

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Raimo Lehtiniemi

HAJA-ASUTUSALUEEN LAAJAKAISTAYHTEYKSIEN TOTEUTUS

Työn valvoja
Työn teettäjä
Tampere 2005
Julkinen osuus

Jorma Punju
Elisa Oyj, ohjaaja Jari Pyhältö

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

Lehtiniemi, Raimo Haja-asutusalueen laajakaistayhteyksien toteutus

Tutkintotyö 76 sivua, 2 liitesivua

Työn valvoja Jorma Punju

Työn teettäjä Elisa Oyj, ohjaaja Jari Pyhältö

Marraskuu 2005

Hakusanat liityntäverkko, laajakaista, optinen tiedonsiirto, langaton tiedonsiirto

TIIVISTELMÄ

Laajakaistayhteydet toteutetaan nykyään pääosin DSL-tekniikalla hyödyntäen olemassa olevaa, analogista puhelinliikennettä varten rakennettua, kuparista liityntäverkkoa. Jo nykyisillään tiedonsiirtonopeuksilla kaukana keskuksilta sijaitsevat asiakkaat jäävät laajakaistan kattavuusalueen ulkopuolelle. Tässä työssä on tarkoitus selvittää kuinka paljon nykyisistä HMV-alueiden asiakkaista on laajakaista kattavuuden ulkopuolella sekä päivittää ADSL2plus-tekniikan tiedonsiirtonopeuksia kuvaava arviointikäyrä. Lisäksi tutkitaan esimerkin avulla haja-asutusalueen liityntäverkon rakennetta ja muodostetaan kustannusarvioiden perusteella ratkaisuehdotus, miten laajakaistayhteydet saadaan myös etäisimmille asiakkaille. Työn perusteella voidaan linjata pitkiä tilaajajohtoja sisältävien haja-asutusalueiden liityntäverkkojen kehitystä optisella tai langattomalla ratkaisulla.

TAMPERE POLYTECHNIC

Computer Systems Engineering

Telecommunications Engineering

Lehtiniemi, Raimo

Completion of broadband connections to scattered settlement area

Engineering Thesis

76 pages, 2 appendices

Thesis Supervisor

Jorma Punju

Commissioning Company

Elisa Oyj, instructor Jari Pyhältö

November 2005

Keywords

access network, broadband, optical transmission, wireless transmission

ABSTRACT

Today's broadband connections are mainly carried out using DSL technique that utilizes the existing copper access network, which is originally built-up for analogical telephone traffic. Even with the data transmission rates that are currently being used, customers that live far from the centres are being left outside of the broadband cover area. The purpose of this work is to determine how many of the current customers, in the substantial market value areas, are outside of the broadband cover area and to update the evaluation curve that describes the data transmission rate of the ADSL2+ connection. Also a proposition is given, how the broadband connection can be supplied to the farthest customers. On ground of this work, it will be possible to make plans on how the access network, containing long subscriber cables in the scattered settlement areas, can be developed with optical or wireless solution.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEET

1 JOHDANTO	8
2 LIITYNTÄVERKON RAKENNE JA SIIRTOMEDIAT	9
2.1 Liityntäverkon rakenne.....	9
2.2 Kuparikaapeli liityntäverkossa.....	12
2.2.1 Kuparikaapeliverkon rakenne.....	12
2.2.2 Kuparikaapelityypit	12
2.2.3 Kuparikaapeliin vaikuttavia häiriötekijöitä	14
2.3 Valokaapeli liityntäverkossa.....	18
2.3.1 Optiset kuidut.....	19
2.3.2 Kuitujen optiset ominaisuudet	21
2.3.3 Valokaapeliverkon rakenne.....	24
3 LIITYNTÄVERKON LAAJAKAISTAISET SIIRTOTEKNIIKAT	25
3.1 DSL-tekniikat.....	26
3.1.1 ADSL.....	27
3.1.2 SHDSL.....	31
3.1.3 VDSL.....	31
3.2 WiMAX.....	32
3.3 ATM	37
3.4 Ethernet-tekniikat	38
3.4.1 Ethernet-tekniikan yleiskuvaus.....	38
3.4.2 Ethernet-standardit.....	38
3.4.3 Ethernet in the First Mile	41
3.5 Muita laajakaistaisia siirtotekniikoita	43
4 LIITYNTÄVERKON OPTISET ARKKITEHTUURIT.....	44
4.1 Fiber to the curb, FTTC	44
4.2 Fiber to the building, FTTB	46
4.3 Fiber to the home, FTTH	47

4.4 Passive Optical Network, PON.....	48
5 LIITYNTÄVERKON NYKYINEN LAAJAKAISTA KATTAVUUS	50
6 HAJA-ASUTUSALUEEN LAAJAKAISTAYHTEYKSIEN TOTEUTUS.....	50
7 YHTEENVETO.....	50
LÄHTEET	51
LIITTEET	
1 Kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmän taajuusmaksun laskenta	

LYHENTEET

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
CAP	Carrierless Amplitude and Phase
CMTS	Cable Modem Termination System
DMT	Discrete Multitone
DOCSIS	Data over Cable Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EFM	Ethernet in the First Mile
EPON	Ethernet based PON
FEXT	Far-end crosstalk
FTTB	Fiber to the building
FTTC	Fiber to the curb
FTTH	Fiber to the home
FWA	Fixed Wireless Access
HFC	Hybrid Fiber Coax
ISDN	Integrated Services Digital Network
LAN	Local Area Network
LOS	Line Of Sight
MAC	Media Access Control
MPCP	Multi-Point Control Protocol
NEXT	Near-end crosstalk
NLOS	Non Line Of Sight
NNI	Network to Network Interface
NrLOS	Near Line Of Sight
ODF	Optical Distribution Frame
OLOS	Optical Line Of Sight
PCM	Pulse Code Modulation
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone Service
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SDH	Synchronous Digital Hierarchy

SHDSL	Symmetric High bit rate Digital Subscriber Line
UNI	User to Network Interface
VCSEL	Vertical Cavity Semiconductor Laser
VDSL	Very high bit rate Digital Subscriber Line
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLL	Wireless Local Loop

1 JOHDANTO

Nykyisin laajakaistaiset yhteydet toteutetaan pääosin dsl-tekniikalla, hyödyntäen olemassa olevaa kuparista liityntäverkkoa. Nykyisillä laajakaistaliittymien tiedonsiirtonopeuksilla analogista puhelinliikennettä varten rakennettu kuparinen liityntäverkko asettaa rajoituksia muodostettaville yhteysetäisyyksille. Tiedonsiirtonopeuksien yhä kasvaessa tarvitaan uusia ratkaisuja korvaamaan kuparikaapeli joko osittain tai kokonaan. Tällä hetkellä yleisin ratkaisu on kuparikaapelin korvaaminen valokuitukaapelilla, joka mahdollistaa moninkertaisen tiedonsiirtokapasiteetin kuparikaapeliin verrattuna. Valokuitukaapeli nähdäänkin tulevaisuuden kaapelointiratkaisuna, joka tietyllä aikavälillä tulee korvaamaan liityntäverkossa sekä kuparikaapelin että koaksiaalikaapelin. Lisäämällä valokuitukaapelin osuutta liityntäverkossa siirrytään kohti optista yhteispalveluverkkoa, jossa saman siirtomedian alle yhdistyy puhelin, kaapeli-TV ja Internet.

Työn taustana voidaan pitää liikenne- ja viestintäministeriön nimittämän kansallisen laajakaista työryhmän laatiman strategian vaikutustavoitteita, joiden mukaan vuoden 2005 loppuun mennessä:

- Suomessa on kaikki teknologiat huomioon ottaen 1 000 000 laajakaistaliittymää, joista suurimman osan yhteysnopeus on 2 Mbit/s
- nopeat, alueellisesti kattavat ja käyttäjilleen kohtuuhintaiset tietoliikenneyhteydet ovat kaikkien kansalaisten saatavilla

vuoden 2007 loppuun mennessä:

- Suomen Internet-yhteyksistä yli 90 prosenttia on laajakaistaisia ja yleisimmän laajakaistapalvelun yhteysnopeus on vähintään 8 Mbit/s

Vaikutustavoitteiden pohjalta työssä selvitetään kuinka paljon nykyisistä HMV-alueiden asiakkaista on laajakaista kattavuuden ulkopuolella sekä selvitetään näiden alueiden laajakaistanopeuksia. Selvitys tehdään perustuen alueen tilaajajohtojen pituuksiin sekä työssä esitettävään adsl2plus-tekniikan tiedonsiirtonopeuksia kuvaavaan arviointikäyrään. Lisäksi tutkitaan esimerkin avulla pitkiä tilaajajohtoja sisältävän haja-asutusalueen liityntäverkon rakennetta

sekä tehdään optinen ja langaton ratkaisuehdotus alueen laajakaista kattavuuden parantamiseksi. Ratkaisuehdotus sisältää kustannuslaskelmat sekä investointien että käyttökulujen osalta. Ratkaisuehdotusta voidaan soveltaa yleisellä tasolla pitkiä tilaajajohtoja sisältävien haja-asutusalueiden liityntäverkkoa kehitettäessä.

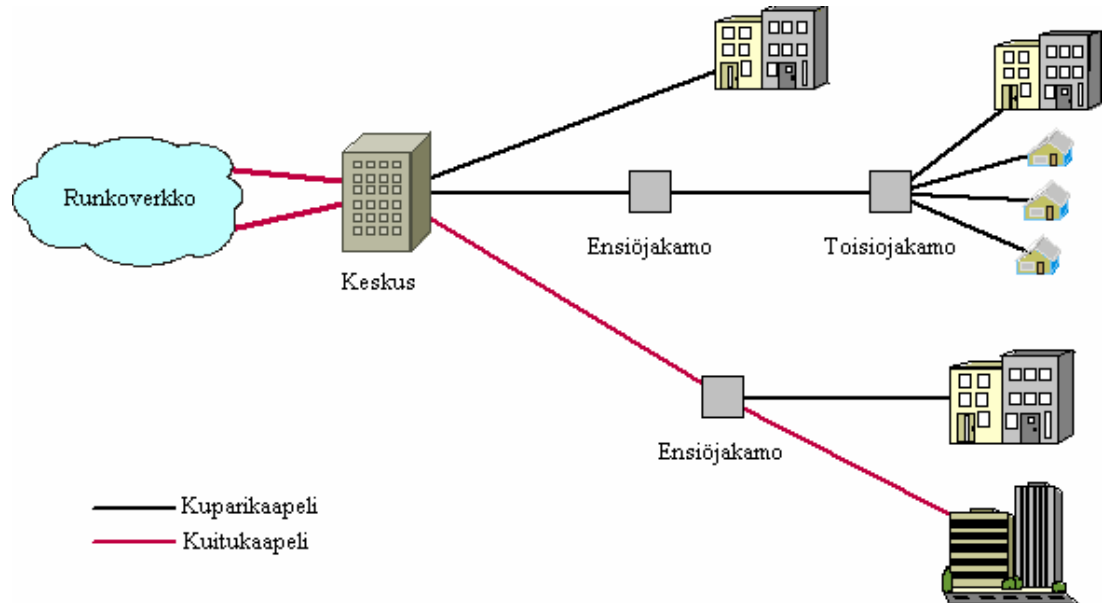
Työn teoria osuudessa käydään läpi liityntäverkossa käytetyt siirtomediat: kupari- ja valokuitukaapeli sekä yleisimmät siirtotekniikat mukaan lukien langaton WiMAX-tekniikka. Lisäksi käydään läpi optisen verkon rakentamiseen soveltuvia arkkitehtuureja sekä näiden käyttökohteita. Työssä ei käsitellä koaksiaalikaapelilla toteutettua kaapelitelevisioverkkoa eikä KTV-verkossa toimivaa kaapelimodeemitekniikkaa.

2 LIITYNTÄVERKON RAKENNE JA SIIRTOMEDIAT

Tässä luvussa käsitellään aluksi liityntäverkon yleistä rakennetta, minkä jälkeen tutkitaan liityntäverkon siirtomedioista kupari- ja valokuitukaapelia. Lopuksi käydään läpi laajakaistaisessa tiedonsiirrossa käytettävät siirtotekniikat.

2.1 Liityntäverkon rakenne /2; 3; 4/

Liityntäverkolla tarkoitetaan operaattorin hallitsemaa verkon osaa keskuksen tai keskittimen ristikytkennästä päätösjakamoon (toisiojakamo/talojakamo). Kuvassa 1 on esitetty liityntäverkon yleinen rakenne.



Kuva 1 Liityntäverkon rakenne

Liityntäverkko voidaan jakaa kahteen osaan: ensiö- ja toisioverkkoihin. Koko verkon osuutta on tyypillisesti rakennettu kuparikaapeleilla, mutta nykyään etenkin ensiöverkkoa pyritään rakentamaan entistä enemmän kuitukaapelilla. Osuutta keskukselta ensiöjakamoon nimitetään ensiöverkoksi ja osuutta ensiöjakamosta aina päätösjakamoon asti toisioverkoksi. Ensiöverkon kaapeleiden pituudet ovat yleensä 1 km:stä 3 km:iin ja käytettäessä kuparia johtimien paksuudet ovat 0,4 tai 0,5 mm. Yhdessä kuparikaapelissa on tavallisesti 100–1600 paria. Ensiöjakamot sijaitsevat kerrostalojen kellareissa, teiden varsilla olevissa ulkokaapeissa tai uudehkojen rakennusten teletiloissa. Ensiöjakamoissa on yleensä ristikytkentäteline, josta ristikytkennällä saadaan kuparijohtimet kytkettyä joko toisioverkkoon tai suoraan tilaajille. Joissain tapauksissa jakamot voivat sisältää myös aktiivilaitteita. Aktiivilaitteiden sijoittelussa ongelmaksi voivat muodostua jakamoiden puutteelliset ominaisuudet, kuten sähkönsyötön puuttuminen ja tilojen ahtaus.

Toisioverkossa kuparikaapeleiden pituudet ovat luokkaa 0,1 km:stä 1 km:iin ja kuparistenjohtimien paksuudet 0,5 mm. Kaapelissa on tyypillisesti 10–200 paria. Toisiojakamot sijaitsevat niin ikään kerrostalojen kellareissa ja teiden varsilla olevissa ulkokaapeissa. Kokoluokaltaan toisiojakamot ovat ensiöjakamoita pienempiä ja soveltuvat vielä heikommin aktiivilaitteiden sijoittamiseen.

