

Jussi-Pekka Tiilikka

# **Pientaloalueen liityntäverkon korvaaminen ja teknologiavaihdos**

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikka

Tekijä: Jussi-Pekka Tiilikka

Työn nimi: Pientaloalueen liityntäverkon korvaaminen ja teknologiavaihdos

Ohjaaja: Alpo Anttonen

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 60

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Vanhat kuparilla toteutetut kaapeliverkot rakennettiin aluksi kulkemaan ilmassa. Usein kaapelit asennettiin samoihin pylväisiin sähkökaapeleiden kanssa. Näiden ilmassa kulkevien linjojen käyttöikä alkaa olla lopussa, joten ne joudutaan korvaamaan uusilla kaapeleilla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia TeliaSoneran projektia ilmakaapeliverkon korvaamisesta maakaapeloinnilla, kun yhteiskäytössä olevat ilmalinjat korvataan sähkölaitoksen aloitteesta. Työssä perehdytään aluksi liityntäverkon rakenteeseen ja siirtolaitetekniikoihin. Mukaan on otettu erilaiset johdolliset siirtotiet sekä langattomat vaihtoehdot, johtuen korvattavien alueiden erilaisuuksista.

Työssä esitellään lyhyesti korvausprojektin eteneminen suunnittelijan näkökulmasta, jonka jälkeen käsitellään alueella x toteutettu projekti, sen aikana ilmenneet ongelmat ja niiden ratkaisut. Projekti aloitetaan yleensä alueen rajauksella, jonka jälkeen päätetään tekniikka jolla uusi verkko toteutetaan. Työssä on pyritty huomioidaan kaikki tarpeellinen, mitä korvaustapausten suunnittelussa on otettava huomioon.

Työssä tehtiin lopuksi katsaus tulevaisuuteen ja pohdittiin miten vastaavanlaiset projektit saataisiin toteutettua helpommin ja nopeammin.

Avainsanat: liityntäverkko, johdollinen siirtotie, laajakaista, valokuitu, mobiililaajakaista

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School Of Technology

Degree programme: Automation Technology

Author: Jussi-Pekka Tiilikka

Title of thesis: Replacing Cable Network and Technology Change in a Residential Area

Supervisor: Alpo Anttonen

Year: 2012                      Number of pages: 60      Number of appendices: 0

---

The aim of this thesis was to replace cable network and change technology in a residential area built up with single-family houses. It was commissioned by the network operator TeliaSonera Finland Oyj.

The objective was to write a short description of how to replace network stage by stage. The increase of cable replacement projects was the biggest reason why this research was carried out. Another reason was the missing instructions.

The thesis consists of the main principles of network planning and building. It also gives information about physical and wireless networks, such as optical fibre. The results can be used for help when starting a new replacement project.

Keywords: network building, optical fibre, wireless, customer network, telecommunication, cabling

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO .....	6
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET .....	7
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>10</b>
1.1 Työn taustaa .....	10
1.2 Työn tavoite ja rakenne.....	11
1.3 Yritysesittely.....	12
<b>2 LIITYNTÄVERKKO .....</b>	<b>13</b>
2.1 Liityntäverkon rakenne .....	13
2.2 Johdollinen siirtotie.....	14
2.3 Kuparikaapeli .....	15
2.4 Valokaapeli .....	17
2.5 Koaksiaalikaapeli.....	20
2.6 Hybridikaapeli .....	22
<b>3 LAAJAKAISTAISET SIIRTOTEKNIIKAT .....</b>	<b>23</b>
3.1 xDSL .....	23
3.1.1 ADSL .....	24
3.1.2 SHDSL.....	27
3.1.3 VDSL .....	27
3.2 Ethernet .....	28
3.3 KTV ja kaapelimodeemi .....	30
3.4 Satelliitti.....	31
<b>4 MOBIILILAAJAKAISTA JA POG .....</b>	<b>33</b>
4.1 Ensimmäinen sukupolvi, 1G .....	33
4.2 Toinen sukupolvi, 2G .....	34
4.3 Kolmas sukupolvi, 3G .....	35
4.4 Neljäs sukupolvi, 4G .....	36
4.5 POG, POTS over GSM.....	37

5	LIITYNTÄVERKON OPTISET RATKAISUT .....	38
5.1	FTTB .....	40
5.2	FTTH .....	40
6	PIENTALOALUEIDEN KORVAUSKAAPELOINTI .....	42
7	ALUEEN X KORVAUSPROJEKTI .....	43
8	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET .....	45

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Esimerkkejä asuinkiinteistöjen liityntätyypeistä .....	13
Kuva 2. Kierretyt parikaapelit .....	16
Kuva 3. Optisen valokuituyhteyden pääperiaate.....	18
Kuva 4. Valokuitukaapelin toiminta perustuu valon taittumiseen ja heijastumiseen .....	19
Kuva 5. Askelkuidun (a), asteittaiskuidun (b) sekä yksimuotokuidun (c) toimintojen pääperiaatteet .....	20
Kuva 6. Koaksiaalikaapelin rakenne.....	21
Kuva 7. ADSL-kanavajako DMT-menetelmällä.....	25
Kuva 8. xDSL-liityntäteknikoiden ominaisuuksia.....	28
Kuva 9. KA-SAT-satelliitin toimintaperiaate .....	32
Kuva 10. Kuitutopologiat liityntäsolmun ja tilaajan välisellä osuudella .....	38
Kuva 11. Kaapelitopologiat.....	40

## KÄYTETYTTERIT JA LYHENTEET

1G	1 <sup>st</sup> Generation Mobile Technology
2G	2 <sup>nd</sup> Generation Mobile Technology
3G	3 <sup>rd</sup> Generation Mobile Technology
3GPP	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
4G	4 <sup>th</sup> Generation Mobile Technology
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANSI	American National Standards Institute
ATU-C	ADSL Transceiver Unit-C
ATU-R	ADSL Transceiver Unit-R
ARP	Autoradiopuhelinverkko
CAP	Carrierless Amplitude and Phase Modulation
CEPT	Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications
CMTS	Cable Modem Termination System
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DIX	DEC:n, Intelin ja Xeroxin muodostama ryhmä
DMT	Discrete Multi-Tone Line Coding
DOCSIS	Data Over Cable Services Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer

ECB	EuroDOCSIS Certification Board
ECE	European Communications Engineering
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FBLMTS	Future Public Land Mobile Telephony System
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FTTB	Fiber To The Building
FTTH	Fiber To The Home
Gbit/s	Siirtonopeus, gigabittiä sekunnissa
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications, alkup. Groupe Spécial Mobile
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	Ultra High Speed Downlink Packet Access
Hz	Hertzi
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
kbit/s	Siirtonopeus, kilobittiä sekunnissa
kHz	Kilohertzi
KTV	Kaapelitelevisioverkko



LER	Label Edge Router
LSR	Label Switching Router
LTE	Long Term Evolution
Mbit/s	Siirtonopeus, megabittiä sekunnissa
MHz	Megahertzi
ME	Metro Ethernet
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
MPLS	MultiProtocol Label Switching
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
POG	POTS Over GSM
POTS	Plain Old Telephone Service
QoS	Quality of Service
SC-FDMA	Single-carrier FDMA
SHDSL	Symmetrical Single-Pair High Bit Rate Digital Subscriber Line
SM	Service Module
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn taustaa

Jatkuvasti kehittyvässä yhteiskunnassa ei tulla toimeen ilman sähköä ja jatkuvasti saatavilla olevia viestintäpalveluja. Puhuttaessa tele- ja tietoliikennepalveluista, saatavuus ja nopeus ovat asioita, joihin tavallinen kuluttaja kiinnittää huomionsa. Kun vielä kymmenen vuotta sitten tavoiteltiin koko maan kattavaa matkapuhelinverkkoa, käynnisti liikenne- ja viestintäministeriö vuonna 2008 hankkeen jonka tavoitteena on taata laajakaistasaatavuus kaikille halukkaille Suomen rajojen sisäpuolella asuville vuoteen 2015 mennessä.

Laajakaista terminä alkaa olla tuttu monelle suomalaiselle. Laajakaistan saatavuus on parantunut suuresti ja tulee parantumaan koko ajan, kun valtakunnalliset ja paikalliset teleoperaattorit laajentavat ja uusivat verkkojaan valokaapeliratkaisuilla. Etäisyydet ja vanhojen linjojen heikko kunto ovat kuitenkin kehityksen hidasteena. Toisaalta tukiasemaverkoston laajeneminen, ja viimeisimpänä satelliittiyhteyksin tarjottavat laajakaistaratkaisut, tuovat langattomat laajakaistat yhä useampien saataville.

Uudet televerkot rakennetaan pääsääntöisesti kaivamalla kaapelit maihin. Vanhat, ilmassa kulkevat puhelinlinjat on laitettu purkutuomion alle. TeliaSonera käynnisti vuonna 2008 hankkeen, jonka tavoitteena on korvata haja-asutusalueiden vanhat kuparikaapeliverkot valokuitukaapeleilla ja langattomilla ratkaisuilla. TeliaSonera onkin purkanut viime syksyyn mennessä yli puoli miljoonaa puhelinpylvästä ja muutaman vuoden sisällä olevia vanhenevia pylväitä on ainakin saman verran vielä jäljellä.

Osa asutusalueiden ilmassa kulkevista linjoista on rakennettu yhdessä sähkölaitosten kanssa samoihin pylväisiin. Viime aikoina TeliaSoneran kanssa yhteispylväissä olevat sähkölaitokset ovat alkaneet korvaamaan vanhoja ilmalinjojaan maakaapeleilla varsinkin maaseutujen pikkukylissä. Vanhojen pylväiden lunastaminen omaksi ei ole järkevää ja ainut vaihtoehto onkin korvata ilmalinjat joko uusilla maakaapeleilla tai langattomilla ratkaisuilla.

Tutkimuksen teoriaosuus on pyritty rajaamaan siten, että esitellyt ratkaisut ovat juuri niitä, jotka ovat käytössä TeliaSoneralla ja ne liittyvät projekteissa käytettäviin toteutuksiin. Teoriaosuus koostuu liityntäverkon esittelystä sekä sen laajakaistaisista, langattomista ja optisista siirtoteknisistä ratkaisuista. Mukaan on otettu myös lähiverkkotekniikkaan liittyvä Ethernet, johtuen sen liittymisestä niin tilaajaverkon asiakkaisiin, kuin myös tilaajaverkon liittymisessä runkoverkkoon.

## 1.2 Työn tavoite ja rakenne

Nopeasti ajateltuna ilmalinjojen korvaaminen maakaapeleilla tuntuu helpolta ja nopealta ratkaisulta. Sitä se ei kuitenkaan ole. Riippuen alueen laajuudesta ja asiakkaiden määrästä, saattaa pelkkään suunnitteluun kulua paljon aikaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää pientaloalueiden korvauskaapelointiprojektien kulkua projektin toteuttajan, tässä tapauksessa TeliaSoneran näkökulmasta. Työn tavoitteena ei ole tuottaa virallista työohjeistusta, koska jokainen korvausalue on erilainen, vaan työssä esitellään projektin tärkeimmät vaiheet lähinnä verkostosuunnittelusta vastaavan näkökulmasta. Työhön on otettu mukaan alueella x toteutettu korvausprojekti, joka oli ensimmäisiä vastaavia projekteja, ja jonka läpiviennissä tuli vastaan erilaisia ongelmia. Nämä ongelmat ja niiden ratkaisut on pyritty tuomaan esille kappaleessa seitsemän, kun taas kappaleessa kuusi esitellään ennen projektia laadittu selvitys tulevista tarpeista ja niiden vastuuhenkilöistä. Työstä on jätetty pois projektin urakointivaiheet, eli asennukset ja mittaukset, sillä niiden toteutuksesta on laadittu TeliaSoneralle omat ohjeet, joita noudatetaan kaikessa verkon rakentamisessa. Myös viranomaismääräysten käsittely on jätetty pois.

