliskuussa 21, 2007] Sivulta: [http://www.mintc.fi/oliver/upl819-46\\_2004.pdf](http://www.mintc.fi/oliver/upl819-46_2004.pdf)

Liikenne ja viestintäministeriö, Telepalveluyritysten rakenne ja toimintamahdollisuudet 2/2004, [www-dokumentti] Päivitetty Maaliskuussa 15, 2004 [käytetty Huhtikuussa 25, 2007] Sivulta: <http://www.mintc.fi/oliver/upl480-1604.pdf>

Piirainen, Heikki, 2004, Nopeat tietoliikenneyhteydet kylille ja haja-asutusalueille, Pohjois-Karjalan liitto, Kirjapaino Hyvätuuli

Puska Matti, Talentum Media Oy, 2005, Langattomat lähiverkot, Gummerus Kirjapaino Oy

Pöyry Kalevi, 1988, Viisikymmentä vuotta televiestintää Kaakkois-Suomessa 1938-1988, PTL-Tele Kaakkois-Suomi, Sisälähetysseuran kirjapaino Raamattula

Telenor, 2004, 001930 BROADWAN, Deliverable D8, Recommendations on matching hybrid wireless network technologies to deployment scenarios, [www-

dokumentti] Päivitetty Lokakuussa 31, 2004 [käytetty Huhtikuussa 16, 2007] Sivulta:  
[http://www.telenor.no/broadwan/publ/BROADWAN\\_Deliverable\\_%20D8\\_hybridtechnologies.pdf](http://www.telenor.no/broadwan/publ/BROADWAN_Deliverable_%20D8_hybridtechnologies.pdf)

Teletekno, 2006, Optiset liityntäverkot

Öörni Risto, 2005, AINO-julkaisuja 5/2005, Kartoitus eri liikennetelematiikkasovellusten radiotaajuustarpeista ja liikennetelematiikalle varatuista radiotaajuuksista

AINO-julkaisuja 4/2005, 2005, Vaihtoehtoja julkisen vallan tavoitteiksi liikennetelematiikan palvelutuotannossa

IEEE Standards Association, 2006, [www-dokumentti] Päivitetty Syyskuussa 29. 2006 [käytetty Helmikuussa 22. 2007] Sivulta:  
<http://grouper.ieee.org/groups/802/dots.html>

Ericsson, 2006, [www-dokumentti] [käytetty Toukokuussa 18. 2007] Sivulta:  
[http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2006\\_03/files/6\\_hsdpa.pdf](http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2006_03/files/6_hsdpa.pdf)

## LIITTEET

### Tutkimustyön tavoite

Tämän tutkimustyön tavoitteena on tarkastella alueellista laajakaistakehitystä kahdesta näkökulmasta.

- 1) Teknologinen näkökulma; valittujen tekniikoiden toimivuusvertailu käytännössä; ADSL, Wimax, Kuitu
- 2) Aluetieteellinen näkökulma; valitun maakunnallisen laajakaistastrategian vaikutus aluekehitykseen

Haastattelujen ja kyselyjen perusteella tavoitteena on tunnistaa käyttäjien eri näkemyksiä käyttämistään laajakaistoista.

Tavoitteena on lähentää käyttäjien ja yhteyden toimittajan, sekä maakunnallisten rahoittajien näkemyksiä laajakaistojen tarpeista. Tavoitteena on tuottaa tietoa siitä, millä tavalla laajakaista teknologiat ovat kehittyneet ja kehittymässä sekä millä tavalla alueet ovat varautuneet nykyiseen ja tulevaan kehitykseen.

### Ohjeita haastattelututkimuksen tekoon

Mittausajankohdat-osion tarkoituksena on pystyä havaitsemaan vuorokaudenaikojen merkitys verkon kuormituksessa. Sää-kohta on tarkoitettu pääasiassa langatonta yhteyttä käyttävillä, selvittämään sen merkitystä. Mittauskerrat on numeroitu ja näitä samoja numeroiteja käytetään mittauksissa ja sovellusten arvioinneissa. Tyhjäksi jätetty ruutu riittää merkitsemään, ettei kyseisellä kerralla ole tehty mittauksia tai käytetty sovellusta.

Nopeustesti-osiossa pyritään saamaan selville serverin sijainnin merkitys yhteyteen. Kotimaisen Ficoran nettimittaria käytettäessä ei kaikkia operaattoreita välttämättä ole tarjolla, mutta esim. Ainaconomia pääsee käyttämään ainakin toistaiseksi kaikki. Nopeusmittausten tulokset merkitään ruudukkoon kauttaviivalla erotellen: Vastaanotto = Downlink ja Lähetys = Uplink esim. 234/123.

Käytännön toimivuusarviointi-osio kohtaan toivotaan useampaa käyttökokemusta kertaa ja oman mielipiteen mukaista arviointia sovelluksille.

Palautus sähköpostiin 16.2. mennessä.

Taneli Roimola  
DIGI-2004/Tite  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
puh. 0400265940  
email. roimola@lut.fi

## HAASTATTELUTUTKIMUS

Haastateltavan nimi:

Sähköpostiosoite:

Käytetty laajakaistatekniikka:

Paikkakunta:

Mittausajankohdat: (Päivämäärä, kellonaika, sää)

1.	_____	_____	_____
2.	_____	_____	_____
3.	_____	_____	_____
4.	_____	_____	_____
5.	_____	_____	_____
6.	_____	_____	_____
7.	_____	_____	_____
8.	_____	_____	_____
9.	_____	_____	_____
10.	_____	_____	_____

Nopeustestejä: (tulokset Vastaanotto/Lähetys)

<https://nettimittari.ficora.fi/nettimittari/clients.aspx> (Suomessa)

1.	2.	3.	4.	5.
6.	7.	8.	9.	10.

<http://www.speedtest.net/> (Euroopassa [Lontoo]) (tulokset Downlink/Uplink)

1.	2.	3.	4.	5.
6.	7.	8.	9.	10.

<http://www.speedtest.net/> (Maailmassa [Australia, Sydney])

1.	2.	3.	4.	5.
6.	7.	8.	9.	10.

Käytännön toimivuusarviointi: (Arvosanat 0-5, jos käytetty mittaus ajankohtana)

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.

Videopuhelut:

VoIP-puhelut:

Videoiden katselu (TV):

Nettiradio:

Etätyöskentely:

Pelaaminen:

Tiedostojen latautuminen:

Tiedonhaku (surffaaminen):


Kääntöpuolelle/seuraavalle sivulle voit vapaasti kommentoida tietoliikenteen toimintaa, esim. ongelmatapauksia, onko tarvetta nopeammalle yhteydelle tai mihin haluaisit nettiä käyttää.