Talojakamon jälkeen alkaa talon sisäverkko, joka on kiinteistön omistajan vastuulla. Vanhoissa taloissa sisäverkko voi olla hyvinkin huonolaatuista, jolloin etenkin impulssimaiset häiriöt, esim. viallisesta johdinparista syntyvät, saattavat aiheuttaa ongelmia tiedonsiirrossa. Uudet rakennukset suositellaan kaapeloitavaksi kategorian 5 tai 6 mukaisella yleiskaapeloinnilla, joka soveltuu hyvin laajakaistaiseen tiedonsiirtoon ja antaa hyvän suojan impulssimaisia häiriöitä vastaan.

Suurin osa liityntäverkon kaapeloinnista kulkee maan alla, varsinkin kaupungin keskustan tuntumassa. Uutta kaapelointia asennettaessa tai vanhaa osuutta uusittaessa kaapeli yleensä asennetaan maan alle kaivettavaan muoviputkeen, jolloin mahdollinen lisäkaapelin asennus myöhemmässä vaiheessa on huomattavasti helpompaa ja kustannuksiltaan edullisempaa.

Ilmakaapelit ja jakamot muodostavat liityntäverkon maanpäällisen osan. Ilmakaapeleita on käytössä lähinnä haja-asutusalueilla ja vanhemmissa kohteissa. Nykyään ilmakaapeleita pyritään mahdollisuuksien mukaan korvaamaan maakaapeleilla.

Liityntäverkko on suuri kokonaisuus, jota rakennetaan nykyisin monilla eri tekniikoilla. Suuren koon vuoksi verkon kapasiteetin lisääminen kaapelointia uusimalla nostaa kustannukset hyvin suuriksi. Liityntäverkkoa on rakennettu kuparikaapelilla jo yli sadan vuoden ajan ja vanhimmat kaapelit saattavatkin olla jopa 50–60 vuotta vanhoja. Sen vuoksi kupari on yhä edelleen selkeästi yleisin siirtomedia liityntäverkossa. Kuparikaapeleiden uusiminen, tiedonsiirto-ominaisuuksiltaan paremmilla siirtomedioilla, kuten valokuitukaapeli, onkin pitkä ja kallis operaatio. Korkeiden kustannusten johdosta verkkoon tehtävät investoinnit onkin suunniteltava siten, että niiden käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä. Operaattoreiden pitääkin hyödyntää olemassa olevaa kupariverkkoa mahdollisimman pitkään.

2.2 Kuparikaapeli liityntäverkossa

Alun perin kuparikaapelia käytettiin liityntäverkossa vain puheen siirtämiseen. Sen ominaisuudet riittävät hyvin puheensierrossa käytettyyn taajuusalueeseen, 300–3400 hertsiä. Näin matalilla taajuuksilla pystytään kuparilla siirtämään puhetta pitkiäkin matkoja, pienten vaimennusten vuoksi. Nykyään kuparikaapelia käytetään myös laajakaistaiseen tiedonsiirtoon, jolloin taajuuksien kasvun myötä myös vaimennukset ovat kasvaneet, mikä on lyhentänyt yhteysetäisyyksiä.

2.2.1 Kuparikaapeliverkon rakenne

Kuparikaapeliverkossa jokaiselle käyttäjälle viedään keskukselta oma kuparijohdinpari, eli kyseessä on tähtimäinen topologia. Se, kuinka monen kytkentäpisteen tai jakamon kautta johdinpari joudutaan tuomaan, on riippuvainen asiakkaan sijainnista keskukseseen nähden. Lähellä keskusta oleville asiakkaille johdinpari tuodaan yleensä suoraan keskukselta, kun taas kaukana asuville kytkentäpisteitä tai jakamoita voi matkan varrella kertyä useitakin.

Monimutkaisuutensa vuoksi kuparikaapeliverkon kytkentäjärjestelmän uudelleen rakentaminen ja uusiminen on erityisen hankalaa. Keskukselta voi kiinteistöön olla kytkettynä suora kaapeli, kun taas lähistöllä olevaan kiinteistöön kaapeli voi kiertää huomattavasti pidemmän reitin. Toisaalta taas jakamosta, jossa kapasiteettia on vapaana, voidaan tasata pareja alueille, josta kapasiteetti on loppumassa.

2.2.2 Kuparikaapelityypit /1/

Kupariverkossa käytetään maa-, kanava-, vesi- ja ilmakaapeleita. Kaapelin tyyppimerkintä muodostuu kirjainosasta ja sitä seuraavasta numero-osasta. Kirjainosa ilmoittaa kaapelin tyyppin ja numero-osa johtimien tai parien lukumäärän sekä johtimien halkaisijan tai poikkipinnan. Esimerkiksi VMOHBU 50x2x0.5 on

vaahtomuovieristeinen, vaseliinitäytteenen, metallilaminaattilla suojattu, muovivaippainen ulkokaapeli, jossa on 50 johdinhalkaisijaltaan 0,5 mm:n paria.

Kuparikaapeleita voidaan ryhmitellä rakenteensa perusteella monella eri tavalla. Tässä kaapelit on ryhmitelty vaipan materiaalin perusteella ja samalla niiden käyttöajankohdan perusteella seuraavasti:

1) Muovivaippaiset kaapelit

- Tyyppimerkinnät VMOHBU ja VMHBU
- Johdin hehkutettua kuparilankaa
- Eristeenä muovi (vaahtopolyeteeni)
- Kaksi eristettyä johdinta parina
- Tyyppimerkintä O, kaapelissa on käytetty vaseliinitäytettä kosteussulkuna
- Väливаippa muovia, jonka päällä metallilaminaattisuojaus ja muovivaippa
- Nykyisin käytössä, yleistyi 80-luvulta lähtien

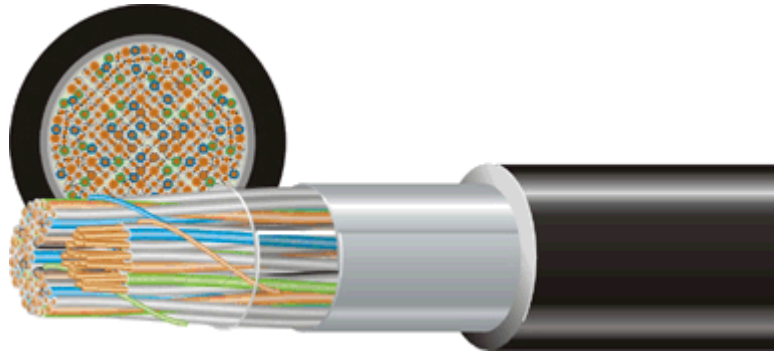
2) Alumiinivaippaiset kaapelit

- Tyyppimerkinnät AUM ja ADUM
- Johdin hehkutettua kuparilankaa
- Eristeenä kerros kuivaa paperia
- Ryhmänä neljä eristettyä johdinta tähtinelikierteenä
- Vaippa alumiinia
- Suojakerrokset ja uloimpana puristettu muovivaippa
- Yleisiä kaapelityyppejä 70-luvulla

3) Lyijyvaippaiset kaapelit

- Tyyppimerkinnät LVJ (maakaapeli) ja LU (kanavakaapeli)
- Johdin hehkutettua kuparilankaa
- Eristeenä kerros kuivaa paperia
- Ryhmänä neljä eristettyä johdinta tähtinelikierteenä
- Vaippa seostettua lyijyä
- Yleisiä kaapelityyppejä 50–70 –luvuilla

Nykyisin kupariverkkoa rakennetaan muovivaippaisilla, vaseliinitäytteisillä VMOHBU-parikaapeleilla. Kuvassa 2 on esimerkki Draka NK Cables Oy:n VMOHBU kanava- ja maakaapelista.



Kuva 2 VMOHBU kanava- ja maakaapeli /7/

Alumiinivaippaisia ja lyijyvaippaisia kaapeleita on edelleen varsin yleisesti käytössä, mutta niiden paperieriste on paikoin varsin huonossa kunnossa, mikä aiheuttaa ongelmia nykyisessä laajakaistaisessa tiedonsiirrossa.

2.2.3 Kuparikaapeliin vaikuttavia häiriötekijöitä /4/

Digitaalisessa tiedonsiirrossa kuparikaapeliin kohdistuu häiritseviä sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä, kuten:

- Vaimennus
- Ylikuuluminen
- Heijastukset
- Impulssikohina
- RF-häiriöt

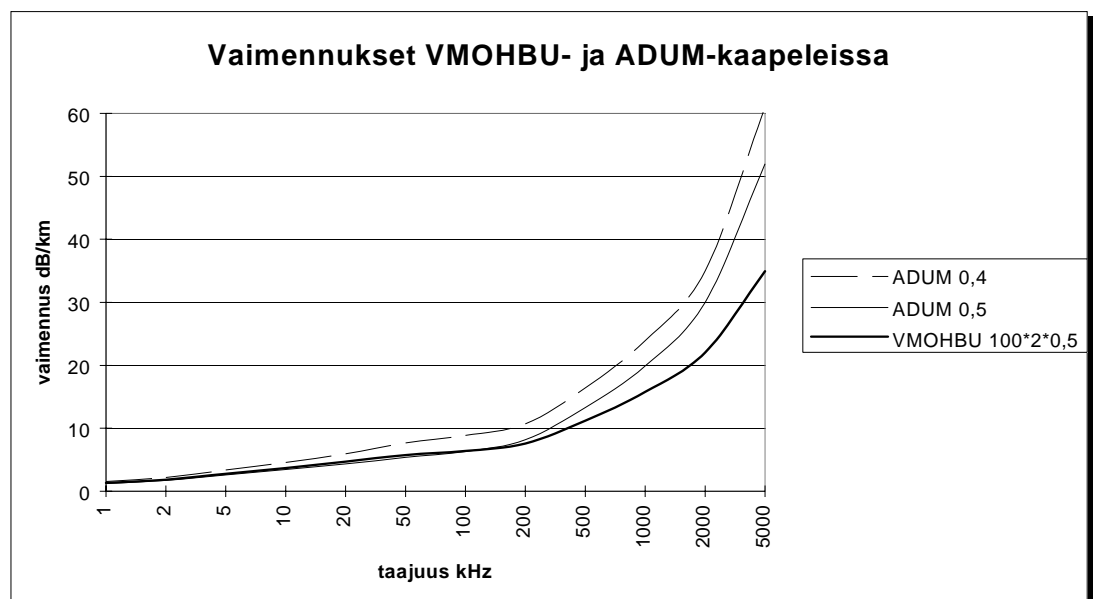
Siirrettäessä laajakaistaista signaalia kuparikaapelissa on hyvä tietää häiriöiden mahdolliset vaikutukset, jotta niihin osataan varautua verkon suunnittelussa ja kehittämisessä. Seuraavaksi on tarkasteltu näitä häiriötekijöitä ja niiden mahdollisia vaikutuksia.

Vaimennus

Signaalin vaimennus on tärkein tiedonsiirron laatuun vaikuttava tekijä. Vaimennus lisää signaalissa tehohäviöitä. Vaimennukseen suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Yhteyden pituus
- Käytetty taajuus
- Johtimen halkaisija
- Lämpötila
- Kaapelin materiaali ja laatu

Kuvassa 3 on esitetty vaimennus/km taajuuden funktiona kolmessa erilaisessa kaapelissa.



Kuva 3 Vaimennukset VMOHBU- ja ADUM-kaapeleissa /4/

Kaikilla kolmella kaapelilla havaitaan taajuuden nousun vaikutus vaimennusta lisääväksi. Suurilla taajuuksilla myös materiaalierot tulevat hyvin esiin, muovivaippainen VMOHBU-kaapeli tarjoaa pienemmän vaimennuksen kuin alumiinivaippainen ADUM-kaapeli. Lyijyvaippaisen LVJ-kaapelin vaimennusarvot ovat hyvin lähellä ADUM-kaapelin arvoja. Tämä on ennustettavissakin, koska

kaapeleiden johdin- ja eristemateriaalit ovat samat. Johtimen halkaisijan vaikutus havaitaan kahta ADUM-kaapelia vertaamalla. Halkaisijan pienentyessä vaimennus lisääntyy. Halkaisijaltaan 0,4 mm:n johdin vaimentaa signaalia n. 30 % enemmän kuin 0,5 mm:n johdin. Myös lämpötilan vaikutus pitää huomioida. Vaimennus lisääntyy lämpötilan noustessa n. 0,4 % astetta kohden.

Kuvan 3 mitatut kaapelit ovat kaikki homogeenisia eli koko matkalta samaa tyyppiä. Todellisessa liityntäverkossa harvat yhteydet keskukselta päätösjakamoon ovat tällaisia. Yhteys, jolla ei ole monia jatkoskohtia on parempi kuin lukuisista eri johtimista muodostuva yhteys. Etenkin vanhalla tekniikalla toteutetut jatkokset lisäävät vaimennusta. Liitoskohdat voivat elää, jolloin samalla yhteyden ominaisuudet voivat muuttua. Nykyään yleisesti käytetyt LSA Plus -hahloliittimet ovat ominaisuuksiltaan paljon paremmat kuin vanhat ruuviliittimet. Ne on suunniteltu erityisesti nopeaan tiedonsiirtoon ja ne lyhentävät yhteyspituutta vain muutamia metrejä hyväkuntoisella linjalla. Paras vaimennusarvo saavutettaisiin luonnollisesti kaapelilla, joka pystyttäisiin toimittamaan päätösjakamoon yhtenäisenä kaapelina, ilman jatkoksia.

Ylikuuluminen

Parikaapelissa yhteen kierrettyjen johtojen kapasitiiviset ja induktiiviset kytkennät saattavat aiheuttaa signaalin kytkeytymistä johdolta toiselle. Tätä kytkeytymistä kutsutaan ylikuulumiseksi ja se on merkittävin häiriötä aiheuttava tekijä siirtokanavassa. Ylikuulumisen voimakkuuteen vaikuttavat tekijät ovat:

- Kaapelin rakenne ja parien välinen symmetria
- Signaalin voimakkuus
- Signaalin taajuus
- Järjestelmien lukumäärä kaapelissa

Samassa kaapelissa ylikuuluminen voi vaihdella parien välillä suuresti, parien sijainnin mukaan. Sijainnilla tarkoitetaan parien etäisyyttä toisistaan sekä parien nousuja kaapelissa. Ylikuulumisen vaikutus on entistä suurempi, jos järjestelmien

tehospektrit menevät päällekkäin. Pahin tilanne muodostuu, jos samaa taajuusaluetta käyttävät järjestelmät sijaitsevat vierekkäin kaapelissa. Parinvalinnalla voidaan siis vaikuttaa merkittävästi ylikuulumisesta aiheutuvien häiriöiden minimoimiseen.