### 1.3 Yritysesittely

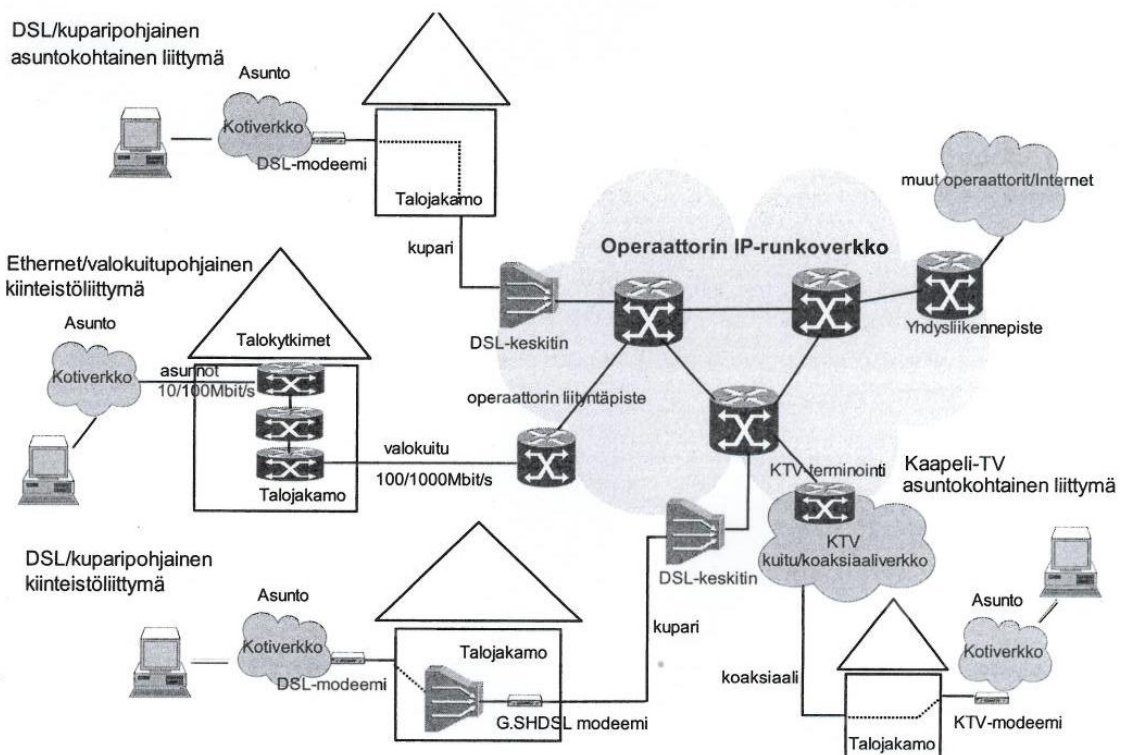
TeliaSonera on 1850-luvulla perustettu verkkoyhteyksiä ja televiestintäpalveluja tarjoava yritys. TeliaSonera on kehittynyt paikallisista operaattoreista vuosikymmenien kuluessa ja tällä hetkellä yritys on Euroopan viidenneksi suurin operaattori. Palvelujaan TeliaSonera tarjoaa Pohjoismaissa, Baltian maissa, Espanjassa sekä Euraasian kehittyvillä mailla kuten Venäjällä ja Turkissa. Nykyinen TeliaSonera muodostui vuonna 2002, kun ruotsalainen Telia ja suomalainen Sonera fuusioituivat. Nykyisen TeliaSonera yhtiön kotipaikka on Tukholma ja suurin yksittäinen osakkeenomistus kuuluu Ruotsin valtiolle. (TeliaSonera lyhyesti 2012.)

Suomessa TeliaSonera-konsernin toimintaa harjoittaa tytäryhtiö TeliaSonera Finland Oyj, joka tarjoaa televiestintäalan palveluja Sonera-, TeleFinland-, Cygate- ja DataInfo-brändeillä. TeliaSoneran IP-verkko on Euroopan suurin ja mobiilidata-verkko kuuluu maailman kolmen suurimman joukkoon. (TeliaSonera yritysesittely 2012.)

## 2 LIITYNTÄVERKKO

### 2.1 Liityntäverkon rakenne

Liityntäverkolla tarkoitetaan operaattorin omistamaa ja hallinnoimaa fyysisen verkon viimeistä osaa, jossa jakamolta tai keskukselta on rakennettu yhteys asiakkaan puhelinjakamoon. Liityntäverkosta voidaan sanoa myös, että se on se verkon taso, johon asiakkaat liittyvät. Tyypillisesti liityntäverkko on rakennettu kuparikaapeleilla, mutta optiset ratkaisut, eli valokuitukaapelin käyttö, lisääntyvät koko ajan. Liityntäverkosta käytetään myös sanaa tilaajaverkko. Liityntäverkko liittyy operaattorin palveluihin solmupisteiden kautta. (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004.) Kotitalouksien internet-liittymät voidaan toteuttaa joko kiinteistö- tai asuntokohtaisesti. Asuntokohtainen liittymä kytketään suoraan talojakamon kautta operaattorin tiloissa sijaitseviin keskittimiin, ja kiinteistöliittymässä talon asukkaat liitetään operaattorin palveluihin talokohtaisen kytkinlaitteiston ja yhteyden kautta. (Sähkötieto 2006, 38.)



Kuva 1. Esimerkkejä asuinkiinteistöjen liityntätyypeistä (Sähkötieto 2006, 39).

## 2.2 Johdollinen siirtotie

Johdollisella yhteydellä tarkoitetaan kahden pisteen välistä yhteyttä, jossa signaali kulkee tietoliikenteen molempia osapuolia yhdistävässä kaapelissa. Perinteisesti johdolliset siirtotiet on toteutettu kuparijohtimilla, mutta nykyään valokaapelit eli optiset kuidut, ovat syrjäyttäneet kuparijohtimet televerkon runkolinjoissa lähestulkoon täysin. Kuparijohtimet tulevat säilymään kuitenkin vielä jopa vuosikymmenien ajan johtuen niiden ominaisuuksista ja olemassa olevasta suuresta kuparijohdinverkosta. Kuparijohtimien etuina optisiin siirtoteihin on muun muassa sen helppo työstäminen ja liittäminen. Erilaisia kaapelointiratkaisuja on ollut vuosien saatossa lukuisia, mutta tällä hetkellä yleisesti käytössä olevat tyypit ovat parikierretty johdin eli kuparijohdin, valokuitukaapeli eli optiset kuidut, sekä koaksiaalikaapeli. Näiden kolmen yleisemmän lisäksi voidaan käyttää myös muita johtimia kuten vaikkapa tavallista sähkökaapelia, mikäli yhteyspituudet ovat lyhyitä ja nopeudet hitaita. Tietoliikennejärjestelmän toimivuuden kannalta kaapelointiratkaisu on keskeisellä sijalla ja tämän vuoksi tietoliikenneyhteyksien suunnittelussa tulisikin ottaa huomioon useita tärkeitä seikkoja, kuten:

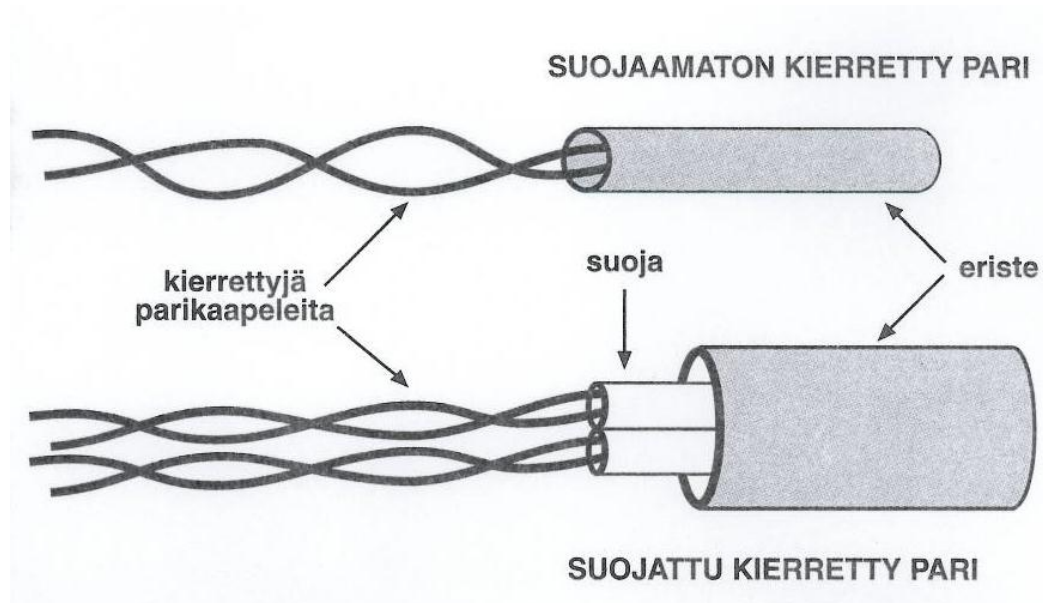
- Tietoliikenteen osapuolten välinen etäisyys toisistaan.
- Asennuskustannukset. Joissakin tilanteissa hyvän yhteyden rakentaminen saattaa muodostua kohtuuttoman kalliiksi, esimerkiksi mikäli kaapeli joudutaan tuomaan haluttuun pisteeseen kadun yli.
- Tiedon siirtonopeus johtimessa.
- Ympäristön tuomat haasteet. Eri kaapelointivaihtoehdot sietävät ja säteilevät häiriöitä eri tavoin. Joissakin palo- ja räjähdysalttiissa tiloissa ainoa käytettävissä oleva vaihtoehto on optinen siirtotie, joka pienentää palo- ja räjähdysvaaraa. (Granlund 2007, 41.)

### 2.3 Kuparikaapeli

Kuparikaapeliverkko ulottuu nykyisin lähes kaikkialle. Tilaajaverkoissa symmetriset kuparikaapelit ovat olleet käytössä jo yli sata vuotta. Ensimmäiset kaapelit olivat lyijyvaippaisia ja paperieristeisiä. Tilaajaverkossa niitä käytettiin alun perin vain puheen siirtämiseen, mutta vuosien saatossa kehittynyt tekniikka mahdollistaa entistä monipuolisemman ja nopeamman siirtotien televerkon käyttäjille. (Kuparikaapelit hoitavat 2002.)

Nykyinen tilaajaverkko on rakentunut vuosikymmenien aikana. Tekniikan kehityksen mahdollistamana myös kaapelit ovat kehittyneet vuosikymmenien saatossa. Tällöin on aivan selvää, että nykyinen tilaajaverkko sisältää useita eri kaapelityyppejä vanhoista paperieristeisistä uudempiin muovieristeisiin kuparikaapeleihin. (Kuparikaapelit hoitavat 2002.)

Tavallista, siirtotienä käytettävää kuparikaapelia kutsutaan parikierretyksi kaapeliksi. Tietotekniikan kasvun myötä siitä on tullut suosittu johtuen sen halvasta hinnasta ja hyvistä ominaisuuksista. Nykyinen parikierretty kaapeli koostuu useista ohuista kuparijohtimista, jotka on kierretty toistensa ympäri. Johtimien eristeenä käytetään yleisesti joko muovia tai paperia. Johtimien kierrolla haetaan vahvistusta säikeille, mutta tärkeämpänä asiana vähennetään kaapelin herkkyyttä häiriöille, kuten ylikuulumiselle. Lisäksi käytössä on suojaamaton kierretty parikaapeli, jota on käytetty vanhempien tilaajaverkon kaapeleina, kun etäisyydet ovat olleen lyhyet ja tarvetta on ollut lähinnä puhelinliikenteelle. (Keogh 2001, 91.)



Kuva 2. Kierretyt parikaapelit  
(Keogh 2001, 91).

Parikaapelijohtimet luokitellaan eri kategorioihin niihin liittyvien vaatimusten mukaan. Näitä vaatimuksia ovat mm. käytettävä nopeus, taajuus ja kierteiden pituus. Lisäksi parikaapelit jaetaan vielä sen mukaan, ovatko ne suojattu erillisellä maadoitetulla suojavaipalla, vai ovatko ne suojaamattomia. (Granlund 2007, 42-46.)