Heijastukset

Impedanssin epäsovitus johdolla aiheuttavat heijastumia, jolloin vastaanotettava signaali häiriintyy. Impedanssin muutoksia aiheuttavia kohtia kaapelissa voivat esimerkiksi olla:

- Kaapelin vaihtuminen rakenteesta toiseen
- Jatkosten liitoskohdat
- Kaapelin valmistumisvaiheessa syntyneet poikkeamat
- Lähettimen ja vastaanottimen liitäntä kaapeliin

Pariin liitettyjen lähettimien ja vastaanottimien impedanssi tulisi sovittaa samansuuruiseksi kaapelin ominaisimpedanssin kanssa. Ominaisimpedanssi tulee merkittäväksi vasta pitkällä yhteysväleillä ja käytettäessä korkeita taajuuksia.

Impulssikohina

”Impulssi on hyvin tavallinen lyhytkestoinen sähköinen pulssi, jonka taajuus ja amplitudi vaihtelevat.” /4/ Impulssimaisen pulssin kesto on 30–150 μ s ja amplitudi 5–20 mV. Impulssilähteitä ovat esimerkiksi:

Televerkon sisällä

- soittojännitteet
- impulssivalinta tai keskukset

Televerkon ulkopuolella

- suurjännitelaitokset
- sähkömoottoreiden ja polttomoottoreiden sytytyslaitteet
- releet tai salamat

Impulssi voi muodostua myös yhdestä viallisesta johdinparista ja levitä kaapeliin. Impulssihäiriöt kytkeytyvät helposti huonolaatuisessa kiinteistön sisäverkossa ja niiden vaikutus saattaa vaihdella huomattavasti alueittain ja kaapeleittain.

Digitaalisessa tiedonsiirrossa impulssikohina aiheuttaa virheryöppyjä, joiden todennäköisyys kasvaa pitkällä kaapeleilla vaimennuksen ollessa suuri. Impulssihäiriöitä vastaan voidaan varautua järjestelmien suunnittelussa jättämällä kohinamarginaalia. Uusissa nopeissa tiedonsiirtojärjestelmissä impulssihäiriöt ovat merkittävä häiriötekijä.

Radiotaajuiset häiriöt

RF-häiriöt on tavallisin häiriötyyppi, joka esiintyy melkein jokaisessa liityntäverkon johdinparissa. Erityisen suuria häiriöt voivat olla taajuuksilla 1–30 megahertsiä, koska näillä taajuuksilla esiintyy radioamatööri liikennettä. Myös AM-moduloidut yleisradiolähetykset saattavat aiheuttaa häiriöitä siirtojohtimeen. Toisaalta siirtojärjestelmäkin voi häiritä radiovastaanottimen toimintaa. Siirtojärjestelmän tulisi sietää kapeakaistaisia radiohäiriöitä ja suurilla taajuuksilla siirtojärjestelmän lähetystehoa tulisi rajoittaa. Radiotaajuisen häiriön kytkeytyminen on paljon voimakkaampaa ei-kierretylelle johtimelle. Tällaisia johtimia esiintyy sisäjohtoverkoissa ja ilmakaapeleissa.

2.3 Valokaapeli liityntäverkossa

Valokaapelin osuus nykyisestä liityntäverkosta on vielä tällä hetkellä kaikista pienin. Valokaapeli yleistyi televerkoissa 80-luvulla. Nykyään keskusten väliset sekä suurta kaistanleveyttä vaativat yhteydet on toteutettu yleensä valokaapelilla. Valokaapelin ominaisuudet, kuten pieni vaimennus ja suuri kaistanleveys, ovat ylivoimaiset verrattuna muihin siirtomediatoihin. Se nähdäänkin tulevaisuuden kaapelointiratkaisuna laajakaistaisessa tiedonsiirrossa, ja se tulee aikanaan korvaamaan sekä kupari- että koaksiaalikaapelin liityntäverkossa.

2.3.1 Optiset kuidut /5; 6/

Kuidussa tapahtuvan optisen tiedonsiirron perustana ovat valon taittumis- ja heijastuslait kahden aineen rajapinnassa. Kuidut jaotellaan monimuoto- ja yksimuotokuituihin sen mukaan, miten valo kuidussa etenee. Näistä kahdesta yksimuotokuidun käyttö on huomattavasti yleisempää kuin monimuotokuidun.

Optisessa tiedonsiirrossa puhutaan taajuuden sijaan signaalin aallonpituudesta. Yleisesti käytössä ovat aallonpituudet 850, 1310 ja 1550 nm yksimuotokuidulle ja aallonpituudet 850 ja 1300 nm monimuotokuidulle. Kuvassa 7 on esitetty FYOHB2PMU-yksimuotokuitukaapeli.

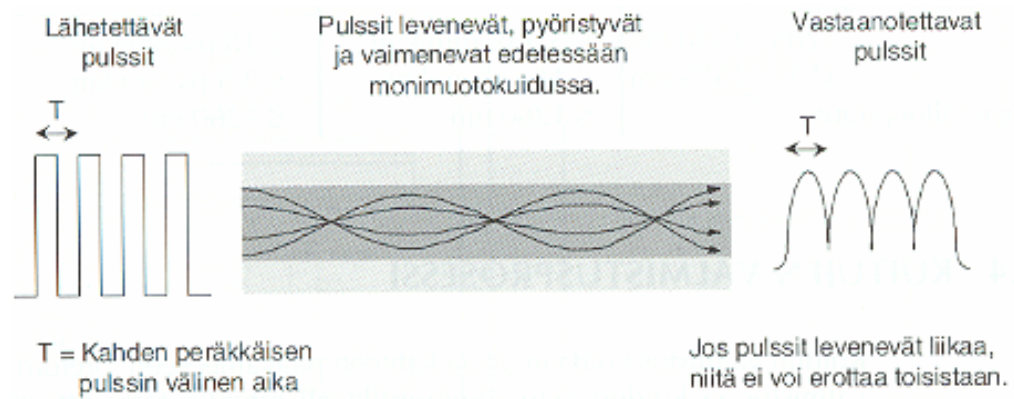


Kuva 7 FYOHB2PMU-yksimuotokuitukaapeli

Kaapelin tyyppimerkinnän kirjainosa kertoo kaapelin tyyppin samaan tapaan kuin kuparikaapelilla. Tässä kyseessä on ulkokäyttöön tarkoitettu valokaapeli, jossa on täytemassan täyttämä ontelorakenne, jonka päällä on laminoitu metallisuojaus. Päällimmäisenä on muovinen ulkovaippa, jonka sisällä on kaksi teräslankaa.

Monimuotokuitu /6/

Monimuotokuidussa valo etenee useita eri reittejä pitkin eli useassa eri muodossa. Kuvassa 8 on monimuotokuidun pitkittäisleikkaus, jossa on havainnollistettu valon etenemistä.



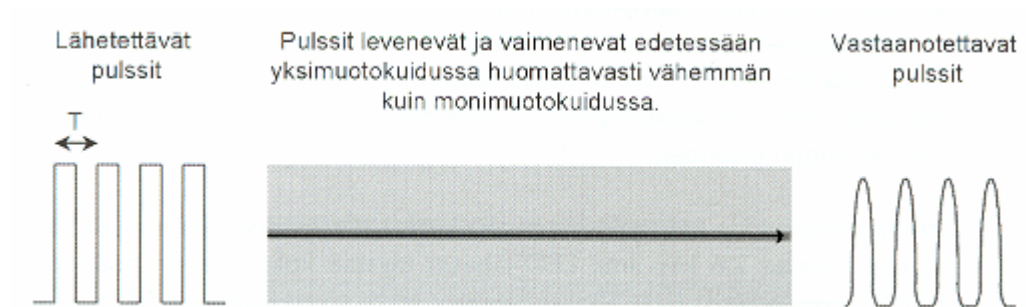
Kuva 8 Valon eteneminen monimuotokuidussa /6/

Eri reittejä pitkin eteneviltä valonsäteiltä kuluu eri aika kuidussa edetessään. Tästä johtuu, että lähetettävät pulssit levenevät edetessään. Tämä ominaisuus rajoittaa kuidussa siirrettävää suurinta taajuutta eli kaistanleveyttä.

Monimuotokuidut jaetaan kaistanleveyden perusteella kolmeen kategoriaan OM1, OM2 ja OM3. Monimuotokuituina käytetään tyyppejä 50/125 μm ja 62,5/125 μm . Ensimmäinen luku tarkoittaa ytimen halkaisijaa ja toinen luku kuoren halkaisijaa. Tyypillisesti OM1-kategorian kuidut ovat tyyppiä 62,5/125 μm (ns. GK-kuitu) ja OM2-kategorian 50/125 μm . OM3 edustaa kuitujen uutta sukupolvea. Sen ominaisuuksia on parannettu OM1- ja OM2-kuiduista, jotta se soveltuisi hyvin Gigabit Ethernet ja 10 Gbit/s Ethernet-järjestelmiin.

Yksimuotokuitu /6/

Yksimuotokuidussa valo etenee vain yhdessä muodossa. Kuvassa 9 on yksimuotokuidun pitkittäisleikkaus, jossa valon etenemistä on havainnollistettu.



Kuva 9 Valon eteneminen yksimuotokuidussa /6/

Yksimuotokuidussa kromaattinen dispersio aiheuttaa pulssien leviämistä, mutta leviäminen on huomattavasti pienempää kuin monimuotokuiduissa. Sen vuoksi yksimuotokuidun kaistanleveys on huomattavasti parempi kuin parhaankaan monimuotokuidun.

Yksimuotokuidun kategoriasta käytetään merkintää OSI. Sen ytimen halkaisija on luokkaa 5–10 μm .

2.3.2 Kuitujen optiset ominaisuudet /5/

Kuitujen tärkeimmät optiset ominaisuudet ovat:

- Vaimennus (monimuoto- ja yksimuotokuitu)
- Kaistanleveys (monimuotokuitu) tai dispersio (yksimuotokuitu)
- Raja-aallonpituus (yksimuotokuitu)
- Numeerinen aukko (monimuotokuitu)

Vaimennus

Vaimennus heikentää kuidussa etenevän signaalin valotehoa. Sen yksikkö on dB/km. Tiedonsiirtoyhteyden kokonaisvaimennus koostuu kuidun vaimennuksesta, jatkosvaimennuksista ja liitosvaimennuksista. Kuidussa vaimennusta aiheuttaa pääasiassa kaksi seikkaa: absorptio ja sironta. ”Absorptio tarkoittaa kuidussa olevien epäpuhtauksien sekä infrapuna-alueen (IR) ja ultravioletialueen (UV) aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin.” /5/ Epäpuhtauksia kuidussa aiheuttavat esim. OH-ionit. ”Sironta tarkoittaa kuidussa olevien mikroskooppisten pienien taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin.” /5/

Kaistanleveys (monimuotokuitu)

”Monimuotokuidun kaistanleveydellä tarkoitetaan siinä siirrettävän signaalin suurinta mahdollista taajuutta tietyllä matkalla.” /5/ Kuvassa 8 (valon eteneminen monimuotokuidussa) kahden peräkkäisen valopulssin aika T ei saa olla liian pieni, jotta pulssien leviäminen ei olisi haitallista. Tämä tarkoittaa, että pulssien toistotaajuus ($f = 1/T$) ei saa olla liian suuri. Kaistanleveys kuvaa tätä suurinta mahdollista toistotaajuutta. Kaistanleveys on riippuvainen käytetystä aallonpituudesta ja sen yksikkö on MHz x km. Jos esimerkiksi GK-kuidulle ilmoitetaan kaistanleveydeksi 500 MHz x km aallonpituudella 1300 nm, tällöin sen maksimi kaistanleveys kilometrin matkalla on 500 MHz. Jos taas matka puolittuu 500 m:iin, maksimi kaistanleveys kasvaa 1 000 MHz:iin. Kaistanleveys on siis sekä suurinta nopeutta että etäisyyttä rajoittava tekijä.

Dispersio (yksimuotokuitu)

Yksimuotokuitujen merkittävin dispersio on kromaattinen dispersio, joka koostuu materiaalidispersiosta ja aaltojohtodispersiosta. Kromaattista dispersiota syntyy, kun valosignaalin sisältämät hiukan toisistaan eroavat aallonpituudet etenevät eri nopeuksilla kuidussa. Dispersion yksikkö on ps/(nm x km). Kromaattinen dispersio on kuidun materiaaliominaisuus, eli sen arvo ei muutu kaapeloinnin aikana.

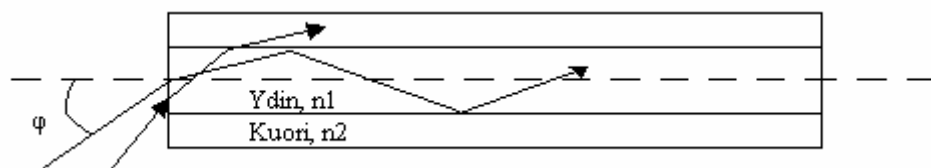
Kromaattisen dispersion lisäksi yksimuotokuidussa esiintyy myös polarisaatiomuotodispersiota, joka johtuu valon etenemisestä yksimuotokuidussa kahdessa eri polarisaatiomuodossa. Nämä eri polarisaatiomuodoissa etenevät valonsäteen komponentit omaavat hiukan erisuuriset nopeudet, mikä näkyy kulku-aikaeroina eli dispersiona.

Raja-aallonpituus (yksimuotokuitu)

”Yksimuotokuidun raja-aallonpituus on aallonpituus, jota pienemmällä aallonpituudella valo ei kyseisessä kuidussa etene yksimuotoisesti, vaan useita muotoja esiintyy.” /5/ Yksimuotokuitu alkaa raja-aallonpituutta pienemmillä aallonpituuksilla muistuttaa monimuotokuitua. Kuitua valittaessa pitää huomioida raja-aallonpituus selvästi pienemmäksi kuin kuidussa käytettävä aallonpituus.

Numeerinen aukko (monimuotokuitu)

Monimuotokuidulle ilmoitetaan yleensä myös numeerinen aukko. Numeerisella aukolla tarkoitetaan valonsäteen suurimman tulokulman sinifunktiota, jolla valonsäde lähtee etenemään kuidun ytimessä. Kuvassa 10 on havainnollistettu tätä tulokulmaa.



Kuva 10 Valosignaalin eteneminen monimuotokuidussa

Numeerinen aukko $NA = \sin\varphi_{\max}$

2.3.3 Valokaapeliverkon rakenne /11/

Valokaapeliverkon rakenne on kuparikaapeliverkon tapaan tähtimäinen. Optimaalisessa liityntäverkossa siirtotie toteutettaisiin pääterasialle asti valokuidulla. Mutta käytännössä verkko toteutetaan kuidun ja kuparin yhdistelmällä tai, kuten valtaosassa liityntäverkkoa, pelkällä kuparikaapelilla. Kuitua käytettäessä, on yhteys toteutettu kuidulla yleensä ensiöjakamoon tai aluejakamoon, loppuosan ollessa kuparikaapelia. Tässä tapauksessa jakamoon joudutaan tuomaan myös aktiivisia laitteita, jolloin jakamon tilat ja sähkönsyöttö voivat muodostua ongelmakohtaksi. Näihin kuidun ja kuparin avulla toteutettuihin arkkitehtuureihin palataan tarkemmin luvussa 4.

Liityntäverkossa käytetyissä valokaapeleissa on yleensä 6–192 kuitua, riippuen tarvittavasta kapasiteetista. Operaattorit käyttävät kuitukaapelointiin pääsääntöisesti yksimuotokuitua, sen parempien ominaisuuksien johdosta. Yksimuotokuitua käytetään mm. keskuksen ja jakamon välisissä, kahden jakamon välisissä sekä suurten toimistotilojen yhteyksissä. Yksimuotokuidulla onnistuu suurienkin taajuuksien siirto useiden kilometrien päähän. Lyhyillä etäisyyksillä, kuten talojen välillä ja kiinteistöjen sisäkaapeloinnissa voidaan käyttää monimuotokuitua.

Jakamoissa kuidut päätetään optisiin paneeleihin tai jakamotelineisiin (ODF, Optical Distribution Frame). Kuidut päätetään paneeleihin tai telineisiin nk. häntäkuidulla ja paneelien tai telineiden väliset kytkennät tehdään erillisellä kytkentäkuidulla, jossa molemmissa päissä on liittimet valmiina.

Yksittäinen kuituyhteys muodostuu kolmesta osasta: lähetin, kuitusäie ja vastaanotin. Lähetin muuntaa sähköisen signaalin optiseen muotoon ja ohjaa sen moduloituna kuitusäikeeseen. Lähettimiä on kolmea tyyppiä: LED-, VCSEL- ja laserlähetin. LED-lähetintä käytetään esim. 100 MBit/s Ethernet-lähiverkoissa, kun taas Gigabit Ethernetissä käytetään laser- tai VCSEL-lähetintä.

Kuitusäikeellä valoalto siirretään vastaanottimelle. Käytettävä kuitukategoria riippuu siirrettävästä tekniikasta ja siirtokanavan pituudesta. Vastaanotin sisältää fotodiodin, joka reagoi valoaltoon ja demoduloi sen takaisin sähköiseksi signaaliksi.

Moduloimalla signaaleja eri aallonpituuksille, voidaan yksittäisen kuitusäikeen kapasiteettia kasvattaa siirtämällä siinä useita signaaleja samanaikaisesti. Tämä tekniikka on nimeltään aallonpituuskanavointi WDM (Wavelength Division Multiplexing).

3 LIITYNTÄVERKON LAAJAKAISTAISET SIIRTOTEKNIIKAT

Laajakaistaliittymä on ”tiedonsiirtoyhteys, joka mahdollistaa tietoverkkojen käytön vaivattomasti”/10/. Tällä hetkellä mm. Euroopan Unionissa, OECD:ssä ja Kansainvälisessä televiestintäliitossa ITU:ssa vallitsee yleinen käsitys, jonka mukaan laajakaistaliittymän miniminopeus on 256 kbit/s. Laajakaistaliittymiksi lasketaan tosin myös satelliitti-GPRS kombinaatiot, joissa paluusuunta voi olla pienempi kuin edellä mainittu 256 kbit/s. Laajakaistaliittymän tiedonsiirtonopeudesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä myötäsunnan nopeutta, eli nopeutta operaattorilta käyttäjälle. Vastaavasti nopeutta käyttäjältä operaattorille kutsutaan paluusuunnaksi. Myötä- ja paluusuunnan nopeuden ollessa yhtä suuria, puhutaan symmetrisestä yhteydestä. Paluusuunnan ollessa myötäsuntaa hitaampi on kyseessä epäsymmetrinen yhteys.

Laajakaistaliittymien määrä on kasvanut vuosikymmenen vaihteen jälkeen merkittävästi. Esimerkiksi Suomessa oli kesäkuussa vuonna 2003 315 000 laajakaistaliittymää ja tällä hetkellä Suomessa on ylitetty yli miljoonan laajakaistaliittymän raja. /10/

Laajakaistaliittymät voidaan jakaa kahteen luokkaan: kiinteät yhteydet ja langattomat yhteydet. Kiinteissä yhteyksissä käytettävistä laajakaistatekniikoista yleisimmät ovat DSL ja kaapelimodeemi. Tässä luvussa käydään lävitse tarkemmin

muutamia tärkeitä DSL-tekniikoita sekä langaton WiMAX-tekniikka. Muista laajakaistatekniikoista esitellään vain lyhyesti langaton WLAN, kiinteistöliittymä HomePNA ja datasähkö.

Lisäksi tarkastellaan ATM- ja Ethernet-tekniikoita, jotka ovat olleet käytössä lähinnä operaattoreiden runkoyhteyksissä (ATM) tai lähiverkoissa (Ethernet). Mutta joista, varsinkin Ethernetistä, voi muodostua valokuitukaapeloinnin lisääntyessä varteenotettava laajakaistatekniikka myös yksityisille asiakkaille.

3.1 DSL-tekniikat

DSL-tekniikalla (Digital Subscriber Line) tarkoitetaan digitaalista laajakaistaista siirtojärjestelmää, joka toimiakseen käyttää hyväkseen liityntäverkon kuparisia puhelinparikaapeleita. Tiedonsiirto tapahtuu perinteistä analogista puhelinliikennettä korkeammilla taajuuksilla. Korkeilla taajuuksilla tapahtuva tiedonsiirto aiheuttaa kuparikaapelissa vaimennusta, asettaen rajoituksia käytetyn kaapelin pituudelle. DSL-tekniikka alkoi kehittyä 1990-luvun puolivälin jälkeen ja yleiseen käyttöön se levisi 2000-luvulla. Tällä hetkellä se on selvästi yleisin laajakaistatekniikka, jonka osuus Länsi-Euroopassa on 71 % kaikista kiinteistä laajakaistayhteyksistä. /10/

DSL-tekniikoiden standardoinnista vastaa useat isot standardointiorganisaatiot, kuten ITU (International Telecommunications Union), ANSI (American National Standards Institute), ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ja IETF (Internet Engineering Task Force). Näistä organisaatioista käytännössä ANSI määrittelee standardit amerikkalaisille, ETSI eurooppalaisille ja ITU globaaleille järjestelmille. DSL-tekniikan jatkokehittäjäksi on perustettu vuonna 1994 DSL-forum. DSL-forum on suuri kansainvälinen yhteenliittymä, jonka jäseniä on lähemmäs 200 eri telekommunikaation aloilta. Joukossa on myös suomalaisia yrityksiä, kuten suuret teleoperaattorit Elisa ja TeliaSonera sekä laitevalmistaja Nokia. /19/

DSL-tekniikoita on olemassa useita ja uusia kehitetään jatkuvasti. Tässä luvussa käsitellään niistä tärkeimmät: ADSL, SHDSL ja VDSL.

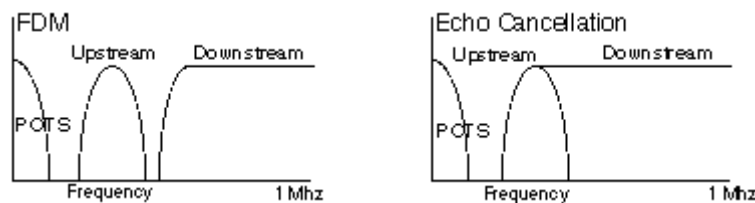
3.1.1 ADSL /20/

Tällä hetkellä käytetyin DSL-tekniikka on ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). Ensimmäisen ADSL-standardin (T1.413) julkaisi ANSI vuonna 1995, jota täydennettiin vuonna 1998. Myöhemmin ETSI muokkasi standardin eurooppalaisille järjestelmille. ITU julkaisi oman ADSL-standardinsa G.992.1 vuonna 1999.

ADSL hyödyntää puhelinverkon normaaleja parikaapeleita, mutta käyttää puhelinliikennettä korkeampia taajuuksia. ADSL-tekniikan paluusuunnassa (upstream) käyttämä taajuusalue on 30–140 kHz ja tämän yläpuolella oleva selvästi suurempi myötäsuunnan (downstream) taajuusalue ulottuu 1,1 MHz:iin. Analogiselle puhelinliikenteelle (POTS, Plain Old Telephone Service) varataan taajuusalue 0–4 kHz, joka mahdollistaa puhelinliikenteen samanaikaisesti ADSL:n kanssa. Yhteyden molemmissa päissä nämä eri signaalit pitää vain erottaa yksinkertaisella alipäästösuodattimella.

ADSL-järjestelmän varatessa paluusuunnalle huomattavasti pienemmän taajuusalueen kuin myötäsuunnalle, on kyseessä epäsymmetrinen yhteys: tiedonsiirtonopeus operaattorilta käyttäjälle (myötäsuunta) on selvästi korkeampi kuin nopeus käyttäjältä operaattorille (paluusuunta). Epäsymmetrinen yhteys soveltuu hyvin tavallisen käyttäjän tarpeisiin, sillä tiedonsiirto on yleensä vähäisempää juuri paluusuuntaan. ADSL-tekniikka mahdollistaa maksimissaan 8 Mbit/s datanopeuden myötäsuuntaan ja 1 Mbit/s datanopeuden paluusuuntaan. Yhteyspituuden lisäksi yhteydellä käytettävä kuparikaapelin tyyppi ja laatu vaikuttavat kuitenkin suuresti millä nopeudella yhteyttä voidaan tarjota. ADSL yhteyden maksimipituus on noin 5,5–6 km.

ADSL:n taajuuskaistan jako myötä- ja paluusuuntaan voidaan tehdä FDM (Frequency Division Multiplexing) tai Echo Cancellation tekniikalla. FDM tekniikka jakaa myötä- ja paluusuunnan toisistaan erillään oleviksi kanaviksi, jotka jaetaan edelleen pienemmiksi alikanaviksi. Echo Cancellation tekniikka jakaa taajuuskaistan myös meno- ja paluukanavaksi, mutta ei erota niitä tyhjällä taajuusalueella vaan asettaa ne päällekkäin. Kanavien sisältö erotetaan vastaanotossa ns. paikallisella kaiunpoistomenetelmällä (Echo Cancellation). Echo Cancellation on monimutkaisempi tekniikka kuin FDM, jota vain harvat laitevalmistajat tukevat. Kuvassa 11 on esitetty FDM ja Echo Cancellation tekniikoiden tekemät kaistajaot sekä POTS:lle varattu kaista.



Kuva 11 FDM ja Echo Cancellation tekniikoiden kaistajaot /20/

ADSL-tekniikan alkuvaiheessa siirrettävän datan koodaukseen käytettiin kahta menetelmää: CAP (Carrierless Amplitude and Phase) ja DMT (Discrete Multitone). Näistä kahdesta DMT on monimutkaisempi mutta samalla tehokkaampi, ja se onkin hyväksytty standardeihin ANSI:n, ETSI:n sekä ITU:n toimesta. DMT-koodaus jakaa siirtotien taajuusalueen useisiin kapeisiin alitaajuusalueisiin. ANSI standardi määrittelee ADSL järjestelmälle 256 alikanavaa myötäsuuntaan ja 32 alikanavaa paluusuuntaan. Alikanavien kaistanleveys on 4,3125 kHz ja taajuusväli kahden kanavan välillä sama 4,3125 kHz. /3/ Alikanavat koodataan käyttäen QAM (Quadrature Amplitude Modulation) koodausta, joka siirtää samalla taajuudella kahta kantoaaltoa, jotka eroavat tiheydessä ja vaiheessa. Taajuuskaistojen sisältämän datan määrää säädelään dynaamisesti, häiriöille altis kanava saa vähemmän dataa kuin hyvälaatuinen. Pahasti häiriöinen kanava voidaan jättää kokonaan käyttämättä ja häiriöiden poistuttua ottaa uudelleen käyttöön.

ADSL2 /23/

Vuonna 2002 ITU julkaisi uuden, ADSL-standardista kehitetyn, ADSL2-standardin 992.3. Uuden standardin myötä saavutettavia parannuksia ovat mm. nopeuden ja yhteysetäisyyden kasvu, dynaaminen yhteysnopeuden säätö, parannettu diagnostiikka sekä mahdollisuus virransäästötilaan.

ADSL2 käyttää edelleen samaa taajuusalueita 0,14–1,1 MHz kuin perinteinen ADSL, mutta mahdollistaa maksimissaan 12 Mbit/s nopeuden myötäsuuntaan ja 1 Mbit/s nopeuden paluusuuntaan. Myötäsuunnan nopeus on saatu kasvatettua tehostetun modulaation ja kanavakoodauksen ansiosta. ADSL2 pystyy myös tarkkailemaan yhteyden laatua ja sovittamaan nopeuden kullekin yhteydelle optimaaliseksi. Pitkillä yhteysväleillä ADSL2 pystyy siirtämään noin 6 % pidemmän matkan kuin ADSL, sekä tarjoamaan 50 kbit/s nopeamman yhteyden. Standardissa on myös määritelty mahdollisuus yhteyden muodostamiseen kahdella parikaapelilla sekä POTS taajuusalueen varaaminen tiedonsiirtoon, jolloin saavutetaan entistä paremmat nopeudet.