Kuparikaapelien käyttöä pyritään vähentämään johtuen sen suhteellisen isosta vaimennusarvosta verrattuna esimerkiksi optisiin kuituihin. Parikierretty kuparikaapeli soveltuu kuitenkin vielä hyvin tilaajaverkon toteutukseen, jolloin sen matka viimeiseltä laitteelta tilaajalle pysyy lyhyenä. Alla on lueteltuna kuparikaapeliin kohdistuvia sisäisiä sekä ulkoisia häiriötekijöitä:

- Vaimeneminen. Vaimenemisessa verkkosignaali heikentyy sen edetessä verkossa. Pitkillä matkoilla tämä tarkoittaa sitä että signaali ei ole tarpeeksi voimakas ulottuakseen verkon toiseen päähän. Tällöin lähetetyt datapaketit eivät pääse perille. Tilaajaverkkojen pituudet pyritään pitämään mahdollisimman lyhyinä, jolloin tätä ongelmaa ei ole.
- Ylikuuluminen. Ylikuulumisessa viereisen kaapelin muodostama signaali aiheuttaa häiriöitä ja johdinten lähetteet indusoituvat toisiinsa. Ylikuuluminen johtuu yleensä parikaapelin laadusta, joka taas johtuu johdinten symmetriasta. Parikierron onkin oltava mahdollisimman symmetrinen. Epäsymmetri-



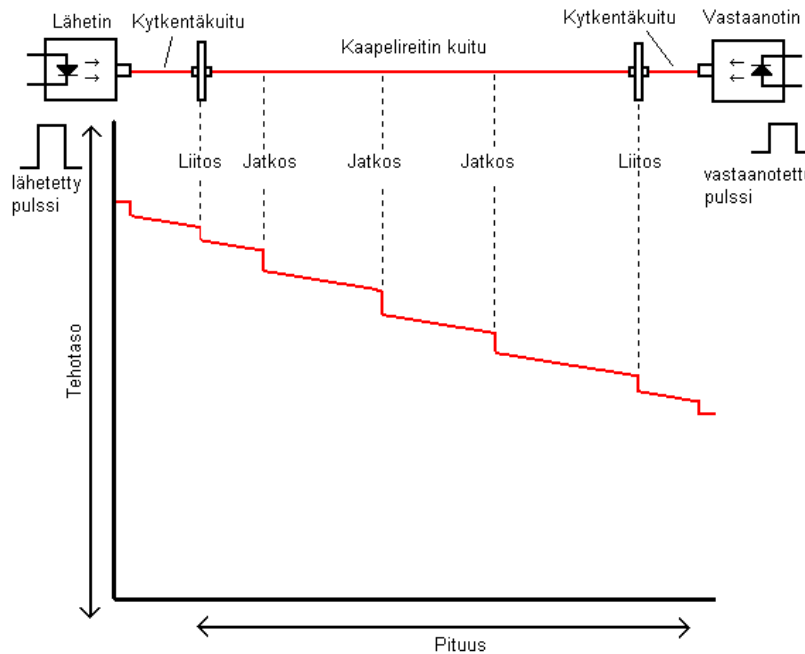
syys voi johtua mm. eristeiden materiaalieroista, liian voimakkaasta parikierrosta tai johtimien kokoerosta.

- Kaikuefektii. Kaikilla parikierretyillä kaapeleilla on oma ominaisimpedanssi eli vastus. Kaapeliin kytkettävillä laitteilla on myös omat ominaisimpedanssit. Kun kaapeli kytketään laitteeseen, jonka ominaisimpedanssiarvo on eri kuin kaapelilla, heijastuu näiden liitoksesta osa kaapeliin syötettävästä tehosta takaisin häiriten yhteyden laatua. (Penttinen 2006, 204-205.)

## 2.4 Valokaapeli

Valokaapeleiden varsinainen läpimurto tapahtui 2000-luvun taitteessa, jolloin valokaapelimarkkinat kaksinkertaistuivat. Ensimmäiset televerkon kuitukaapelit otettiin käyttöön 1980-luvulla ja ne olivat tyypiltään yksimuotokuituja. Nykyaikaisen optisen tiedonsiirron kaupallinen tuotteistus katsotaan alkaneen vuonna 1970, jolloin ensimmäinen optinen kuitu valmistettiin. Se oli tyypiltään monimuotokuitu. Kehitys on jatkunut kestäväenä ja vuosikymmenien saatossa optinen kuitu on syrjäyttänyt kupari- ja koaksiaalikaapelit ominaisuuksillaan. (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004.)

Optinen tiedonsiirto perustuu signaalin siirtoon valon muodossa kuitua pitkin lähetimestä vastaanottimeen. Lähetin muuntaa sähköisen signaaliin valoksi ja sovittaa sen optiseen kuituun. Vastaanottimen tehtävä on ottaa valo vastaan ja muuntaa se sopivaksi sähköiseksi muodoksi jatkokäsittelyä varten. Valosignaalin siirryessä kuidussa menettää se osan tehostaan eli tapahtuu vaimenemista. Lisäksi vaimenemista tapahtuu kuitujatkoksissa sekä yhteyden päissä olevissa päätteissä tai jakotelineissä, joissa kuidut on kytketty optisilla liittimillä valokaapelin kuituihin. Kun nämä kolme eri vaimennusta summataan, saadaan tiedonsiirtoyhteyden kokonaisvaimennus (kuva 3). (Granlund 2007, 48-50.)



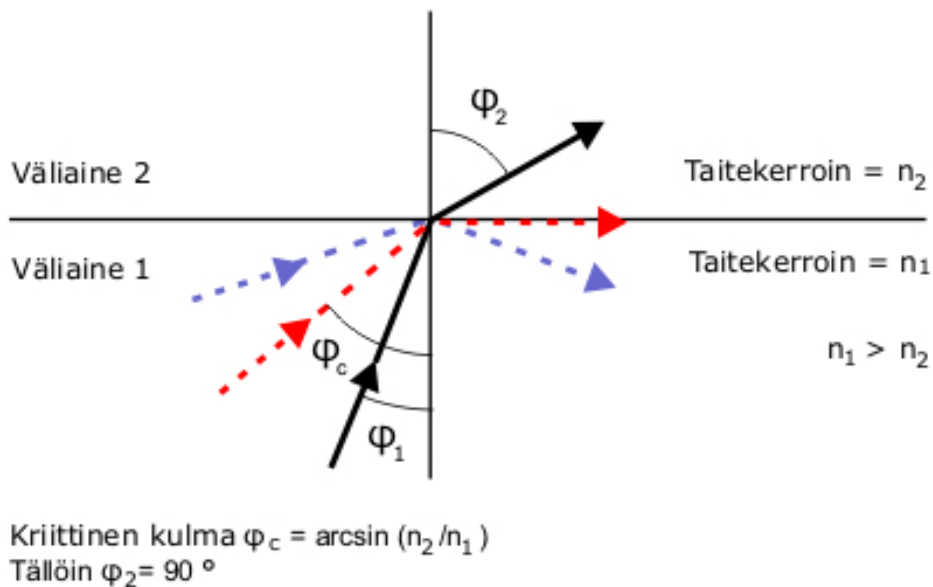
Kuva 3. Optisen valokuituyhteyden pääperiaate (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004, 16).

Vaimennuksen ohella toinen siirtoyhteyden kannalta olennainen tekijä on kaistanleveys. Se määrittää suurimman yhteydellä siirrettävän taajuuden, joka puolestaan määrittää suurimman mahdollisen siirtonopeuden digitaalisessa siirrossa. Kaistanleveys on riippuvainen kuidun ominaisuuksista, joita ovat monimuotokuidulla kaistanleveys ja yksimuotokuidulla dispersio. Kuidun ylivoimaisia siirtoteknisiä etuja ovatkin pieni vaimennus ja suuri kaistanleveys. Pieni vaimennus tuo monia etuja varsinkin runkoverkkoon ja suurta kaistanleveyttä tarvitaan siirtonopeuksien kasvaessa jatkuvasti. (Granlund 2007, 50-51.)

Kuidun yleisimpänä materiaalina on lasi, joka on sähköisesti eriste. Lasin käyttö kuidun valmistusaineena johtaa siihen, että se ei ole altis häiriöille eikä myöskään aiheuta niitä itse. Lasin ominaisuuksista johtuen optisessa siirrossa käytetään kolmea eri taajuusaluetta; 825 - 875 nm, 1270 - 1340 nm ja 1525 - 1575 nm. (Granlund 2007, 48.)

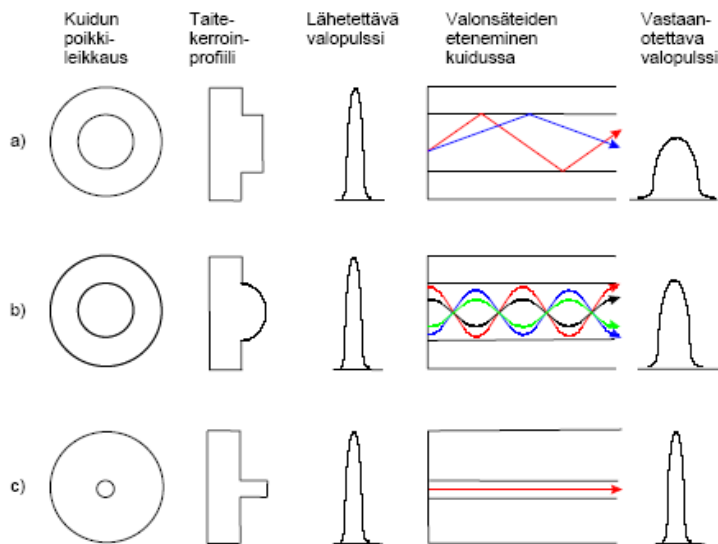
Optisen kuidun toiminta perustuu valon taittumis- ja heijastumislakeihin kahden aineen rajapinnassa. Valon osuessa kahden taitekertoimeltaan erisuuruisen aineen rajapintaan riittävän pienellä tulokulmalla, taittuu se kuvan 4 mukaisesti. Taittuminen noudattaa Snellin lakia  $n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2$ . Tulokulmaa kasvatettaessa valonsäde heijastuu kokonaan takaisin rajapinnasta väliaineeseen samansuurui-

nessa kulmassa. Tätä ilmiötä kutsutaan kokonaisheijastumiseksi. Kulmaa jolla kokonaisheijastuminen tapahtuu, kutsutaan kriittiseksi kulmaksi. Lasin ja ilman välisellä rajapinnalla kokonaisheijastuminen tapahtuu n. 41 asteen tulokulmalla. Yksimuotokuidussa vastaava kulma on 83 ja monimuotokuidussa 74. Kuidun ytimeen ja sitä ympäröivään kerrokseen valitut, optisesti tiheät aineet, saavat aikaan kokonaisheijastumisen rajapinnoillaan. Tällöin valo voidaan pakottaa kulkemaan optisessa johdossa ilman että siinä tapahtuu valon vuotamista ympäristöön. (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004.)



Kuva 4. Valokuitukaapelin toiminta perustuu valon taittumiseen ja heijastumiseen (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004, 17).

Optiset kuidut jaetaan kahteen pääryhmään. Nämä pääryhmät ovat monimuotokuitu sekä yksimuotokuitu. Lisäksi näitä kuituja on vielä useita eri tyyppiä, mutta yleisesti käytössä olevat tyypit ovat askeltaitekertoiminen monimuotokuitu, asteittaitekertoiminen monimuotokuitu sekä yksimuotokuitu. (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004.)

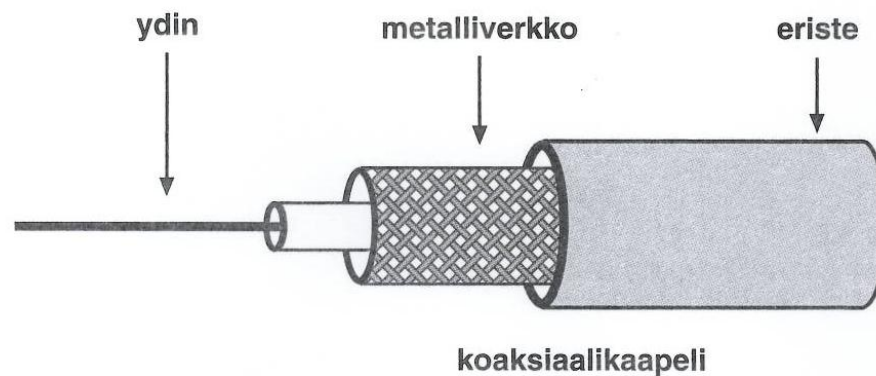


Kuva 5. Askelkuidun (a), asteittaiskuidun (b) sekä yksimuotokuidun (c) toimintojen pääperiaatteet (Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa 2004, 19).

## 2.5 Koaksiaalikaapeli

Alun perin videojärjestelmiä varten kehitettyä kaapelia sanotaan koaksiaalikaapeliksi. Tällaisen kaapelin löytää usein kytkettynä television ja antenni- tai kaapeli-verkon välille. Lisäksi sitä käytetään lähiverkoissa ja se on ollut kuparikaapelin kanssa yleisin käytetty kaapeli, joka nykyisin kuitenkin korvataan yhä useammin valokuitukaapelilla kuten vanhat kuparikaapelitkin. (Hämeen-Anttila 2003, 38.)

Koaksiaalikaapeli on johdin, jossa signaali ja sen paluujohdin toimivat sähköisesti siten, että toinen johtimista muodostaa sähkömagneettisen suojan toisen ympärille. Lisäksi näiden kahden välillä sijaitsee eristävä kerros, jolla kaapelin sisäjohtin keskitetään. Koaksiaalikaapelin voidaan sanoa koostuvan neljästä eri osasta: ytimestä, eristekerroksesta, metalliverkkopunoksesta ja uloimmaisesta eristekerroksesta. (Keogh 2001, 93.)