ADSL2:n parannetun diagnostiikan ansiosta saadaan linjalta enemmän informaatiota mm. linjan häiriöistä, vaimennuksesta ja S/N-suhteesta. Tietojen avulla yhteydelle pystytään tunnistamaan suurin mahdollinen nopeus, jolla yhteys on mahdollinen.

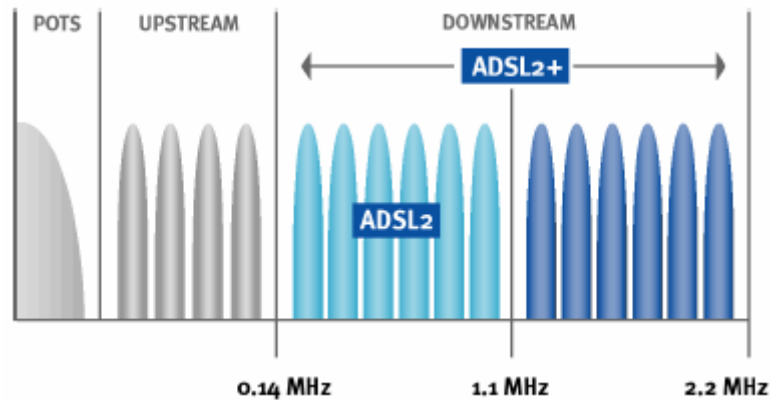
Perinteiset ADSL-laitteet toimivat aina täydellä teholla, riippumatta niissä tapahtuvasta tiedonsiirron määrästä. ADSL2-laitteet pystyvät siirtämään itsensä virransäästötilaan, jolloin niiden tehonkulutus vähenee huomattavasti. Standardissa on määritetty kaksi erilaista virransäästötilaa. Toisessa tehonkulutusta voidaan vähentää, mikäli yhteydellä ei tapahdu merkittävää tiedonsiirtoa. Toisessa laite voi asettaa itsensä ns. sleep mode -tilaan (yhteyden katkeamatta), mikäli käyttäjä ei ole online-tilassa.

Muita merkittäviä ADSL2:n tarjoamia uudistuksia on taajuusalueen jako useaksi taajuuskanavaksi, jolloin eri kanavilla voidaan tarjota eri palveluita. Tämä mahdollistaa esimerkiksi äänen siirron CVoDSL-muodossa (Channelized Voice

over DSL). Merkittävää on myös linjan tunnistuksen nopeutuminen Fast Startup, jolla saadaan yhteyden muodostumisaikaa lyhennettyä ADSL:n 10 sekunnista 3 sekuntiin.

ADSL2+ /23/

ADSL2+ -standardi 992.5 hyväksyttiin ITU:ssa vuonna 2003. ADSL2plus-ratkaisussa myötäsuunnan taajuusalueen ylärajataajuus nousee 1,1 MHz:stä 2,2 MHz:iin kuvan 12 mukaisesti.



Kuva 12 ADSL2+:n taajuusalue

Käytettävän taajuusalueen kaksinkertaistuminen kasvattaa myötäsuunnan nopeutta lyhyillä yhteyksillä. ADSL2plus-tekniikalla voidaan saavuttaa jopa 24 Mbit/s myötäsuunnan nopeus noin 900 metrin yhteyspituuteen ja 20 Mbit/s nopeus 1500 metrin yhteyspituuteen asti. Korkeiden taajuuksien nopea vaimeneminen aiheuttaa sen, että pitkillä yhteyksillä lisätaajuuksien tuoma hyöty katoaa. ADSL2+:n tuomaa nopeuden kasvua voidaankin hyödyntää lähinnä keskittimien läheisyydessä keskusta- ja taajama-alueilla, joissa yhteyspituudet ovat lyhyitä.

Reach Extended ADSL2 /11/

Uusin ADSL2-standardiperheen jäsen on Reach Extended ADSL2, jonka ITU standardoi lokakuussa 2003 (992.3, ADSL2 Annex L). Se kasvattaa ADSL-palvelun kattavuutta häiriöolosuhteista ja nopeudesta riippuen lähes kilometrillä.

Siten palvelun peittoalue kasvaa noin kolmanneksella perinteiseen ADSL-yhteyteen verrattuna.

3.1.2 SHDSL /21/

SHDSL (Symmetric High bit rate Digital Subscriber Line) perustuu ANSI:n standardoimaan SDSL-tekniikkaan (Symmetric Digital Subscriber Line). SDSL on symmetrinen yhteys, joka käyttää 2B1Q-koodausta, mahdollistaen 1,5 Mbit/s datanopeuden. SDSL:stä kehitettiin kansainvälinen SHDSL standardi (ITU 991.2) vuonna 2001.

SHDSL:n myötä käyttöön otettiin 2B1Q-koodausta huomattavasti tehokkaampi TC-PAM-koodaus (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation), joka mahdollistaa datanopeudella 2,3 Mbit/s toimivat symmetriset yhteydet. Maksimi yhteysetäisyys riippuu käytetystä nopeudesta, 2,3 Mbit/s nopeudella saavutetaan 3 km etäisyys. SHDSL-tekniikka mahdollistaa kahden parikaapelin käytön, jolloin yhteyden nopeus kaksinkertaistuu, jolloin voidaan saavuttaa 4,6 Mbit/s symmetrisiä nopeuksia. SHDSL varaa koko siirtoyhteyden taajuusalueen käyttöönsä, eli se ei tue yhtäaikaista analogista puhelinliikennettä.

SHDSL-tekniikka soveltuu hyvin esim. yritysten väliseen tiedonsiirtoon symmetrisen yhteytensä ansiosta.

3.1.3 VDSL /22/

VDSL-tekniikan (Very high bit rate Digital Subscriber Line) tarkoituksena on tarjota erittäin nopeita symmetrisiä ja epäsymmetrisiä laajakaistayhteyksiä lyhyillä yhteyspituuksilla. ITU hyväksyi VDSL-standardin G993.1 vuonna 2004. VDSL-tekniikalla saavutettavia epäsymmetrisiä datanopeuksia eri yhteyspituuksilla on esitetty seuraavalla sivulla taulukossa 1.

Taulukko 1 VDSL-tekniikan datanopeuksia eri yhteyspituuksilla /11/

Etäisyys (m)	Datanopeus myötäsuuntaan/ paluusuuntaan (Mbit/s)
300	50/30
1000	36/12
1500	15/3

VDSL-tekniikka mahdollistaa myös symmetristen yhteyksien käytön, jolloin voidaan saavuttaa jopa 34/34 Mbit/s datanopeus 300 m etäisyydellä.

Näin suuret nopeudet ovat mahdollisia, koska VDSL:ssä käytetään erittäin laajaa taajuusalueita 300 kHz–10/20/30 MHz. Laaja taajuusalue ja tehostettu DMT-koodaus tekevät VDSL-yhteydestä erittäin tehokkaan.

Yhteyspituuksien lyhentymisen myötä lisääntyy tarve fyysisen liityntäverkon kehitykselle. Verkkoa on pilkottava osiin kuitukaapelointia lisäämällä ja tuomalla DSLAM-ratkaisut lähemmäksi tilaajia, jolloin kuparilla toteutetut tilaajayhteydet lyhenisivät, mahdollistaen VDSL-tekniikan laajamittaisen käytön.

3.2 WiMAX /11; 24; 25/

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) tekniikka on langaton teknologia, joka tarjoaa nopean datan laajakaistayhteyksiä pitkilläkin etäisyyksillä. Sen perustana voidaan pitää viime vuosikymmenen puolessa välissä maailmalla esiintyneitä eri teknologioihin perustuneita tuotekehityshankkeita, kuten WLL (Wireless Local Loop) tai FWA (Fixed Wireless Access), joiden tavoitteena oli korvata lankapuhelimen kuparinen tilaajajohto langattomalla versiolla. Vuosituhannen vaihteessa markkinoille tulivat ensimmäiset valmistajakohtaiset langattomat laajakaistaratkaisut. Tällöin alan toimijat näkivät standardoinnin välttämättömäksi, jotta langattomasta vaihtoehdosta tulisi edullinen ja vakavasti otettava teknologiavaihtoehto.

Standardit

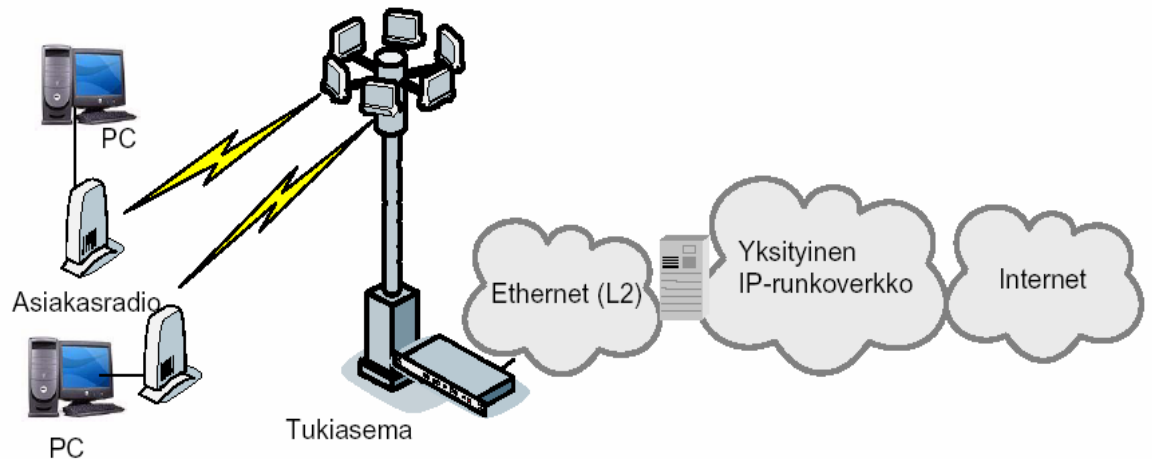
WiMAX on ETSI:n IEEE 802.16 standardeihin perustuva sertifiointimerkintä niille laitteille, jotka täyttävät WiMAX-forumin asettamat yhteensopivuus- ja yhteentoimivuusvaatimukset. Yleisesti sertifiointeista puhutaan vain WiMAX-tekniikkana tai -teknologiana. WiMAX-forum on puolestaan teollisuuden edustajien voittoa tavoittelematon yhteenliittymä, jonka tehtävänä on edistää WiMAX-teknologian käyttöönottoa sekä sertifioida IEEE 802.16 standardin mukaisia laitteita eri toimittajien tuotteiden toimivuuden takaamiseksi. Suomesta forumissa mukana ovat mm. laitevalmistaja Nokia, TeliaSonera sekä TietoEnator.

WiMAX-tekniikkaa koskevat standardit ovat vasta kehitysvaiheessa ja vaikka ensimmäinen standardi onkin jo valmis, on sen WiMAX-sertifiointi vielä kesken. Kehitteillä olevat standardit tuovat selkeitä parannuksia ja uusia tärkeitä ominaisuuksia, kuten tuen liikkuvuudelle sekä parannuksia tilaaja tunnistukseen ja käytön ja hallinnan yhteensopivuuteen. Alla on listattu jo julkaistuja standardeja sekä uusia kehitteillä olevia standardeja.

- Ensimmäinen IEEE 802.16 perheen standardi IEEE 802.16–2001 julkaistiin vuonna 2001. Se määritteli ilmarajapinnan taajuuksille 10–66 GHz.
- IEEE 802.16a-2003 valmistui vuonna 2003 ja se määritteli uuden alikanaviin perustuvan kanavarakenteen ilmarajapintaan taajuuksille 2–11 GHz.
- IEEE 802.16–2004 valmistui vuonna 2004 ja se kokoaa ja korvaa aiemmat IEEE 802.16-standardit. Se on myös ensimmäinen standardi, joka mahdollistaa eri laitevalmistajien tuotteiden käyttämisen samassa verkossa.
- IEEE 802.16e standardoitaneen lähitulevaisuudessa. Se pyrkii määrittelemään liikkuvan tiedonsiirron vaatimat lisäykset sekä mahdollistaa päätelaitteen tunnistamisen lisäksi tilaajan tunnistamisen.
- IEEE 802.16f tulee parantamaan yhteensopivuutta.
- IEEE 802.16g tulee parantamaan liikkuvuutta.

WiMAX-verkon rakenne, kantama ja tiedonsiirtonopeus

WiMAX-verkko koostuu tukiasemasta, asiakaspäätelaitteista ja IP-runkoverkosta. Käytännön langaton laajakaistaverkko on kuvan 13 mukainen.



Kuva 13 Esimerkki langattomasta laajakaistaverkosta /24/

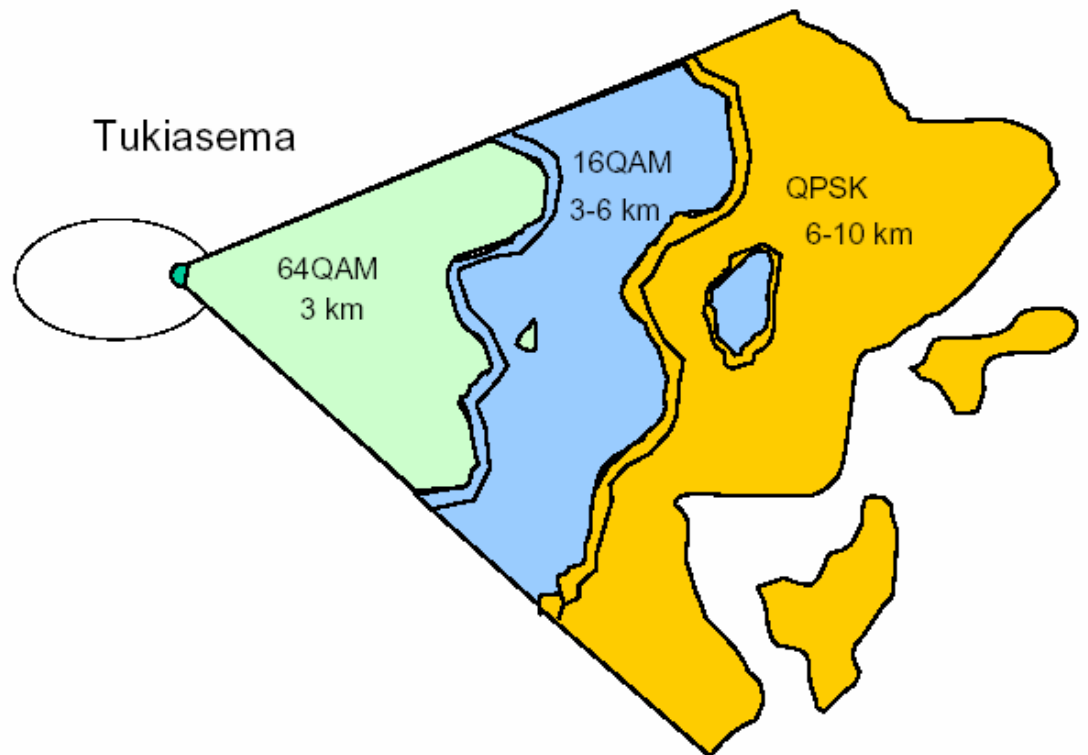
Tärkein verkon suunnitteluparametri on tukiasemien sijoittelu, koska tukiasemien määrä ja sijoittelu vaikuttavat suoraan peittoalueeseen ja kustannuksiin. Asiakaspäässä pitkillä yhteyksillä vaaditaan ulkoantenni ja lähes suora näköyhteys LOS (Line Of Sight) operaattorin radiomastoon. Mikäli radiotien esteetön kulku on osittain estynyt (esim. puusto) käytetään termejä NLOS (Non Line Of Sight), NrLOS (Near Line Of Sight) ja OLOS (Optical Line Of Sight). NLOS termiä käytetään yleisimmin tilanteessa, jossa näkyvyys on tyystin estynyt.

WiMAX-verkon kantama riippuu mm. seuraavista tekijöistä:

- Lähetysteho
- Signaalin vaimentuminen
- Ulkopuoliset häiriöt
- Antennien ja vastaanottimien herkkyys
- Käytetyn modulaation häiriöherkkyys

Kantama heikentyy signaalin vaimentuessa, johon vaikuttavat käytetyn taajuuden, antennien välisten maastoesteiden ja sään aiheuttamat heijastumat. Vaimennusta

voidaan kompensoida kasvattamalla lähetystehoa, mutta koska suurin lähetysteho on säädetty suure, voidaan kantamaa kasvattaa käytännössä vähentämällä maastoesteiden aiheuttamaa vaimenemista parantamalla näköyhteyttä (korkeammat antennit) tai vähentämällä vaimenemisen vaikutuksia (herkempi antenni tai vähemmän häiriöherkkä modulaatio). Kuvassa 14 on esitetty modulaation vaikutusta palvelun kantamaan.



Kuva 14 Käytetyn modulaation vaikutus langattoman palvelun kantamaan /24/

WiMAX tarjoaa teoreettisen 75 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden yhden solun alueella. Nopeus riippuu käytettävissä olevasta taajuuskaistan leveydestä sekä käytettävästä modulaatiosta. Taulukossa 2 on esitetty esimerkkejä taajuuskaistan leveyden ja modulaation vaikutuksesta tiedonsiirtonopeuteen

Taulukko 2 Taajuuskaistan ja modulaation vaikutus tiedonsiirtonopeuteen

Kaistanleveys	QPSK modulaatio	16QAM modulaatio	64QAM modulaatio
3,5 MHz	1,8 Mbit/s	7,4 Mbit/s	11,1 Mbit/s
7,0 MHz	3,5 Mbit/s	14,8 Mbit/s	22,3 Mbit/s
14,0 MHz	7,1 Mbit/s	29,6 Mbit/s	44,5 Mbit/s

Suuremman nopeuden tarjoavat modulointimenetelmät ovat herkempiä häiriöille ja tästä johtuen käytössä lähempänä tukiasemaa. Edellä mainitut nopeudet ovat solun yhteistä kapasiteettia, jonka solussa olevat päätelaitteet jakavat keskenään. Eli myös käyttäjämäärät vaikuttavat yksittäisen käyttäjän käytössä olevaan tiedonsiirtonopeuteen. Solun kapasiteettia voidaan kasvattaa jakamalla se sektoreihin. Esimerkiksi jakamalla 14,0 MHz:n taajuuskaistalla ja 16QAM modulaatiolla toimiva solu kolmeen sektoriin, voidaan päästä yhteensä 88,8 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen.

Tällä hetkellä todelliset maksiminopeudet ovat n. 10–20 Mbit/s sekä myötä- että paluusuuntaan n. 10 km:n etäisyyksillä. Yhteyksiä on muodostettu jopa 50 km:n päähän, mutta tällöin yhteyden pitää olla täysin esteetön ja häiriötön. Käytännössä yhteysetäisyydet ovat n. 5–20 km:n luokkaa.

Tulevaisuus

WiMAX-tekniikka mahdollistaa laajakaistaisen yhteyden toimittamisen alueille, joissa kiinteää liityntäverkkoa ei ole tai yhteydet ovat liian pitkiä. Sillä saadaan yhdistettyä myös helposti WLAN-tukiasemia toisiinsa sekä tulevaisuudessa muodostettua ns. HotSpot-pisteitä liikkuvissa kohteissa, kuten esimerkiksi junat.

Tällä hetkellä markkinoilla on jo WiMAX-tekniikkaan perustuvia päätelaitteita, joissa on integroitu sisäantenni. Näillä päätelaitteilla suora näköyhteys ei ole enää välttämätöntä, jolloin signaalia voidaan vastaanottaa myös ulkoseinien läpi, palvelun kantaman pienentyessä n. 0,5–2 km:n.

Tulevaisuudessa myös kannettavien tietokoneiden emolevyille on tarkoitus integroida WiMAX-siru, samaan tapaan kuin nykyiset WLAN-sirut. Muutaman vuoden päästä yksi kannettava laite voikin käyttää sekä WCDMA:ta, WLANia että WiMAXia.

3.3 ATM /8/

ATM (Asynchronous Transfer Mode) on laajakaistainen tiedonsiirtomenetelmä, jonka etuina ovat lyhyet viiveet ja yhteyden laadun hallittavuus. ATM alkoi 1990-luvun alkupuolella vallata markkinoita. Alussa siitä povattiin yhdistävää tekijää operaattorin ja loppukäyttäjän välille, tarkoituksena hyödyntää sitä sekä työasema- ja tietokone-liitynnöissä että lähi- ja kaukoverkkotasolla. Koskaan se ei saavuttanut kyseistä asemaa, koska päätelaitteiden hinnat ja standardit olivat sekavia ja usein ajasta jäljessä. Siitä muodostui lähinnä operaattoreiden käyttämä tekniikka ja nykyään ATM onkin tehokkaasti käytössä operaattoreiden runkoyhteyksissä. Siirtoteinä käytetään lähinnä valokuitua, mutta myös pari- ja koaksiaalikaapelin käyttö on mahdollista. Toimintatavaltaan se muistuttaa pakettivälitystekniikkaa, mutta on perinteistä pakettivälitystekniikkaa huomattavasti nopeampi.

ATM mukautuu hyvin erilaisiin siirtonopeuksiin muutamasta kilobitistä aina nopeuksiin 622 Mbit/s (– 1,2–2,4 Gbit/s) saakka. Yleisimmät käytetyt nopeudet ovat 155 Mbit/s (ATM 155) ja 622 Mbit/s (ATM622), joita käytetään operaattoreiden runkoverkoissa.

ATM-tekniikan tulevaisuus

ATM on vielä tällä hetkellä runkoyhteyksissä yleisessä käytössä, toimien rajapintana DSL-tekniikan ja runkoverkon välillä. Mutta se on saanut uusia kustannustehokkaita haastajia, kuten Gigabit Ethernetin ja gigabittiluokan IP-reitittimet. Varsinkin lähiverkko tekniikkaan (LAN, Local Area Network) perustuva Ethernet-tekniikka nähdään ATM:n vahvana haastajana.

ATM-yhdysliikenne toimii moitteettomasti ja ATM on operaattoriverkossa käyttövarma ja yksinkertainen tekniikka, joten syy uusien tekniikoiden käyttöönoton harkitsemisessa piilee muissa tekijöissä, kuten ylläpito- ja investointikustannuksissa saavutetuissa säästöissä ja ATM-laitteiden yhä heikommassa saatavuudessa.

3.4 Ethernet-tekniikat

Ethernet-tekniikka juontaa juurensa aina 1980-luvun alkupuolelle asti, jolloin lähiverkkojen yleistyminen alkoi. Vuonna 1985 ilmestyi ensimmäinen standardi 802.3, joka määritteli 10 Mbit/s nopeudella toimivan, CSMA/CD-tekniikkaan pohjautuvan, koaksiaalikaapelilla toteutetun verkon. 90-luvulla Ethernetin käyttöönottoa vauhdittivat optisten ratkaisujen kehittyminen. Siirtokapasiteetin kasvaminen sekä laser-tekniikan kehittyessä saavutettu pitkä kantama mahdollistivat Ethernet-tekniikan läpimurron operaattoriverkoissa vuoden 1995 jälkeen. Nykyään Ethernet on maailman suosituin verkkotekniikka, jota käytetään varsin yleisesti lähiverkoissa ja yhä enenemässä määrin myös operaattoreiden yleisessä viestintäverkossa sekä liityntäverkossa operaattorilta asiakkaalle.

3.4.1 Ethernet-tekniikan yleiskuvaus /8/

Ethernetin käyttö eroaa merkittävästi aikaisemmista siirtoyhteystekniikoista, koska se perustuu aidosti pakettikytkentäisyyteen toisin kuin esimerkiksi SDH tai ATM. Pakettikytkentäisyys tekee Ethernetistä samankaltaisen tekniikan kuin IP-tekniikka, ja tästä syystä Ethernet-tekniikan odotetaan tuovan helpotusta uusien IP-pohjaisten palvelujen tuotteistamisessa ja tarjoamisessa. Ethernet-tekniikkaa voidaan käyttää kahdella eri tavalla (point-to-point, P2P ja point-to-multipoint, P2MP) sovelluksesta tai verkkotopologiasta riippuen. Point-to-point käyttö mahdollistaa tekniikan hyödyntämisen runkoverkossa ja tilaajaliittymissä. Point-to-Multipoint käyttö taas mahdollistaa käytön esimerkiksi lähiverkoissa.

3.4.2 Ethernet-standardit /12; 13; 14; 15/

Ethernetin standardoinnista vastaa IEEE Standards Association (Institute of Electrical & Electronics Engineers). Ensimmäinen Ethernetiä koskeva standardi 802.3 valmistui vuonna 1985, joka määritteli 10 Mbit/s nopeudella, koaksiaalikaapelilla toteutetun lähiverkon. Nykyään standardiin 802.3 on yhdistetty

10 Mbit/s Ethernet, 100 Mbit/s Ethernet ja Gigabit Ethernet standardit. Seuraavassa on käyty läpi tärkeimmät standardit.

10 Mbit/s Ethernet, IEEE 802.3, 802.3a, 802.3i, 802.3j

Ensimmäisissä standardeissa on määritelty 10 Mbit/s nopeudella, koaksiaali-, pari- tai kuitukaapelissa, toimivat lähiverkot. 10 Mbit/s Ethernetissä liikennöintimuoto on nimeltään half duplex, jossa kaksi tai useampi asema jakaa siirtomedian. Jaetun siirtomedian käyttö perustuu CSMA/CD-tekniikkaan (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection), jonka avulla pyritään havaitsemaan törmäykset kuuntelemalla onko kaista vapaana lähetystä varten. 10 Mbit/s Ethernet-tekniikka on käytössä vielä joissain vanhemmissa lähiverkoissa.

Fast Ethernet (100 Mbit/s), IEEE 802.3u

Fast Ethernet oli evoluution toinen vaihe, jonka standardi valmistui vuonna 1995. Kehysrakenne pysyi muuttumattomana, eli se on yhteensopiva 10 Mbit/s tekniikan kanssa. Tärkein uudistus, nopeuden nousun lisäksi, oli full duplex liikennöintimuoto. Full duplex mahdollistaa point-to-point yhteyksissä yhtäaikaista kommunikoinnin siirtotiellä. Fast Ethernet -tekniikka on yleisesti käytössä lähiverkoissa.

Gigabit Ethernet (1000 Mbit/s), IEEE 802.3z, 802.3ab

Gigabit Ethernet -standardi kuitulle julkistettiin 1998 ja parikaapelille 1999. Gigabit Ethernet on yhteensopiva aikaisempien Ethernet-tekniikoiden kanssa. Liikennöinti voi tapahtua sekä half duplex että full duplex tilassa, mutta käytännössä nykypäivän yhteyksissä käytössä on aina full duplex. Gigabit Ethernetiä on käytetty lähinnä runkoverkoissa ja aluekaapeloinnissa. Mutta liikennöinti nopeuksien kasvusta johtuen Gigabit Ethernet on siirtymässä myös lähiverkkojen tekniikaksi.

10 Gbit/s Ethernet, IEEE 802.3ae

10 Gbit/s Ethernet -standardi IEEE 802.3ae julkaistiin kesällä 2002. Se määrittelee siirtonopeuden 10 Gbit/s Ethernet-verkoissa. 10 Gigabitin Ethernet toimii ainoastaan full duplex tilassa, joten CSMA/CD virheiden havainnointia ei enää tarvita. 10 Gigabitin Ethernet säilyttää yhteensopivuuden aikaisempien nopeuksien kanssa (full duplex tilassa), vaikkakin yhteistä alkuperäisen Ethernetin kanssa on vain kehysrakenne.

Taulukossa 3 on esitetty tärkeimmät Ethernet-standardit kootusti.