Kuva 6. Koaksiaalikaapelin rakenne (Keogh 2001, 93).

Koaksiaalikaapelin häiriönsietokyky on hyvä ja sillä on suuri kaistanleveys. Koaksiaalikaapelia onkin käytetty paljon kohteissa joissa sähköisten häiriöiden määrä on suuri sekä etäisyydet ovat pitkiä. Kuten kuparikaapelissa, myös koaksiaalikaapelissa tapahtuu vaimenemista, mutta sen vaimenemisarvo on pienempi kuin kuparikaapelilla. Vaimenemisarvo riippuu pitkälti käytettävästä kaapelityypistä. Nämä kaapelityypit eroavat toisistaan halkaisijaltaan, taajuuskäytöltään, materiaaliltaan sekä jonkin verran myös käyttölämpötilaltaan. Tavanomainen ominaisimpedanssi on noin 50 - 75 ohmia, kun kuparikaapelin vastaava arvo on noin 120 ohmia. (Penttinen 2006, 207.)

Koaksiaalikaapelilla tapahtuva tiedonsiirto voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: kantataajuussiirtoon ja laajakaistasiirtoon. Kantataajuussiirrossa viestintä on digitaalista ja koko kaapelin kaistanleveys käytetään yhtä siirtokanavaa varten. Laajakaistasiirrossa yksi kanava varaa oman taajuusalueen, jolloin johtimeen voidaan sekoittaa useampi kanava. Tällöin kanavat täytyy erotella toisistaan kaistapäästösuodatuksella. Samalla periaatteella käytettävissä olevat radiokanavat jaetaan eri radiolähetysten kesken. (Granlund 2007, 47.)

## 2.6 Hybridikaapeli

Hybridikaapeli on kaapeli, jossa kupari- ja kuitukaapelit ovat kiinnitetty toisiinsa, tai saman kaapelivaipan sisälle on asennettu sekä kuparipareja että valokuituja. Hybridikaapelin tyypillinen käyttökohde on alue, jossa kupariverkkoa uudistaessa halutaan asentaa valmius kuidulle myöhempiä käyttötarpeita varten (esim. siirryttäessä yhteiskäyttöpylväiden ilmakuparikaapeleista hybridimaakaapeliin). Hybridikaapelia käytetään talokaapelina viimeisen kytkentäkaapin ja tilaajan välillä. TeliaSoneralla on käytössä hybridikaapeli, jossa on 3 kupariparia ja 6 valokuitua. Suurempia yhteyksiä rakennettaessa käytetään normaaleja kuitu- ja kuparikaapeleita. (Sonera hybridikaapeli 2010.)

### 3 LAAJAKAISTAISET SIIRTOTEKNIIKAT

Laajakaista-termiä käytetään yleisesti puhuttaessa internet-yhteyksistä. Nykyisin sitä käytetään kuvaamaan varsinkin kotitalouksien tietoliikenneyhteyksiä. Laajakaistalla tarkoitetaan yleensä ruuhkatonta ja nopeaa yhteyttä, joka on mahdollista pitää kytkettynä jatkuvasti. Suomessa laajakaista nimitystä käytetään yleensä yhteyksistä, joiden tiedonsiirtonopeus on vähintään 256 kbit/s. Laajakaistayhteydet voidaan toteuttaa joko johdollisten siirtoteiden, tai langattomien yhteyksien avulla. (Laajakaistaratkaisut taloyhtiöissä 2005, 11.)

Tässä kappaleessa käsitellään perinteisen puhelinverkon, eli kuparikaapeliverkon, avulla toteutettavaa xDSL-tekniikkaa. Lisäksi lopussa on kerrottu hieman Ethernet-lähiverkkotekniikasta, sekä koaksiaalikaapelilla toteutettavasta kaapelitelevisioverkosta.

#### 3.1 xDSL

DSL (Digital Subscriber Line) -tekniikat toteutetaan kiinteillä kuparikaapeleilla rakennettuja puhelinverkkoja hyödyntäen. Puhelintilaajajohtoverkosto kattaa tällä hetkellä Suomessa n. 95 % kotitalouksista, joten valmista kattavaa johtoverkkoa voidaankin pitää DSL:n vahvuutena verrattuna esimerkiksi optisiin kuituratkaisuihin. DSL-liittymätyyppien laajenemisen vuoksi tekniikasta on alettu käyttämään lyhennettä xDSL. Vaikka DSL-tekniikassa tiedonsiirto tapahtuu samaa tilaajajohtoa pitkin kuin tavallinen puhelinliikenne, voidaan molempia käyttää samanaikaisesti johtuen DSL-tekniikan käyttämästä korkeammasta taajuusalueesta. DSL:n siirtokapasiteetti on aina sama ja yhteysnopeus riippuu tilaajajohdon pituudesta, eli operaattorin lähimmän keskittimen ja loppukäyttäjän verkkopäätteen välisestä etäisyydestä. (Laajakaistaratkaisut taloyhtiöissä 2005, 23.)

Broadband Forum on suuri kansainvälinen yhteenliittymä, jolla on satoja jäseniä eri tietoliikennealoilta ympäri maailman. Se jakaa tietoa ja kehittää niin vanhoja DSL-tekniikoita kuin myös uusia optisia ratkaisuja. ITU (International Telecommunications Union), ANSI (American National Standards Institute) ja ETSI (European Telecommunications Standards Institute) kuuluvat Broadband Forumiin ja vastaa-

vat pääosin DSL-tekniikoiden standardoinneista. Suomessa toimivista suurista teleoperaattoreista joukkoon kuuluu mm. TeliaSonera. (Broadband Forum Visio 2011).

### 3.1.1 ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) tarkoittaa sanatarkasti asymmetristä digitaalista tilaajajohtoa (Granlund 2007, 390). Sen siirtonopeus on suurempi verkosta käyttäjälle (myötäsuunta) kuin käyttäjältä verkkoon päin (paluusuunta). Toisin sanoen, ADSL varaa myötäsuunnalle suuremman taajuusalueen kuin paluusuunnalle. Tämän vuoksi ADSL:n asymmetrisyys soveltuu hyvin kotikäyttöön. ADSL-tekniikalla on myös omia rajoitteitaan, jotka liittyvät pääsääntöisesti käytössä olevaan tilaajakaapeliin. Näitä rajoitteita ovat mm. tilaajakaapelin pituus (maksimissaan n. kuusi kilometriä), tyyppi, paksuus sekä laatu. (Hämeen-Anttila 2003, 71.)

Suurin mahdollinen siirtonopeus ADSL:llä myötäsuuntaan on 8 Mbit/s ja paluusuuntaan 1,5 Mbit/s siirtoetäisyyden ollessa tällöin maksimissaan 5 km (Laajakaistaratkaisut taloyhtiöissä 2005, 25).

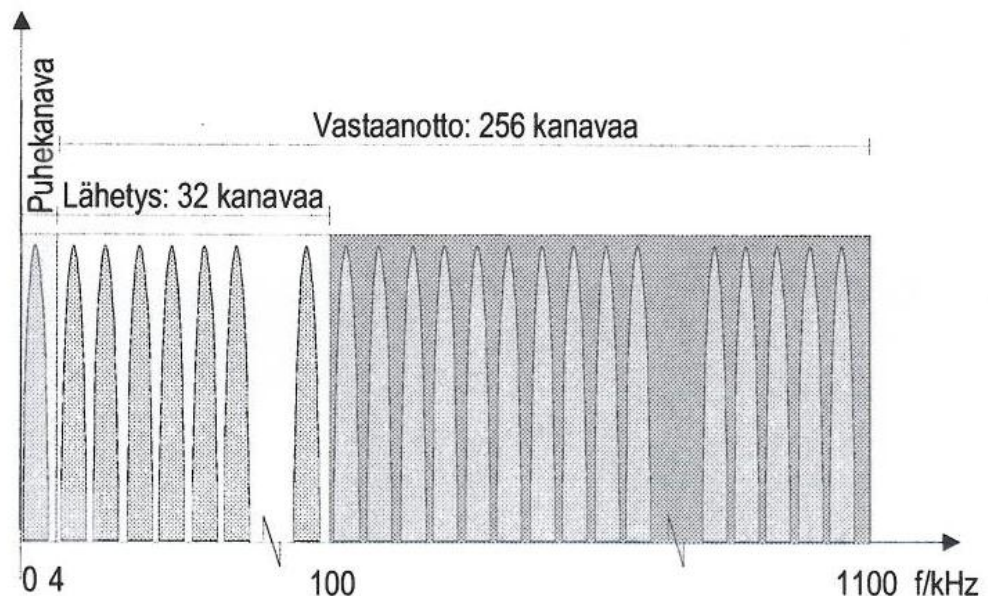
ADSL-yhteyttä rakennettaessa tulee yhteyden molempiin päihin asentaa ADSL-modeemi. Verkko-operaattorin päässä käytettävä laite on ATU-C tai DSLAM. Näiden laitteiden avulla ADSL-yhteys liitetään palveluntarjoajan runkoverkkoon. DSLAM-laitteella pystytään keräämään ja yhdistämään useita yhteyksiä kerrallaan. Käyttäjän päässä oleva ADSL-modeemi koostuu ATU-R:stä sekä SM:stä (Service Module). ATU-R liittyy käyttäjän päätelaitteen yhteydelle ja SM sovittaa päätelaitteen järjestelmään. Päätelaitteilla tarkoitetaan mm. tietokoneita. Lisäksi käyttäjän päässä tarvitaan jakosuodin, joka erottaa ADSL-signaalin puhelinyyhteyden signaalista. ADSL-modeemin kytkennällä saadaan käyttöön kolme eri datakanavaa:

- Puhekanava puhelinliikenteelle, taajuusalue 0-4 kHz.
- Dublex-kanava kaksisuuntaiselle liikenteelle, taajuusalue 4-100 kHz.



- Nopea kanava suurinopeuksisen bittivirran vastaanottoon, taajuusalue 100 kHz-1,1 MHz. (Penttinen 2006a, 40-41.)

ADSL-tekniikan alkuvaiheessa siirrettävän tiedon koodauksessa, eli moduloinnissa, käytettiin kahta eri menetelmää: DMT (Discrete Multi Tone Line Coding) ja CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation). Näistä yleisessä käytössä on tänä päivänä DMT, joka on hyväksytty standardeihin ANSI:n ja ITU:n toimesta. Se on tehokkaampi, mutta samalla hieman monimutkaisempi tapa kuin CAP. DMT:ssä ADSL käyttää 256 alikanavaa myötäsuntaan ja 32 alikanavaa palaussuntaan. Jokaisen alikanavan taajuus on 4 kHz. (Penttinen 2006a, 41.)



Kuva 7. ADSL-kanavajako DMT-menetelmällä (Penttinen 2006a, 41).

## ADSL2.

Tavallinen ADSL standardisoitiin vuonna 1999 ITU:n toimesta (ADSL ITU-T G.992.1). Vuonna 2002 ITU hyväksyi tavallisesta ADSL:stä kehitetyn ADSL2-standardin, ITU-T G.992.3. Uuden standardin myötä saavutettiin muutamia hyödyllisiä parannuksia mm. siirtonopeuden ja yhteysetäisyyden kasvu, sekä mahdollisuus virransäästötilaan. (Granlund 2007, 392.)

Taajuusaluekäyttö ADSL2:ssa on sama kuin tavallisessa ADSL:ssä, mutta se mahdollistaa suuremman nopeuden myötäsuuntaan, 12 Mbit/s. Myötäsuunnan nopeuden kasvu selittyy tehostetulla modulaatiolla ja kanavakoodauksella. Paluusuuntaan nopeus pysyy 1 Mbit/s:ssa, mutta erillisellä standardilla, joka julkaistiin vuonna 2003 (ITU-T G.992.3 Annex J), paluusuunnan nopeus voidaan kasvattaa 3 Mbit/s:ssa. Tällöin paluusuunnan taajuusalue nousee 135 kHz:stä 276 MHz:iin jolloin kaistan leveys kasvaa n. 3-kertaiseksi. ADSL2-laite pystyy myös mukautumaan siirtolinjan muutoksiin kesken käynnissä olevan istunnon ilman yhteyden katkeamista. (Granlund 2007, 394.)