Taulukko 3 Ethernet-standardeja

Standardi	Nimitys	Siirtonopeus	Kaapelityyppi	Julkaisu- vuosi
IEEE 802.3	10Base5	10 Mbit/s	Koaksiaalikaapeli (paksu)	1985
IEEE 802.3a	10Base2	10 Mbit/s	Koaksiaalikaapeli (ohut)	1988
IEEE 802.3i	10Base-T	10 Mbit/s	Puhelinparikaapeli (2 paria)	1990
IEEE 802.3j	10Base-F	10 Mbit/s	MM-kuitu	1993
IEEE 802.3u	100Base-TX 100Base-T2 100Base-T4 100Base-FX	100 Mbit/s 100 Mbit/s 100 Mbit/s 100 Mbit/s	Parikaapeli, kategoria 5 (2 paria) Parikaapeli, kategoria 3 (2 paria) Parikaapeli, kategoria 3 (4 paria) MM-kuitu	1995
IEEE 802.3z	1000Base-SX 1000Base-LX	1000 Mbit/s 1000 Mbit/s	MM-kuitu MM- tai SM-kuitu	1998
IEEE 802.3ab	1000Base-T	1000 Mbit/s	Parikaapeli, kategoria 5 (4 paria)	1999
IEEE 802.3ae	10GBase-SX 10GBase-LX 10GBase-EX 10GBase-LX4	10 Gbit/s 10 Gbit/s 10 Gbit/s 10 Gbit/s	MM-kuitu (kategoria OM3) SM-kuitu SM-kuitu MM- tai SM-kuitu (WDM)	2002
IEEE 802.3ah	EFM			2004
IEEE 802.3ak	10GBase-CX4	10 Gbit/s	8 parinen twin-axial kuparikaapeli	2004
IEEE 802.3an	10GBase-T	10 Gbit/s	Parikaapeli, kategoria 6 ja 7 (4 paria)	työn alla

Ethernet-standardien kehitys

10 Gigabitin standardi 802.3ae määrittelee siirtomediaksi ainoastaan kuidun. Tämän johdosta IEEE julkaisi vuonna 2004 standardin 802.3ak, joka määrittelee 10GBase-CX4 spesifikaation. Siirtotienä se käyttää kahdeksan parista kuparista twinaxial-kaapelia nopeudella 10 Gbit/s. Siirtoetäisyys spesifikaatiolla on vain n. 15 metriä.

Tällä hetkellä työn alla on standardi 802.3an (10GBase-T), joka määrittelee Ethernetin käytön 10 Gbit/s nopeudella kierrettyssä parikaapelissa. Tavoitteiksi on asetettu vähintään 100 m:n yhteispituus neljällä parilla luokan F (kategoria 7) parikaapelilla ja vähintään 55 m:n yhteispituus neljällä parilla luokan E (kategoria 6) parikaapelilla. /16/

Tulevaisuutta ovat useiden kymmenien gigojen nopeusluokkaa olevat Ethernet-tekniikat. Huhtikuussa 2005 julkaistiin uusi versio maailman suosituimmasta verkkostandardista. Operaattorikäyttöön tarkoitettu Carrier Ethernet on Metro Ethernetin laajennus, jonka nopeus voi olla jopa 40–100 Gbit/s luokkaa. /17/

3.4.3 Ethernet in the First Mile /6; 12/

EFM (Ethernet in the First Mile) on Ethernet-tekniikkaa koko liityntäyhteydellä hyödyntävä liityntäteknikka, jota voidaan käyttää sekä kupari- että kuituliitynnöissä. Kehitystä on koordinoanut IEEE-järjestön alainen EFM-työryhmä. Vuoden 2004 kesällä IEEE julkaisi EFM standardin 802.3ah. Standardissa on liityntäverkkoa varten seuraavat päävaihtoehdot:

- EFM-kupari (EFMC)
 - Olemassa olevaa puhelinverkkoa käyttäen nopeudella 10 Mbits/s etäisyyteen 750 m saakka, perustuen VDSL- standardiin.
 - Olemassa olevaa puhelinverkkoa käyttäen nopeudella 2 Mbit/s etäisyyteen 2700 m saakka, perustuen SHDSL -standardiin.
- EFM-kuitu (EFMF)
 - Yksimuotokuidulla nopeudella 100 ja 1000 Mbits/s etäisyyteen 10 kilometriä saakka.
- EFM-PON (EPON)
 - Passiivisessa optisessa verkossa PON (Passive Optical Network) yksimuotokuidulla nopeudella 1000 Mbit/s etäisyyteen 20 km saakka.

Vaihtoehtoista EFMC ja EFMF edustavat perinteistä tähtimäistä (point-to-point, P2P) topologiaa ja EPON passiivisella jakajalla toteutettua passiivista verkkoa (point-to-multipoint, P2MP). EPON ratkaisuun palataan tarkemmin luvussa 4.

Taulukossa 4 on esitetty EFM liityntäratkaisut ja niiden ominaisuudet.

Taulukko 4 EFM liityntäratkaisut /12/

Nimitys	Datanopeus (Mbit/s)	etäisyys (km)	siirtomedia
2BASE-TL	2	2,7	yksi tai useampi kuparijohdinpari
10PASS-TS	10	0,75	yksi tai useampi kuparijohdinpari
100BASE-LX10	100	10	kaksi yksimuotokuitua
100BASE-BX10	100	10	yksi yksimuotokuitu
1000BASE-LX10	1000	10 0,55	kaksi yksimuotokuitua kaksi monimuotokuitua
1000BASE-BX10	1000	10	yksi yksimuotokuitu
1000BASE-PX10 (PON)	1000	10	yksi yksimuotokuitu
1000BASE-PX20 (PON)	1000	20	yksi yksimuotokuitu

Kuparikaapeleita hyödyntävien ratkaisujen etäisyydet ja nopeudet voivat vaihdella annetuista arvoista, riippuen johdinparien tyypistä ja kunnosta.

Taulukossa ilmoitetut nopeudet ja yhteysetäisyydet ovat suuntaa antavia, ja laitevalmistajakohtaisesti saavutettavat nopeus-etäisyys yhdistelmät voivatkin olla taulukon arvoja parempia: esimerkiksi Cisco toteutti LRE-ratkaisunsa (Long-Reach Ethernet) kuparijohdinparilla jo ennen standardin valmistumista. LRE mahdollistaa siirtoetäisyyden kasvattamisen 1,5 km asti. Symmetrinen siirtonopeus pitkillä etäisyyksillä vaihtelee välillä 5–15 Mbit/s etäisyyden mukaan. Uusimmilla laitteilla päästään jo 50–60 Mbit/s nopeuksiin, etäisyyden ollessa jopa kilometrien luokkaa.

EFM:n suuriin etuihin voidaan laskea mahdollisuus toteuttaa yhteys kokonaan operaattorilta loppukäyttäjälle Ethernet-tekniikalla, jolloin operaattorin verkon hallinta helpottuisi. Samalla saataisiin kuparijohdinparin kapasiteetti DSL-tekniikoita paremmin hyödyksi.

3.5 Muita laajakaistaisia siirtotekniikoita /10; 11/

Datasähkö

Laajakaistainen tiedonsiirto pienjänniteverkossa eli datasähkö (Power Line Communications, PLC) hyödyntää tiedonsiirrossa olemassa olevaa sähköverkkoa. Kuten DSL-tekniikassa, datasähkössä varataan datasiirrolle oma taajuuskaista selvästi sähköverkon vaihtovirtataajuudesta (50–60 Hz) poikkeavalle taajuudelle. Datasähköpalvelussa sähköverkkoja hyödynnetään vain huoneiston sähköpistorasian ja jakelumuuntamon välisellä osuudella. Muuntamolta eteenpäin järjestelmä hyödyntää yleisiä tiedonsiirtoyhteyksiä. Nämä yhteydet sähköyhtiöt vuokraavat tietoliikenneoperaattoreilta.

Tällä hetkellä esimerkiksi Turku Energia tarjoaa laajakaistayhteyttä sähköverkossa Turun alueella. Nopeus vaihtoehtoina on 256/256 kbit/s sekä nopeampi 768/384 kbit/s yhteys.

HomePNA

HomePNA (Home Phonenumber Networking Alliance) on vuonna 1998 perustettu yhdistymä, jonka perustivat joukko elektroniikka-alan yrityksiä. Kiinteistöliittymä on suunnattu käytettäväksi kerros- ja rivitalojen sisäverkoissa, joissa on enemmän kuin yksi käyttäjä. Toteutuksessa kiinteistön jakamoon tuodaan DSL-yhteys, joka jaetaan HomePNA-kytkimellä loppukäyttäjille. Kyseessä on siis jaettu yhteys, eli nopeudet riippuvat yhteyksien käyttöasteesta. Kiinteistöliittymä onkin periaatteessa vain DSL-yhteyden jatke, jolla yhdistetään useita käyttäjiä saman yhteyden taakse.

WLAN

WLAN (Wireless Local Area Network) on paikallisverkko, jossa laajakaistayhteys muodostetaan langattomasti käyttäjän tietokoneen ja tukiaseman välillä. WLAN käyttää IEEE:n standardin 802.11g mukaan taajuutta 2,4 GHz, joka mahdollistaa 54 Mbit/s nopeuden lähellä tukiasemaa. Kauempana tukiasemasta nopeudet ovat

luokkaa 20–30 Mbits/s. WLAN-tekniikassa ei jokaiselle loppukäyttäjälle varata omaa kaistaa, eli kyseessä on jaettu yhteys, kuten HomePNA-tekniikassa.

WLAN-tekniikkaa käytetään esim. DSL-yhteyden viimeisenä osana, yhdistämään tarvittaessa useita loppukäyttäjiä verkkoon. Käytännössä DSL-yhteyden päähän asennetaan langaton tukiasema, johon käyttäjät muodostavat langattoman yhteyden. Tällä hetkellä mm. hotellit, lentokentät ja kahvilat tarjoavat asiakkailleen langatonta yhteyttä verkkoon.

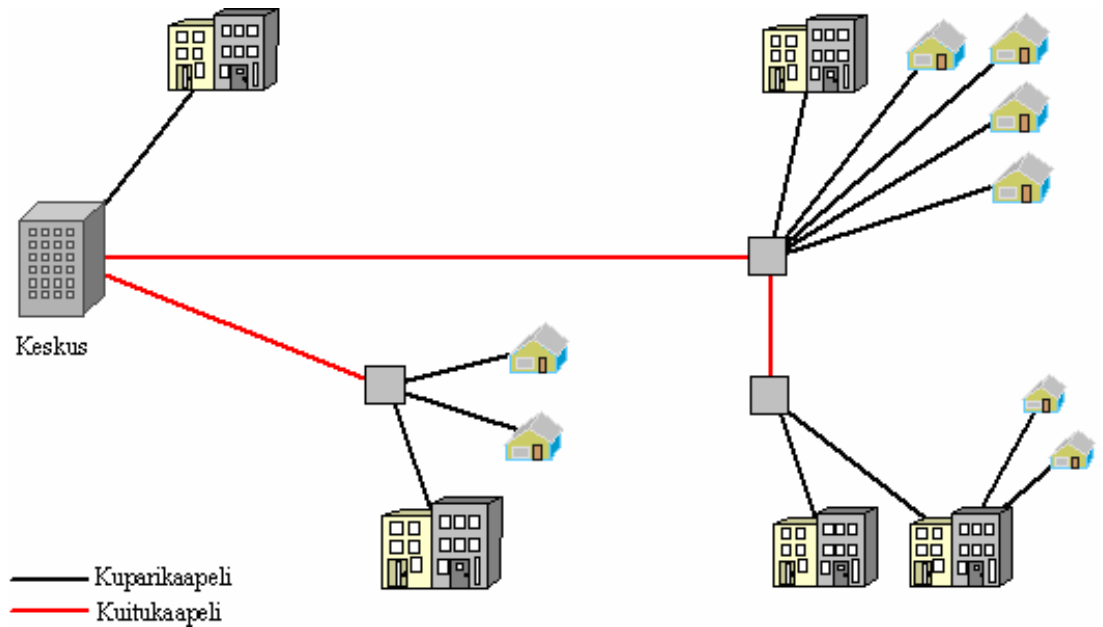
4 LIITYNTÄVERKON OPTISET ARKKITEHTUURIT

Tässä luvussa käsitellään erilaisia liityntäverkon optisia arkkitehtuureja, joilla saadaan vietyä kuitua lähemmäksi loppukäyttäjiä. Tärkeimmät kuituperusteiset yhteysratkaisut ovat:

- FTTC (Fiber to the curb, kuitu kortteliin)
- FTTB (Fiber to the building, kuitu kiinteistöön)
- FTTH (Fiber to the home, kuitu kotiin)
- PON (Passive Optical Network)

4.1 Fiber to the curb, FTTC

FTTC-arkkitehtuurissa kuitu viedään keskukselta alueen keskeiseen ensiöjakamoon, josta eteenpäin hyödynnetään olemassa olevaa kuparikaapeliverkkoa. Tästä arkkitehtuurista voidaan käyttää myös nimeä FTFA (Fiber to the area, kuitu alueelle). Kuvassa 15 on havainnollistettu arkkitehtuurin rakennetta.



Kuva 15 FTTC-arkkitehtuurin rakenne

Tuomalla kuitua lähemmäksi loppukäyttäjää, saadaan kupariverkon osuutta lyhennettyä, jolloin loppukäyttäjille pystytään tarjoamaan parempilaatuisia ja nopeampia laajakaistayhteyksiä. FTTC-arkkitehtuurilla saadaan kupariverkon osuus lyhennettyä noin 2-4 km:iin.

Ensiöjakamosta yhteys on mahdollista viedä loppukäyttäjille nykyiseen tapaan DSL-tekniikalla. Tällöin jakamoihin, joihin kuitu on päätetty, tarvitaan aktiivilaitteita (DSLAM, Digital Subscriber Line Access Multiplexer). Suurin osa ensiöjakamoista täyttävät aktiivilaitteiden sijoittamiseen liittyvät vaatimukset, kuten laitteiden jäähdytys ja tehon syöttö. Mutta osaan jakamoista aktiivilaitteiden sijoittaminen voi tuottaa ongelmia.

FTTC-arkkitehtuuri on vartenotettava vaihtoehto, mikäli verkon kapasiteettia halutaan kasvattaa vähin kustannuksin. Vanhan kupariverkon käyttöaste pysyy edelleen korkeana, jolloin kuparikaapelin käyttämätöntä kapasiteettia päästään hyödyntämään. Ongelmaksihan kuparikaapelin käytössä on muodostunut yhteysetaisyudet, ei niinkään siirtonopeudet. Varsinkin haja-asutusalueilla, joissa vanhan kupariverkon tilaajajohdot voivat olla hyvin pitkiä, FTTC-ratkaisu on hyvä vaihtoehto.