ADSL2-standardi määrittelee laitteille kaksi virransäästötilaa, L2 ja L3. Lisäksi käytössä on ns. normaalitila L0, jolloin laitteet toimivat täydellä teholla siirtonopeuden ollessa maksimissaan. Uuden standardin mukaan laitteet siirtyvät tilaan L2, mikäli siirtoliikenne lakkaa hetkellisesti. L2-tilassa laitteet toimivat hidastetulla nopeudella. Mikäli laite ei tunnista käyttäjää tai päätelaitetta online-tilassa, siirtyy se L3-virransäästötilaan, jolloin kaikki liikennöinti katkeaa. Paluu täydellisestä virransäästötilasta normaaliin käyttöön kestää muutamia sekunteja. (Granlund 2007, 394.)

### **ADSL2+.**

ADSL2+ standardi julkaistiin vuonna 2005. Standardi ITU-T G.992.5:ssä myötäsuunnan taajuusalueen ylärajataajuus nostettiin 1,1 MHz:stä 2,2 MHz:iin. Taajuusalueen kaksinkertaistuminen nostaa myötäsuunnan siirtonopeuden myös kaksinkertaisesti, 24 Mbit/s. Vuoden 2005 jälkeen 992.5-standardiin on tullut muutamia Annex-päivityksiä, jotka mahdollistavat nopeammat yhteydet pidemmille matkoille maksiminopeuden pysyessä kuitenkin 24 Mbit/s:ssa. ADSL2+:n suurimmaksi vahvuudeksi voidaan sanoa sen nopeus varsinkin pienillä etäisyyksillä, jolloin se on huomattavasti nopeampi kuin tavallinen ADSL tai ADSL2. Etäisyyksien kasvaessa ADSL2+:n suorituskyky pysyy samana kuin ADSL2:lla. (Granlund 2007, 395.)

Vuonna 2005 ITU julkaisi uuden standardin, josta käytetään myös lyhennystä ADSL2+ G.Bond.(ITU-T G.998.1 2005). Tämän tekniikan avulla voidaan yhdistää kaksi ADSL2+ Annex M-linjaa yhdeksi ja samaksi linjaksi, jolloin nopeudeksi saadaan myötäsuuntaan 48 Mbit/s ja paluusuuntaan 6 Mbit/s. (Granlund 2007, 396.)

### 3.1.2 SHDSL

SHDSL-tekniikka (Symmetrical single-pair high bit rate Digital Subscriber Line) kehitettiin tukemaan lähinnä yritysten välistä tiedonsiirtoa. SHDSL tukee nimensä mukaisesti samoja nopeuksia sekä lähetys- että vastaanottosuunnassa. Nämä nopeudet ovat yhdellä johdinparilla n. 2 Mbit/s ja kahdella johdinparilla n. 4 Mbit/s. Maksimietäisyys keskimitteltä on kolme kilometriä. SHDSL on standardisoitu ITU:n toimesta vuonna 2001 (ITU G.991.2). (Granlund 2007, 401.)

SHDSL:n symmetrisyyden vuoksi se soveltuu hyvin tarpeisiin, joissa vaaditaan yhtä nopeaa liikennettä molempiin suuntiin. Tällaisia kohteita ovat mm. yritysten sisäiset yhteydenpidot kuten video- ja puheneuvottelut sekä erilaiset etänä suoritettavat virtuaalikoulutukset. (Symmetric DSL 2002.)

### 3.1.3 VDSL

Nopein xDSL-tekniikka on VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line), joka on kehitetty optisen siirtotien jatkeeksi tapauksiin, joissa tilaajaverkon uusiminen ei ole kannattavaa tai järkevää. VDSL on standardisoitu ITU:n toimesta, ensimmäisen kerran vuonna 2004 (ITU-T G.993.1) ja paranneltu versio vuonna 2006, joka kantaa nimeä VDSL2 (ITU-T G.993.2). Myös ETSI on standardisoinut VDSL:n. VDSL tarjoaa nopeita epäsymmetrisiä ja symmetrisiä yhteyksiä lyhyillä yhteyspituuksilla. Lyhyellä matkalla nopeudet voivat olla maksimissaan epäsymmetrisessä tapauksessa 52 / 12 Mbit/s ja symmetrisessä n. 26 Mbit/s. VDSL2-tekniikka mahdollistaa jo yli 100 Mbit/s nopeudet sekä epäsymmetrisissä että symmetrisissä yhteyksissä. (Granlund 2007, 386.)

VDSL-tekniikan nopeus perustuu lyhyisiin yhteyspituuksiin sekä laajaan taajuusalueeseen. Yleisesti ottaen VDSL käyttää taajuusaluetta 25 kHz – 30 MHz. Taajuusalueiden lähempi tarkastelu ei tässä kohtaa kannata johtuen standardien ja alueiden eroista, mutta esimerkiksi ETSI:n standardi ETSI TS 101 270-1 antaa kaksi erilaista taajuusjakoa, joista toinen käyttää kahta eri aluetta molempiin yhteyssuuntiin. VDSL-tekniikka käyttää samaa DMT-modulointia kuin ADSL, mutta se sisältää paljon enemmän kanavia. Lisäksi modulointiin ja kanavapilkontaan vai-

kuttaa VDSL-modeemi, joka jokaisen yhteyskäynnistyksen alussa tutkii taajuusalueominaisuudet. (Granlund 2007, 387.)

DSL	Nopeus myötäsuunta	Nopeus paluusuunta	Max. Etäisyys / km	Symmetria
ADSL	8	1	5	asymmetrinen
ADSL2	12	1	5	asymmetrinen
ADSL2+	24	1	5	asymmetrinen
SDSL, yksi johdinpari	2,3	2,3	3	symmetrinen
SDSL, kaksi johdinparia	4,6	4,6	3	symmetrinen
VDSL	52	12	0,3	asymmetrinen
	26	26	0,3	symmetrinen
VDSL2	100	100	0,5	asymmetrinen
	100	100	0,5	symmetrinen

Kuva 8. xDSL-liityntäteknikoiden ominaisuuksia

### 3.2 Ethernet

Ethernet-verkko on yleisin markkinoilla oleva fyysisten dataverkkojen toteutustapa. Se on ensimmäinen pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu, jonka voidaan sanoa saaneen alkunsa 1980-luvulla. Vuonna 1980 Xeroxin, DEC:n ja Intelin muodostama ryhmä (DIX), julkaisi kehittämänsä verkkoperiaatteen. Ethernetin ensimmäinen standardi julkaistiin IEEE:n toimesta vuonna 1983. Sen perusnopeudeksi määriteltiin 10 Mbit/s ja toteutustavaksi koaksiaalikaapeli. Uusia standardeja on julkaistu tämän jälkeen tasaisesti ja varsinkin optisten ratkaisujen kehittyminen on vauhdittanut Ethernetin käyttöönottoa 1990-luvulla. Vuonna 1995 Ethernet-verkon nimellinopeus nostettiin kymmenkertaiseksi, eli 100 Mbit/s:ssa, ja vuonna 1998 julkaistiin ns. Gigabit Ethernet, jonka nimellinopeus oli 1000 Mbit/s:ssa, eli 1 Gbit/s. (Granlund 2007, 262.) Viimeisin merkittävä muutos Ethernet-verkkoihin tuli vuonna 2010, kun IEEE julkaisi uuden standardin, jolla nimellinopeus nostettiin sataan gigabittiin sekunnissa (100 Gbit/s). (IEEE 802.3ba 2010.)

Ethernetin siirtonopeuden ja yhteysvälien kasvu perustuu verkkolaitteiden ja käytettävien kaapeleiden kehitykseen sekä verkon rakenteen muuttumiseen väylämaisestä tähtimäiseksi (Jaakohuhta 2005, 30).

Ethernetin erona muihin aikaisempiin siirtotekniikoihin oli aikanaan sen pakettikytkentäisyys. Lisäksi kanavanvarausmenetelmänä käytettiin aluksi ns. kilpavarausta törmäyksentunnistuksella, jossa lähettävä osapuoli varaa verkon itselleen ja muut odottavat verkon vapautumista omalle läheteelleen. Tästä kilpavarausmenetelmästä käytetään nimitystä CSMA/CD-periaate. Sen avulla Ethernet-verkko saadaan jaettua turvallisesti useiden käyttäjien kesken. Kun paketti lähetetään, ohjelmisto jää kuuntelemaan tapahtuuko verkossa törmäys toiseen pakettiin. Jos kuuntelu ei havaitse törmäystä ja verkko on vapaa, voidaan suorittaa kanavavaraus. (Keogh 2001, 128.) Vuonna 1997 IEEE määritteli uuden kaksisuuntaisen toimintamuodon, joka mahdollisti sekä parikaapelin käyttöönoton Ethernet-ratkaisuissa että siirtymisen väylämäisestä topologiasta tähtimäiseen. Kaksisuuntaisessa toimintamuodossa CSMA/CD-pohjainen kanavavaraus voidaan sivuuttaa silloin, kun kaksi verkon laitetta liittyvät toisiinsa kaksipisteyhteydellä. (Granlund 2007, 263.)

Perinteinen Ethernet-verkko toimii väylätyyppisessä verkossa, jossa päätelaitteet ovat kytkettyinä fyysisesti väylään toistimen kautta. Tässä mallissa päätelaitteet ovat ikään kuin sarjaan kytkettyinä toistensa kanssa. Parikaapeliin perustuva tähtimäinen topologia kerää jokaisen laitteen omat kaapelit keskittimeen. (Jaakohuhta 2005, 95-98.) Koneiden ja kehityksen myötä tiedonsiirtotarpeet ovat kasvaneet. Nykyään käytössä olevaan tähtimäiseen rakenteeseen on kehitetty keskittimen tilalle kytkin, joka yhdistää verkon osat toisiinsa. Yhdistämällä kytkimiä toisiinsa, saadaan verkkoa myös suuremmaksi. (Jaakohuhta 2005, 135.)

Ethernet-verkossa kulkevia sanomia sanotaan kehyksiksi, joihin siirrettävä data pakataan. Kehysten minimipituus on aina 64 tavua. Dataliikenteen nopeaan siirtoon, reititykseen ja kytkentään verkon läpi, on kehitetty MPLS-tekniikka (MultiProtocol Label Switching), joka pystyy siirtämään montaa erilaista dataliikennetekniikkaa, kuten Ethernet- ja IP-paketteja. MPLS-verkossa pakettiin liitetään erillinen lippu, jonka avulla verkkolaitteet reitittävät paketin. Näitä verkkolaitteita ovat LSR (Label Switching Router) ja LER (Label Edge Router). Lippu sisältää mm. palvelulaatuprioriteetin eli QoS:n, joka luokittelee ja priorisoi liikennöitävän datan. Tällöin mm. tärkeät ja reaaliaikaiset viestit välitetään muita viestejä ennemmin. (Multiprotocol Label Switching 2011.)

MetroEthernet on Ethernetiin pohjautuva verkkotopologia, josta käytetään lyhennettä ME-verkko. Isommat operaattorit rakentavat ja käyttävät nykyään ME-verkkoja kaupungeissa ja taajamissa. Yleisesti Ethernet-kytkimet liittyvät ME-laitteisiin, jotka ovat kiinni ylätasoon kytkimissä ja palvelua tuottavissa laitteissa. (Jaakohuhta 2005, 180.)

### 3.3 KTV ja kaapelimodeemi

KTV eli kaapelitelevisioverkko on luotu alun perin yksisuuntaisia televisiolähetyksiä varten. Kaapelimodeemi taas on laite jonka avulla verkon datapalvelut saadaan loppukäyttäjälle. KTV-verkkoon liitetyllä kaapelimodeemilla saadaan aikaan datan kaksisuuntainen siirto samassa verkossa. Lisäksi tämä mahdollistaa TV:n katselun ja datasiirtopalveluiden käytön samanaikaisesti. (Granlund 2007, 364.)

Kaapelitelevisioverkko muodostaa puumaisen rakenteen. Sen juuresta, eli päävahvistimesta, lomitetaan TV-kanavat laajakaistasiirtona kaapeliverkkoon, siten että kukin TV-kanava varaa yhden 8 MHz:n taajuusalueen. Kun verkkoon lisätään datansiirto, varataan sille yksi tai useampi 8 MHz:n kanava myötäsuuntaan taajuusalueelta 87,5-862 MHz, sekä paluusuuntaan taajuusalueelta 5-65 MHz. KTV:n päävahvistimessa on laitteisto, joka vastaanottaa ja prosessoi tilaajien lähettämää dataa. Tästä keskitinlaitteistosta käytetään nimeä CMTS (Cable Modem Termination System). Se reitittää myös internetistä tulevan datan ja lähettää sen edelleen KTV:n kautta tilaajien modeemille. (Laajakaistaratkaisut taloyhtiöissä 2005, 26-27.)

Datan siirtonopeudet kaapelimodeemilla ovat pääsääntöisesti suurempia myötäsuuntaan kuin esimerkiksi xDSL-tekniikalla. Nopeimmat kaapelimodeemiyhteydet, joita kuluttajille on tarjottu, ovat olleet 100 Mbit/s myötäsuuntaan ja 5 Mbit/s paluusuuntaan. (Sonera Kaapeli-TV 2012.)

Datan kaksisuuntaisesta siirrosta kaapeliverkossa on kuvattu DOCSIS-suosituksissa (Data Over Cable Services Interface Specification). Sen ovat kehittäneet lähinnä yhdysvaltalaiset teleoperaattorit. Euroopassa standardien kehittämisestä ja laitteiden sertifiointista vastaa ECB (EuroDOCSIS Certification Board).

Käytännössä EuroDOCSIS-suositukset ovat identtiset DOCSIS-suositusten kanssa ja oikeastaan ainoana isompana erona voidaan pitää kaistanleveyttä, joka Euroopassa on määritelty 8 MHz:iin ja yhdysvalloissa 6 MHz:iin. (Granlund 2007, 364.)

### 3.4 Satelliitti

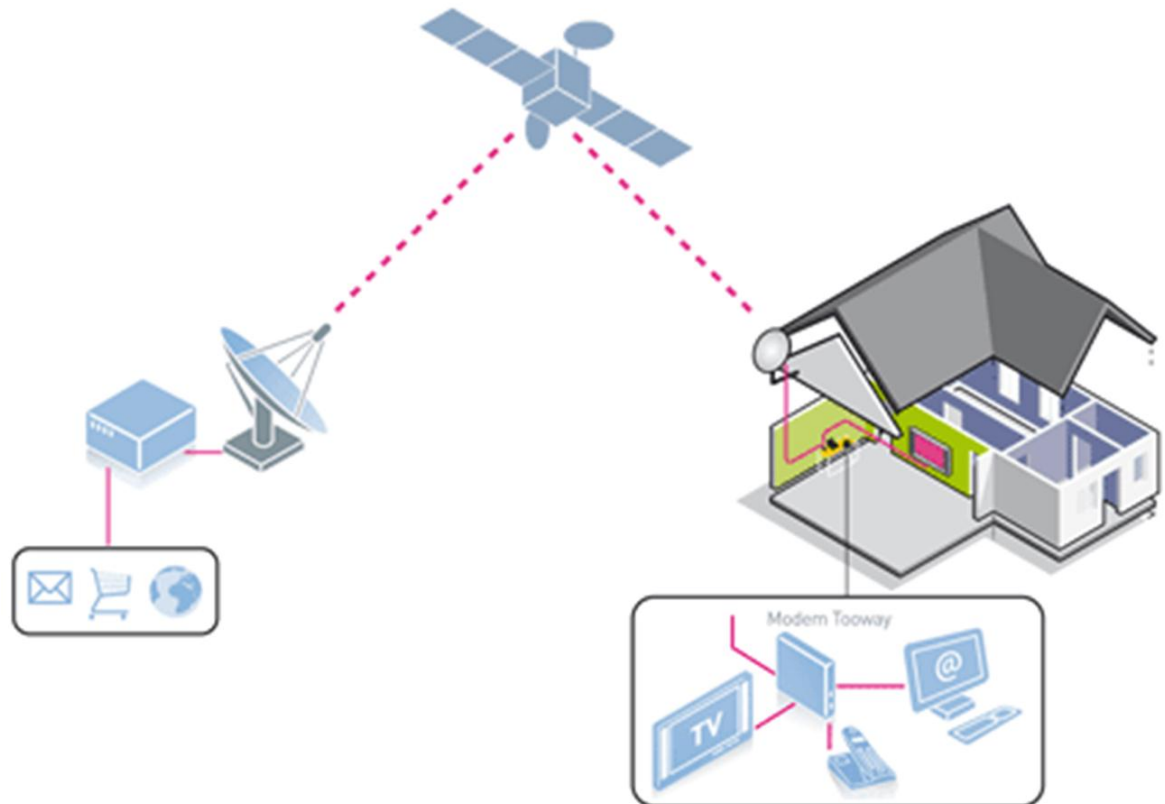
Satelliittijärjestelmien kehitys alkoi 1960-luvulla, kun Sputnik1-satelliitti laukaistiin onnistuneesti. Aluksi kehitystä ohjasivat kylmän sodan tavoitteet, mutta pian huomattiin, että satelliiteilla on muutakin hyödyllistä käyttöä. Kiinnostus satelliittipohjaisten viestintäyhteyksien kehittämiseen kasvoi, kun huomattiin satelliittien mahdollistama lähettimien ja vastaanottimien välinen näköyhteys, joka antoi käyttöön suuremmat taajuudet ja näiden avulla radiokanavien lukumäärän kasvattamisen. Satelliitteja voidaan ryhmitellä niiden käyttötarkoitusten mukaan eri ryhmiin, joita ovat mm. tieteellisissä ja kokeellisissa käytöissä olevat satelliitit, televisiosatelliitit, sääsatelliitit, navigointisatelliitit, sotilaskäyttösatelliitit ja tietoliikennesatelliitit. (Granlund 2001, 34.)

Yleisesti satelliitit laukaistaan kolmelle eri kiertoradalle, joita ovat GEO, LEO ja MEO. Tietoliikennesatelliittien kannalta tärkein on GEO-rata, jolla satelliitin kiertoaika on 24 tuntia ja se kiertää maata 36 000 kilometrin korkeudessa pysyen kiinteässä asemassa suhteessa päiväntasaajaan. (Geier 2004, 162.)

Tietoliikennesatelliittien tehtävänä on ottaa vastaan lähettäjältä tuleva sanoma tai signaali ja siirtää se edelleen vahvistettuna vastaanottajalle. Tietoliikennesatelliitit sisältävät useita lähetin-vastaanotin-pareja, joiden tehtävänä on vastaanottaa signaali yhdellä taajuudella ja palauttaa se takaisin toisella taajuudella. Yhden lähetimen käyttämä taajuuskaista on 30-50 MHz, ja sillä voidaan siirtää tuhansia puhe-luita tai yksi laajakaistayhteys. (Geier 2004, 163.)

Nykyaikaiset satelliitit käyttävät neljää eri taajuusaluetta, joita ovat L-, C-, Ku- ja Ka-kaista. Nopeimmin kehittyvä satelliittitekniikan alue on VSAT, jonka C-, Ku- ja Ka-kaistalla toimivat ratkaisut on kehitetty kiinteiden johdollisten yhteyksien korvaamiseen satelliittiyhteydellä. (Granlund 2001, 40.)

Eutelsat-in avaruuteen joulukuussa 2010 ampuna KA-SAT-satelliitti toimii Ka-kaistalla tarjoten n. 10 Mbit/s nopeuden myötäsuntaan ja n. 4 Mbit/s paluusuuntaan. Se perustuu maailman tehokkaimpaan tietoliikennesatelliittiin ja sen kautta toteutettavat laajakaistapalvelut ovat saatavilla lähes koko Euroopassa, Suomi mukaan luettuna. (Sonera Laajakaista Satelliitti 2012.)



Kuva 9. KA-SAT-satelliitin toimintaperiaate (Sonera Laajakaista Satelliitti 2012).



## 4 MOBIILILAAJAKAISTA JA POG

GSM syntyi vuonna 1982. Se oli ryhmä, jonka tarkoituksena oli laatia yhteinen eurooppalainen suositus puhelinjärjestelmästä, joka toimi 900 MHz:n taajuusalueella. GSM ryhmä toimi aluksi CEPT:n alaisuudessa, mutta siirtyi lopulta ETSI:lle. Ensimmäiset suositukset syntyivät vuonna 1990 ja ne synnyttivät täysin digitalisoidun järjestelmän. Järjestelmä takasi, että siinä mukana olevat laitteet toimivat kaikissa jäsenmaissa ja palvelut olivat samalla viivalla kiinteiden verkkojen palveluiden kanssa. GSM-verkko on mahdollistanut dataliikenteen käytön sen käyttöönotosta alkaen, mutta vasta 2000-luvulla kun tiedonsiirtonopeudet ovat nousseet merkittävästi, on alettu puhua mobiililaajakaistasta. (Granlund 2007, 396.)

Mobiililaajakaista on tavoittanut nopeasti kuluttajat, sillä Viestintäministeriön vuonna 2011 tekemän tutkimuksen mukaan lähes puolella niistä joilla on internet, on käytössään myös mobiililaajakaista. Mikäli verrataan vuosien 2010 ja 2011 tutkimuksia, voidaan nähdä että kiinteiden laajakaistojen liki 40 %-yksikön ero mobiililaajakaistoihin on puolittunut vuodessa 20 %-yksikköön. (Viestintäpalvelujen kuluttajatutkimus 2011.)

### 4.1 Ensimmäinen sukupolvi, 1G

Ensimmäisten matkapuhelimien tultua markkinoille langattomat yhteydet toimivat vain analogisilla signaaleilla. Ensimmäisestä ja alkuperäisestä matkapuhelinverkosta käytetään yleensä nimitystä 1G-verkko. Suomessa 1G-järjestelmiä olivat mm. ARP, NMT 450 sekä NMT 900. 1G:n kapasiteetti oli sen verran pieni, että sen käytön voidaan sanoa rajoittuneen ainoastaan puheen siirtoon. (Penttinen 2006b, 102.)

ARP-verkko kehitettiin maantiekuljetusten lisääntyessä autoradiopuhelinverkoksi. Posti- ja lennätinlaitos avasi ARP-verkkonsa vuonna 1971 ja se toimi 150 MHz:n alueella. Verkko pysyi voimissaan vuoden 2001 alkuun asti, jolloin se suljettiin. (Granlund 2001, 66.)

Vuonna 1981 pohjoismaat ottivat käyttöön ns. NMT-verkon (Nordic Mobile Telephone). Verkon ensimmäinen versio toimi 450 MHz:n alueella. Vuonna 1987 otettiin käyttöön toinen versio, joka toimi 900 MHz:n alueella. Johtuen analogisen siirron heikkouksista, sai NMT-verkko väistyä digitaalisen GSM-verkon tieltä. (Granlund 2001, 68.) Suomessa NMT-verkko suljettiin vuoden 2002 viimeisenä päivänä (NMT-450 2004).

## 4.2 Toinen sukupolvi, 2G

Toisen sukupolven matkapuhelinverkot perustuvat GSM-tekniikkaan ja 2G:tä voidaan sanoa täysin digitaaliseksi järjestelmäksi. Datan siirtotarpeen kasvua ennakointiin, kun GSM-verkkoa kehiteltiin ja vuonna 1998 esiteltiin HSCSD-verkko (High Speed Circuit Switched Data), joka kasvatti tiedonsiirtonopeutta GSM:n 9,6 kilobittistä sekunnissa 14,4 kilobittiin sekunnissa. Vain reilut pari vuotta eteenpäin esiteltiin kuitenkin pakettikytkentäinen datayhteys nimeltään GPRS (General Packet Radio Service). Ennen siirtymistä kolmannen sukupolven verkkoihin, julkistettiin vuonna 2003 EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) -tekniikka. (Hämeen-Anttila 2003, 101-102.)

GPRS on GSM-verkon laajennusosa, joka siirtyi piirikytkentäisestä yhteydestä pakettipohjaiseen yhteyteen. Tässä tapauksessa lähetettävä tieto pilkotaan paketeiksi, joihin lisätään myös lähettäjän ja vastaanottajan tiedot. Yhteys pysyy päällä koko ajan kuitenkin kuormittamatta ja varaamatta verkkoa muulloin kuin dataa siirrettäessä. GPRS-tekniikka käyttää olemassa olevaa GSM-verkkoa, johon on lisätty tarvittava laitteisto ja GPRS-tukipisteet. Lisäksi käyttäjän päätelaitteen täytyy tukea GPRS-järjestelmää. Tämä tuki löytyy nykypäivänä lähes jokaisesta matkapuhelimesta. (Granlund 2007, 410.)

EDGE-tekniikka perustuu GPRS-yhteyteen, ollen sitä kuitenkin noin kolme kertaa nopeampi. EDGE:n käyttöönotto Suomessa alkoi vuonna 2003. Sen teoreettinen maksiminopeus on jopa 400 kbit/s:ssa, mutta käytännössä saavutetaan nopeus väliltä 150-240 kbit/s:ssa. Kuten GPRS, myös EDGE on rakennettu olemassa olevan GSM-verkon päälle. Sen nopeus perustuu modulointiin, jota EDGE:n tapauksessa kutsutaan 8PSK-moduloinniksi. Normaalisti EDGE toimii niin uudempien

sukupolvien (3G ja 4G), kuin myös vanhemman GPRS-yhteyden kanssa yhdessä. (Granlund 2007, 415.)

### 4.3 Kolmas sukupolvi, 3G

Ensimmäisen ja toisen sukupolven verkkojen tunnetuimmat standardit olivat NMT ja GSM. Kun puhutaan kolmannesta sukupolvesta matkapuhelinverkoissa, voidaan sen sanoa olevan yhtä kuin UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Vuonna 1990 käynnisti ITU hankkeen, jonka tarkoituksena oli laatia suositukset maailmanlaajuisista, kolmannen sukupolven puhelinjärjestelmää varten. Tästä hankkeesta käytettiin aluksi nimeä FBLMTS (Future Public Land Mobile Telephony System), mutta sen nimi muutettiin myöhemmin hanketta paremmin kuvaavaksi, jolloin siitä tuli IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000). UMTS on yksi tämän IMT-2000 hankkeen mukaisista järjestelmistä ja se tarjoaa kehittyneempien päätelaitteiden ja mobiilipalvelujen ansiosta entistä nopeampia tiedonsiirtonopeuksia. Voidaankin sanoa, että UMTS on suunniteltu siirtämään mm. videoita, kuvia ja audiota, ja lisäksi se soveltuu luonnollisesti myös puheen ja pienemmän datan siirtoon. (Granlund 2001, 201-203.)

IMT-2000 hankkeen jälkeen UMTS:a lähdettiin kehittämään monen eri ryhmän toimesta. Vuonna 1999 perustettiin erillinen 3GPP (3rd Generation Partnership Project) -ryhmä, joka on määritellyt UMTS:lle eri kehitysverkkoja, mm. Release 99, Release 4 ja Release 5. (Penttinen 2006, 65.) Viimeisen kehitysverkko on Release 11, joka on julkistetty vuonna 2011 (3GPP Releases 2012).

Ensimmäisen vaiheen UMTS-järjestelmät on toteutettu WCDMA-tekniikalla (Wideband Code Division Multiple Acces), eli laajakaistaisella koodijakotekniikalla. Tässä tekniikassa käyttäjät jakavat saman taajuuden ja käyttäjien tunnistukset tapahtuvat hajotuskoodien avulla. Ensimmäinen WCDMA-järjestelmä otettiin kaupalliseen käyttöön 2000-luvun alkupuolella. Se kuului kehitysverkko Release 99:iin ja mahdollisti teoriassa yhteysnopeuden 2 Mbit/s:ssa myötäsuuntaan. Vuonna 2003 esiteltiin Release 5 -kehitysverkko, jossa on mukana HSDPA-toiminto (Ultra High Speed Downlink Packet Acces) pakettidatan siirtämiseen. Tämä toiminto mahdollisti alussa noin 10 megabitin siirron sekunnissa myötäsuuntaan. Uusimmassa Re-

lease 11 -kehitysverkossa tämä yhteysnopeus on saatu nostettua jo lukuun 16 Mbit/s. (3GPP Releases 2012.)

Suomessa UMTS-toimiluvat ovat myönnetty TeliaSoneralle, Elisalle sekä Finnetille (DNA). Näiden kolmen operaattorin 3G-alueita ja kuuluvuuksia vertaillaan usein. ECE Oy:n (European Communications Engineering) vuonna 2011 tuottaman puolueettoman tutkimuksen mukaan paras 3G-kuuluvuus on Elisalla ja paras datanopeus DNA:lla. (Operaattorivertailu 2011.)

#### **4.4 Neljäs sukupolvi, 4G**

Neljäs matkaviestinnän sukupolvi otettiin käyttöön joulukuussa 2009, kun TeliaSonera avasi 4G-verkkonsa Tukholmassa ja Oslossa. Tämän jälkeen omat 4G-verkkonsa ovat saaneet käyttöön Suomi, Tanska, Viro, Latvia ja Liettua. Se on noin kymmenen kertaa nopeampi kuin viimeisimmät 3G-kehitysversiot ja se pystyy toimimaan samanaikaisesti yhdessä aiempien sukupolvien tekniikoiden kanssa. (TeliaSonera 4G, 2012.)

4G perustuu LTE (Long Term Evolution) -tekniikkaan ja se on standardisoitu 3GPP:n toimesta. 3GPP:n ensimmäinen suositus, jossa 4G on mukana, on Release 8 ja siinä datasiirron tavoitteeksi on asetettu myötäsuntaan 100 Mbit/s ja paluusuuntaan 50 Mbit/s. Viimeisin julkaistu suositus, Release 12, antaa myötäsunnan nopeudeksi jopa 1 Gbit/s. (3GPP Releases 2012.)

ITU:n standardisoima 4G-verkko vaatii enemmän kuin 3GPP:n ensimmäiset suositukset. ITU käyttääkin LTE-tekniikasta käsitettä 3,9G ja vasta LTE:n kehittyneempi versio LTE-Advanced täyttää ITU:n 4G vaatimukset. (ITU-R 4G 2010.)

LTE-tekniikassa radioliikenne tukiasemasta päätelaitteeseen tapahtuu OFDM-tekniikalla ja päätelaitteesta tukiasemaan SC-FDMA-tekniikalla. Datan kulku tukiasemasta päätelaitteeseen on toteutettu MIMO-tekniikalla, joka käyttää useita radioteitä. Tekniikka mahdollistaa radiokanavan olosuhteista riippuen joko paremman luotettavuuden tai suuremman tiedonsiirtonopeuden. (Holma & Toskala 2009, 5.)

#### 4.5 POG, POTS over GSM

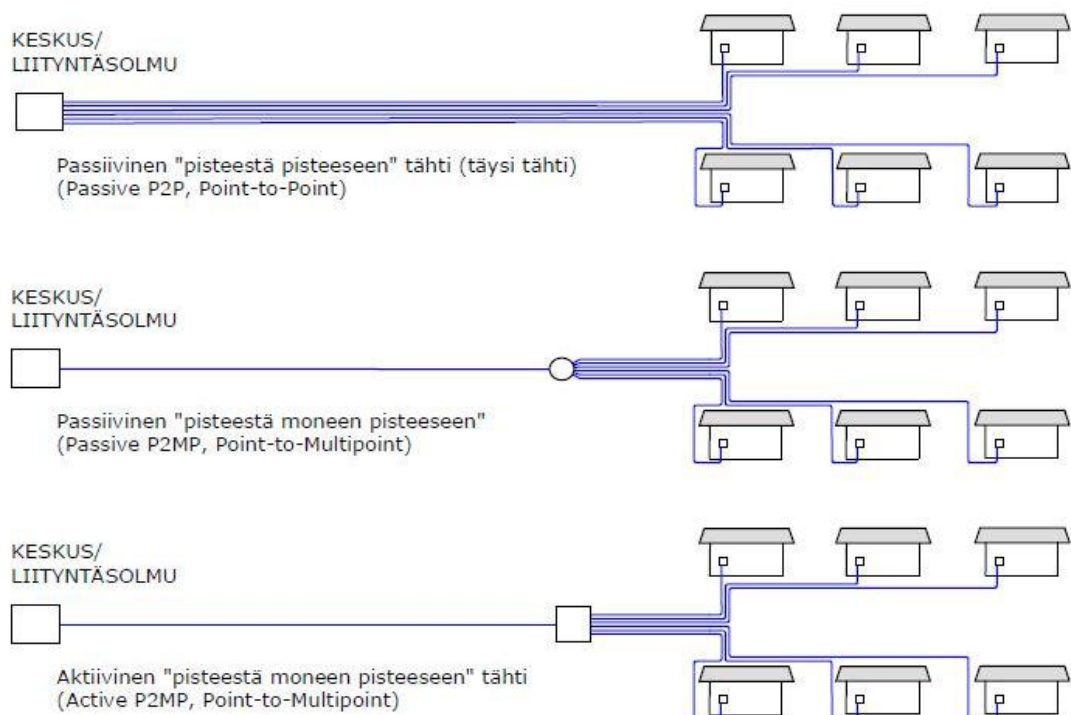
POG on lyhenne sanoista POTS over GSM ja se tarkoittaa tavallisen mobiiliverkon (GSM) avulla toteutettua kiinteää lankapuhelinyhteyttä. POG-laitteella toteutettu puhelinliittymä on yleensä niin sanottu korvausliittymä, jossa kiinteän verkon puhelinliittymä aikaansaadaan GSM radioteitse. POG:a voidaan käyttää puhumisen lisäksi myös Internetin käyttöön, jolloin yhteys muodostetaan GPRS-verkon kautta ja sen nopeus vastaa puhelinmodeemiyhteyden nopeutta. Vanhat kuparikaapelilla toteutetut lankapuhelinyhteydet korvataan POG:lla yleensä asiakkaille, joiden kiinteän verkon perinteinen yhteys on vikaherkkä. Lisäksi POG sopii asiakkaille, jotka asuvat harvaanasutulla alueella. (TeliaSonera 2006.)

POG:n käyttö vaatii POG-päätelaitteen, akun, verkkolaitteen sekä antennin. POG-päätelaitteista käytetään myös nimitystä pöytä-gsm, johon on integroitu eli sisällytetty päätelaite, akku, verkkolaite sekä antenni. POG-tekniikassa ääni ja data kulkevat normaalisti puhelinkaapelia pitkin määritettyyn pisteeseen saakka, jonka jälkeen siirto tapahtuu matkapuhelintekniikan avulla vastaanottajan POG-laitteeseen. Äänen laatu on POG-tekniikalla yhtä hyvä kuin kaapelin kautta toteutettuna. (TeliaSonera 2006.)

Pöytä-gsm palvelut kuuluvat Suomessa TeliaSoneran, DNA:n ja Saunalahden tuotevalikoimiin ja sen eduksi voidaan lukea paremman luotettavuuden lisäksi kilpailukyiset hinnat verrattuna tavalliseen lankapuhelimeen (Sonera tuo koteihin pöytä-gsm:n 2010).

## 5 LIITYNTÄVERKON OPTISET RATKAISUT

Ensimmäiset televerkon valokaapelit Suomessa asennettiin vuonna 1979. Sen aikaiset valokaapelit olivat paksuja ja ne sisälsivät vain vähän kuituja, jotka olivat tyypiltään monimuotoisia. Yksimuotokuidut syrjäyttivät monimuotokuidun 1980-luvulla. Optista kuitua on alettu käyttää toimitilakiinteistöissä ja rakennusten välisissä kaapeloinneissa 1990-luvulla. Vaikka valokaapeli yleistyi runkoverkoissa nopeasti, sen tulo liityntäverkkoihin on ollut hidasta. Kahtena pääsyytä voidaan pitää liityntäverkon ”laajuutta” ja sitä kautta tulevia rakennuskustannuksia, sekä DSL-tekniikoiden kehitystä. Ethernetin laajentuminen runko- ja alueverkkoihin on lisännyt myös valokuidun ominaisuuksia, sillä useimmat kuluttaja- ja yritysytteudet toimivat Ethernet-yhteyden päällä IP-protokollalla ja yhdessä optisen kuidun kanssa ne mahdollistavat pelkän laajakaistaisen Internet-yhteyden sijaan monipalveluverkon, josta saadaan kerralla kaikki tietoliikenne- ja viestintäpalvelut. (Koivisto 2009, 65.)

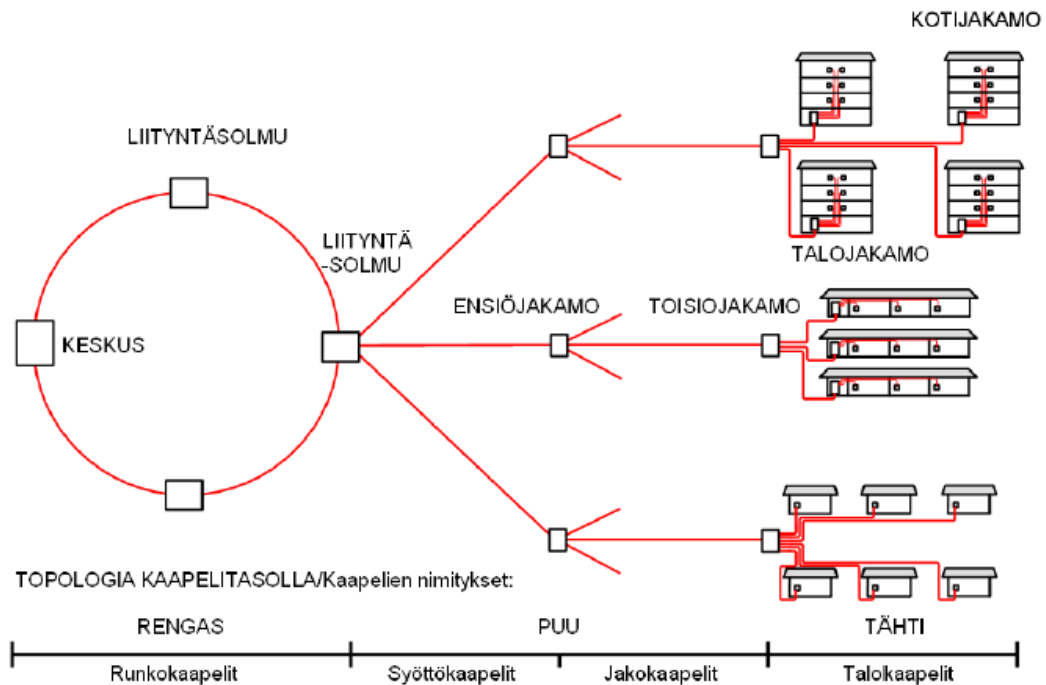


Kuva 10. Kuitutopologiat liityntäsolmun ja tilaajan välisellä osuudella (Optiset liityntäverkot 2009, 16).

Optinen liityntäverkko tarkoittaa valokaapelilla toteutettua verkkoa liityntäsolmulta viimeiseen valokaapelipäätteeseen ennen kiinteistön omaa viestintäverkkoa. Se koostuu liityntäsolmuista ja valokaapelien sisältämistä tilaajakuiduista. Optisilla kuitukaapeleilla korvattavista tai rakennettavista kuituverkoista on alettu käyttämään nimitystä FTTX. Eri FTTX-ratkaisuja on useita, ja ne nimetään sen mukaan, miten lähelle loppukäyttäjää kuitu tuodaan. (Optiset liityntäverkot 2009, 15.)

Valokaapeliverkolla voidaan sanoa olevan kaksi eri verkkotopologiaa: kuitu- ja kaapelitopologia. Kuitutopologialla kerrotaan miten optiset kuidut on kytketty kaapelien sisällä toisiinsa ja ne voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään (kuva 10). Näistä käytetyin on ”täysi tähti” –topologia, jolloin passiivi- ja aktiivilaitteet voidaan keskitää samaan pisteeseen. Kaapelitopologiat jaetaan myös kolmeen eri ryhmään, rengas-, tähti- ja puutopologia (kuva 11). (Optiset liityntäverkot 2009, 16.)

Optisilla liityntäverkon ratkaisulla päästään vähintään 100 Mbit/s oleviin nopeuksiin. Mikäli optinen verkko ulottuu aina asiakkaan päätelaitteeseen asti (FTTH), ovat yhteydet myös symmetrisiä, jolloin nopeudet myötä- ja paluusuuntaan ovat samat. Lisäksi verkon luotettavuuden voidaan katsoa parantuvan, sillä optisilla ratkaisulla toteutetut verkot ovat poikkeuksia lukuun ottamatta paljon uudempia, kuin vanhat kuparikaapeleilla toteutetut verkot. (Optiset liityntäverkot 2009, 8.)



Kuva 11. Kaapelitopologiat  
(Optiset liityntäverkot 2009, 13).

## 5.1 FTTB

FTTB-arkkitehtuurista (Fiber To The Building) puhutaan, kun valokuitukaapeli on viety kiinteistöjen, kuten rivi- ja kerrostalojen talojakamoihin asti, joista se jaetaan asuntoihin kiinteistön omaa sisäverkkoa käyttäen. Mikäli sisäverkko on toteutettu vähintään kategorian CAT5 yleiskaapeloinnilla, voidaan loppukäyttäjille tarjota nopeita Ethernet-pohjaisia yhteyksiä. Vanhoilla kuparikaapeleilla toteutetuilla sisäverkoilla ei ole soveltuvuutta Ethernet-yhteyksiin, jolloin tilaajille tarjotaan DSL-ratkaisuja. Yleensä FTTB-pohjaisiin kiinteistöihin voidaan tarjota nopeampia DSL-ratkaisuja, koska kuparilla toteutettu osuus jää varsin lyhyeksi. (Optiset liityntäverkot 2009, 17.)

## 5.2 FTTH

Optisen liityntäverkon tehokkain ratkaisu ja arkkitehtuuri on FTTH-arkkitehtuuri (Fiber To The Home). FTTH ratkaisussa kupariverkkoa ei käytetä lainkaan, vaan liityntäverkon talokaapeli päätetään suoraan talojakamoon, joka toimii samalla



myös kotijakamona. Tällöin tosin on huomioitava, että asunnon sisäisten kaapelointien täytyy noudattaa luokan E kotikaapelointiohjeistusta. FTTH sopiikin paremmin uudisrakennuskohteisiin, jolloin sisäverkon kaapeloinnit voidaan toteuttaa heti kuidulla. Siirryttäessä kuparikaapeliverkosta kuitukaapeliverkkoon ohjeistavat palveluntarjoajaoperaattorit yleensä mahdollisiin tarvittaviin sisäkaapelointimuutoksiin. Toisaalta on muistettava, että kiinteistöjen sisäverkkosaneeraukset ovat kiinteistöjen omistajien vastuulla, ja niiden uusiminen saattaa muodostua hyvinkin kalliiksi. (Optiset liityntäverkot 2009, 18.)

FTTH-ratkaisut tulevat yleistymään lähivuosina alueilla, joissa palveluntarjoajaoperaattoreilla on valmista valokuituverkkoa, tai vanhoja verkkoja joudutaan korvaamaan. Tällöin myös DSL-tekniikat väistyvät, kun asiakkaille voidaan tarjota nopeampia, Ethernetiin pohjautuvia ratkaisuja. FTTH:n todellisen tulemisen esteenä on kuitenkin merkittävät investointikustannukset, sillä se edellyttää kokonaan uuden kiinteän yhteyden rakentamista tilaajakohtaisesti. Lisäksi kuparikaapeleilla toteutetut laajakaistayhteydet kehittyvät vieläkin, tarjoten kilpailukykyisiä yhteysnopeuksia. Operaattoreilla on myös mahdollisuus siirtää pitkien etäisyyksien päässä olevia kupariyhteyksiä niin sanotuiksi FTTC-ratkaisuiksi (Fiber To The Cabin), jossa asutuskeskuksen läheisyyteen asennetaan aktiivilaitekaappi, jota voidaan kutsua kuvassa 10 näkyvissä olevaksi ensiöjakamoksi. Aktiivilaitekaappi on yhteydessä liityntäsolmuun valokuitukaapelilla ja sisältää tarvittavat kytkimet, joilta eteenpäin tilaajaverkot toteutetaan olemassa olevaa puhelinverkon kuparikaapelointia pitkin. (Optiset liityntäverkot 2009, 23.)

## 6 PIENTALOALUEIDEN KORVAUSKAAPELOINTI

## 7 ALUEEN X KORVAUSPROJEKTI

## 8 YHTEENVETO

## LÄHTEET

- Broadband Forum Visio. 2011. [Verkkosivu]. Broadband Forum. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavana: <http://www.broadband-forum.org/about/mission.php>
- Geier, J. 2004. Langattomat verkot. Helsinki: Edita Oyj
- Granlund, K. 2001. Langaton tiedonsiirto. Porvoo: Docendo
- Granlund, K. 2007. Tietoliikenne. Porvoo: Docendo
- Hakala, M. & Vainio, M. 2005. Tietoverkon rakentaminen. Porvoo: Docendo
- Holma, H. & Toskala, A. 2009. LTE for UMTS. Englanti: Wiley & Sons LTD
- Hämeen-Anttila, T. 2003. Tietoliikenteen perusteet. Porvoo: Docendo
- IEEE 802.3ba. 2010. [Verkkosivu]. IEEE. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavana: <http://www.ieee802.org/3/ba/index.html>
- ITU-R 4G. 2010. [Verkkosivu]. 3GPP. [Viitattu 31.3.2012]. Saatavana: <http://www.3gpp.org/ITU-R-Confers-IMT-Advanced-4G>
- ITU-T G.998.1. 2005. [Verkkosivu]. ITU. [Viitattu 20.2.2010]. Saatavana: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.998.1>
- Jaakohuhta, H. 2005. Lähiverkot – Ethernet. Helsinki: Edita Oyj
- Keogh, J. 2001. Verkkotekniikat. Helsinki: Edita Oyj
- Koivisto, P. 2009. Optiset kaapeloinnit kiinteistössä. Espoo: Sähköinfo Oy
- Kuparikaapelit hoitavat oman osansa laajakaistaverkossa. 2002. [Verkkosivu]. Oulu: Draka. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavana: [http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka\\_Finland/Languages/suomi/navigaatio/Uutiset/Arkisto/KuparikaapelitLaajakaistaverkossa.html](http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka_Finland/Languages/suomi/navigaatio/Uutiset/Arkisto/KuparikaapelitLaajakaistaverkossa.html)
- Laajakaistaratkaisut taloyhtiöissä. 2005. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- Multiprotocol Label Switching. 2011. [Verkkosivu]. Cisco Systems. [Viitattu 5.2.2012]. Saatavana: [http://www.cisco.com/en/US/products/ps6557/products\\_ios\\_technology\\_home.html](http://www.cisco.com/en/US/products/ps6557/products_ios_technology_home.html)

- NMT-450. 2004. [Verkkosivu]. Viestintävirasto. [Viitattu 10.2.2012]. Saatavana: <http://www.ficora.fi/index/viestintavirasto/asiakastiedotteet/radiotaajuudet/2004/taajuuskaista52l.html>
- Operaattorivertailu. 2011. [Verkkodokumentti]. ECE Oy. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavana: [http://www.eceltd.com/3G-verkkojen\\_vertailututkimus-Kevat\\_2011.pdf](http://www.eceltd.com/3G-verkkojen_vertailututkimus-Kevat_2011.pdf)
- Optiset liityntäverkot. 2009. [Verkkodokumentti]. Viestintävirasto. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavana: <http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/5f1Eutml7/TRaportti012006v2.pdf>
- Penttinen, J. 2006a. Tietoliikennetekniikka: Perusverkot ja GSM. Helsinki: WSOY
- Penttinen, J. 2006b. Tietoliikennetekniikka: 3G ja erityisverkot. Helsinki: WSOY
- Sonera hybridikaapeli. 2010. [Sisäinen ohje]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 23.4.2012].
- Sonera Kaapeli-TV. 2012. [Verkkosivu]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 1.4.2012]. Saatavana: <http://www.sonera.fi/tv+ja+viihde/kaapeli+tv/taloyhtioille/>
- Sonera Satelliitti Laajakaista. 2012. [Verkkosivu]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 1.4.2012]. Saatavana: <http://www.sonera.fi/nettiyhteydet/laajakaistat/satelliittilaajakaista/>
- Sonera tuo koteihin pöytä-gsm:n. 2010. [Verkkosivu]. Digitoday. [Viitattu 2.4.2012]. Saatavana: <http://www.digitoday.fi/bisnes/2010/03/04/sonera-tuputtaa-koteihin-poyta-gsmaa/20103266/66>
- Symmetric DSL. 2002. [Verkkodokumentti]. DSL Forum. [Viitattu 16.3.2012]. Saatavana: [http://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/SHDSL\\_wp.pdf](http://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/SHDSL_wp.pdf)
- TeliaSonera 4G. 2012. [Verkkosivu]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 1.4.2012]. Saatavana: <http://www.teliasonera.com/en/newsroom/press-kits/4G/>
- TeliaSonera lyhyesti. 2012. [Verkkosivu]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 23.4.2012]. Saatavana: <http://www.teliasonera.com/fi/konserni/teliasonera-lyhyesti/>
- TeliaSonera Myllymäki. 2010. [Sisäinen dokumentti]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 23.4.2010].
- TeliaSonera POG. 2006. [Sisäinen ohje]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 2.4.2012].

TeliaSonera yritysesittely. 2012. [Sisäinen ohje]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 23.4.2012].

Tietoa yhteysnopeuksista. 2012. [Verkkosivu]. Elisa Oyj. [Viitattu 28.3.2012]. Saatavana: <http://www.elisa.fi/asiakaspalvelu/199.11/tietoa-yhteysnopeuksista/>

Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa. 2004. [Verkkodokumentti]. Tampere: Helkama. [Viitattu 8.3.2012]. Saatavana: <http://helkamabica.fi/pdf/FlashCord-fi.pdf>

Viestintäpalvelujen kuluttajatutkimus 2011. 2011. [Verkkodokumentti]. Viestintävirasto. [Viitattu 8.2.2012]. Saatavana: [http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/65H1cd9ab/Viestintäpalvelujen\\_kuluttajatutkimus\\_2011.pdf](http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/65H1cd9ab/Viestintäpalvelujen_kuluttajatutkimus_2011.pdf)