4.2 Fiber to the building, FTTB

FTTB-arkkitehtuurissa valokuitu viedään kiinteistöjen talojakamoihin asti. Kuidut päätetään talojakamoon, josta alkaa kiinteistön omistajan vastuulla oleva kiinteistön sisäverkko.

Jakamosta käyttäjien asuntoihin siirryttäessä käytettävä siirtotekniikka riippuu kiinteistön sisäverkon kaapeloinnista sekä kaapeloinnin kunnosta. Uusissa kiinteistöissä sisäverkko on yleensä toteutettu Cat5-tason yleiskaapeloinnilla, jolloin loppukäyttäjille voidaan tarjota Ethernet-yhteyttä sijoittamalla jakamoon edullinen Ethernet-kytkin. Vanhempiin puhelinparikaapelilla toteutettuihin sisäverkkoihin soveltuu DSL-tekniikoiden käyttö, jolloin jakamoihin joudutaan sijoittamaan digitaalisten tilaajajohtojen päätelaite DSLAM. FTTB-ratkaisu tukee erityisesti ADSL2plus- ja VDSL-tekniikkaa, koska kuparilla toteutettu osuus jää varsin lyhyeksi.

Aktiivilaitteiden sijoittamisessa jakamoihin törmätään väistämättä ongelmiin, joita käsiteltiin jo edellisessä FTTC-arkkitehtuurissa. Kiinteistöjen talojakamot ovat usein varsin ahtaita, sähkönsyöttö puutteellista ja varsinkin rivitalojen jakamot sijaitsevat usein ulkorakennuksissa alttiina ilmastollisille vaihteluille.

FTTB on kannattavaa erityisesti uudisrakentamisessa, kohteiden sijaitessa lähellä keskusta tai olemassa olevan optisen verkon läheisyydessä, sillä kustannukset ovat suurin piirtein samat kuparilla tai kuidulla kaapeloitaessa. Uusissa kohteissa saadaan lisäksi laitetilat rakennettua tarkoituksen mukaisiksi. Vanhan verkon saneerauksessa paras hyöty saadaan paljon käyttäjiä sisältävistä suurista kiinteistöistä. Edelliseen arkkitehtuuriin verrattuna kustannuksia nostaa huomattavasti aktiivilaitteiden suuri määrä ja niistä aiheutuvat ylläpito- ja huoltokustannukset. FTTB-arkkitehtuurissa olemassa olevaa kupariverkkoa ei hyödynnetä käytännössä lainkaan.

4.3 Fiber to the home, FTTH

Tulevaisuuden optinen liityntäverkko yhdistää puhelu-, televisio- ja Internet-palvelut kaikki saman yhteiskäyttöverkon alle. FTTH-arkkitehtuuri tukee tätä ratkaisua, se on tiedonsiirtokapasiteetiltaan tehokkain optisen liityntäverkon arkkitehtuuri, jossa kuitu viedään käyttäjän asuntoon asti.

Valokuidulla toteutetussa verkossa ei ole tarpeen käyttää DSL-tekniikoita, vaan loppukäyttäjälle voidaan tarjota Ethernet-rajapinta, asuntoon päätetyn kuidun ja mediamuuntimen avulla.

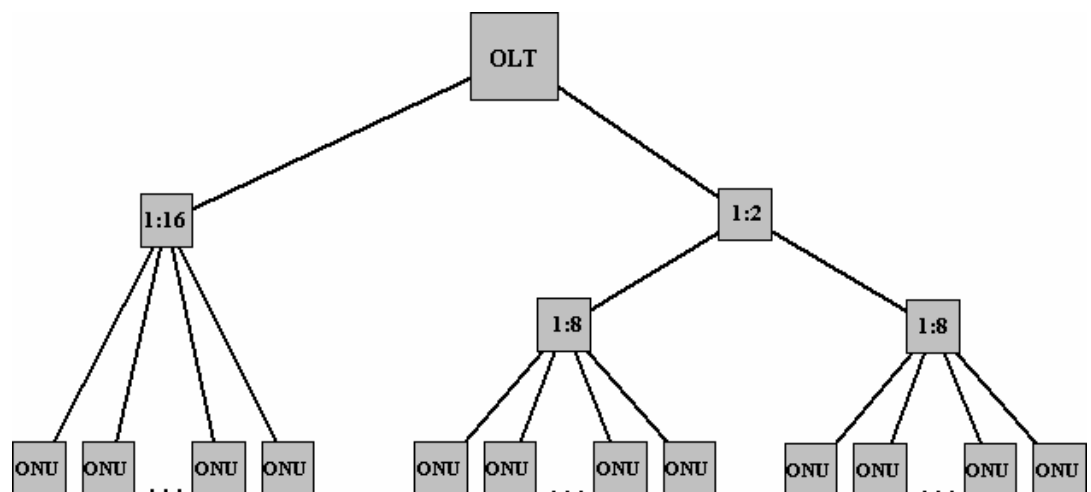
FTTH sopii erityisesti uudisrakentamiseen, jolloin liityntäverkon ja kiinteistön sisäverkon kaapeloinnit voidaan toteuttaa alusta asti kuidulla. Vanhaa verkkoa saneerattaessa kustannukset nousevat huomattavan korkeiksi FTTB- tai FTTC-ratkaisuihin verrattaessa, sillä FTTH ei käytä vanhaa kupariverkkoa lainkaan hyväksi. Verkon saneerauksessa ongelmallisia ovat kiinteistöjen sisäverkot. Sisäverkkojen uusiminen optiseksi on kiinteistöjen omistajien vastuulla, joten useissa kohteissa FTTH-ratkaisua ei voida sisäverkon puutteellisuuden vuoksi toteuttaa.

FTTH-ratkaisu esiintyy usein vaatimuksena tai ennusteena tulevasta laajakaistayhteyksien kehityksestä puhuttaessa. Kuituyhteyttä pidetään tulevana perusratkaisuna ja sen uskotaan voittavan esimerkiksi DSL-ratkaisut. Lähitulevaisuudessa FTTH-ratkaisut saavuttanevat kuitenkin vain lähinnä paikallista merkitystä. Perusteluna voidaan pitää seuraavia tekijöitä:

- FTTH edellyttää kokonaan uuden kiinteän yhteyden rakentamista tilaajakohtaisesti, mikä on merkittävä investointi.
- Olemassa olevien kupariyhteyksien tarjoama potentiaali ei ole vielä läheskään täydessä käytössä.
- Näköpiirissä ei ole sellaisia massapalveluja, jotka vaatisivat vain kuituyhteydellä toteutettavissa olevia datanopeuksia.

4.4 Passive Optical Network, PON /18/

PON ei oikeastaan ole erillinen optinen arkkitehtuuri, vaan se tukee muiden optisten arkkitehtuurien käyttöönottoa. PON-toteutuksella voidaan keskukselta lähtevä yksittäinen kuitu jakaa passiivisilla jakajilla yksittäisiksi kiinteistöille tai korttelijakamoille johdettaviksi kuiduiksi. Passiiviset jakajat eivät tarvitse tehonsyöttöä, kuten aktiivikomponentit. Jakajat eivät myöskään tarvitse ilmastoituja laitetiloja, vaan ne voidaan sijoittaa vaikka maan alle. Passiivisten komponenttien käyttö siirtoyhteydellä tuo merkittäviä säästöjä operaattoreille. Aktiivilaitteita tarvitaan ainoastaan verkon päissä, keskuksella ja loppukäyttäjällä. Kuvassa 16 on esitetty PON-toteutuksen periaatekuva.

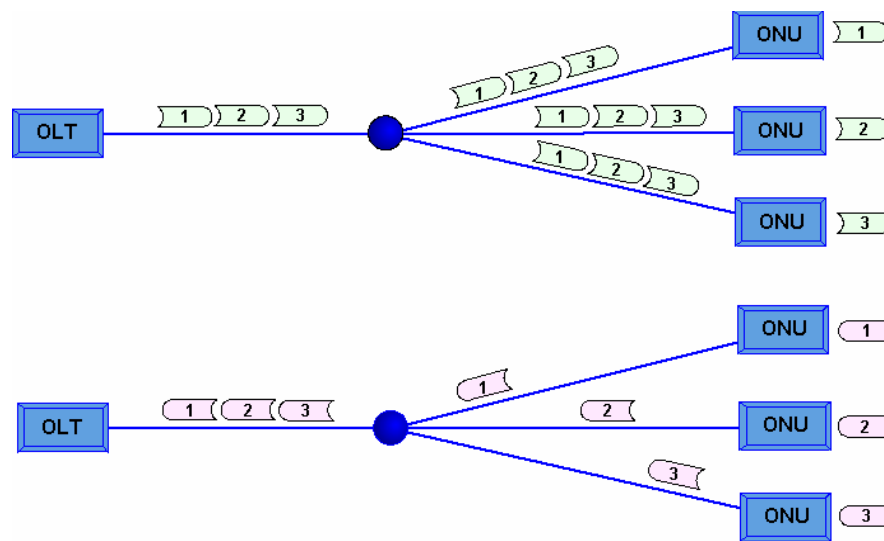


Kuva 16 PON-toteutuksen periaatekuva

PON-järjestelmä muodostuu kolmesta osasta:

- OLT (Optical Line Terminal) sijaitsee keskuksella, hallitsee koko järjestelmän toimintaa.
- ODN (Optical Distribution Network) verkko-osa, sisältäen kuidut ja passiiviset jakajat.
- ONU (Optical Network Unit) sijaitsee järjestelmän loppukäyttäjän päässä.

Kuvassa 17 on havainnollistettu PON-tekniikan eri osia sekä järjestelmän tiedonsiirtoa.



Kuva 17 PON-tekniikan osat ja järjestelmän tiedonsiirto /2/

Myötäsuuntaan tapahtuvassa tiedonsiirrossa OLT lähettää verkkoon dataa, josta jokainen ONU poimii sille lähetetyn datan osoitekenttää vertaamalla. Paluusuunnan tekniikka onkin myötäsuuntaa monimutkaisempi. ONU:t voivat lähettää dataa takaisin verkkoon vain purskeittain tiettyinä ajankohtana. OLT kontrolloi ja jakaa vuorot ONU:lle TDMA-protokollan (Time Division Multiple Access) avulla, jotta törmäyksiä ei pääse syntymään.

PON kehitettiin alun perin ATM-pohjaiseksi FSAN-hankkeen (Full Service Access Network) järjestelmän pohjalta. FSAN koostuu muutamista teleoperaattoreista ja laitevalmistajista. Hankkeen pohjalta ITU standardoi APON-järjestelmän, perustuen ATM:n perusnopeuksiin 155 Mbit/s ja 622 Mbit/s. Myöhemmässä vaiheessa nimi vaihdettiin BPON:ksi (Broadband PON). Nimen vaihdoksella haluttiin viestittää, että järjestelmä ei ollut sidottu vain ATM-tekniikkaan. Uusinta tekniikkaa edustaa toisen sukupolven PON-järjestelmä GPON (Gigabit PON), millä voidaan toteuttaa jopa 2,5 Gbit/s nopeuksia.

PON:sta on kehitetty myös puhtaasti Ethernet-tekniikkaan perustuva järjestelmä EPON (Ethernet based PON). EPON:ia on kehitetty luvussa 3 esitellyssä EFM-työryhmässä (Ethernet in the First Mile), joka on IEEE:n (Institute of Electrical & Electronics Engineers) alainen. EPON:in sisältämä EFM-standardi julkaistiin

vuonna 2004. EPON perustuu Gigabit Ethernet -tekniikkaan, joka tarjoaa jaetun 1 Gbit/s kapasiteetin maksimissaan 20 km:n etäisyyksille. Siten esimerkiksi 50 Mbit/s nopeuden takaamiseksi kapasiteetti voitaisiin jakaa kahdenkymmenen käyttäjän kesken. Yhteydet toteutetaan yhdellä yksimuotokuidulla käyttäen WDM-tekniikka. WDM-tekniikan avulla dataa voidaan siirtää kuidussa yhtä aikaa sekä myötä- että paluusuuntaan. EPON-järjestelmän käyttö perustuu MPCP-protokollaan (Multi-Point Control Protocol), minkä avulla jaetaan käyttäjien päätelaitteiden lähetysvuorot, hallitaan osoitteistus sekä määritellään kaistanleveydet käyttäjille.

PON-järjestelmistä varsinkin EPON omaa hyvät mahdollisuudet kehittyä merkittäväksi vaihtoehdoksi optista verkkoa kehitettäessä, sillä Ethernet on laajalle levinnyt ja varsin yleisesti käytetty siirtoprotokolla myös operaattorikäytössä. Se on myös hyvin tuettu laitevalmistajien puolelta, joka vaikuttaa päätelaitteiden hankinta- ja huoltokustannuksiin.

5 LIITYNTÄVERKON NYKYINEN LAAJAKAISTA KATTAVUUS

Luottamuksellinen

6 HAJA-ASUTUSALUEEN LAAJAKAISTAYHTEYKSIEN TOTEUTUS

Luottamuksellinen

7 YHTEENVETO

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Oy Omnitele Ab, raportti 1998. Kupariverkon ominaisuudet laajakaistaisessa tiedonsiirrossa.
- 2 Vainio, Jarno, Tietoliikennepalvelut optisessa liityntäverkossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Tampere 2005. 59 s.
- 3 Pyhältö, Jari, Nopeat kiinteistökohtaiset datayhteydet. Insinöörityö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Pori 2001. 68 s.
- 4 Oy Omnitele Ab, raportti 1999. Liityntäverkon käytettävyys DSL-tekniikassa
- 5 Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa. Helkama Bica Oy. Tampere 1999. 97 s.
- 6 Optinen kaapelointi kiinteistössä. Teletekno Oy 2004. 115 s.

Sähköiset lähteet

- 7 NK-Klubi Draka Finland. [www-sivu]. [viitattu 12.9.2005]. Saatavissa: <http://www.draka.fi/>
- 8 Viestintävirasto, Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat, 2004. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.9.2005]. Saatavissa: <http://www.ficora.fi/suomi/document/TRaportti072004.pdf>

- 9 Viestintävirasto, Viestintäverkkojen kehitys, 2002. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.9.2005]. Saatavissa: http://www.ficora.fi/suomi/document/Viestintaverkkojenkehitys_raportti.pdf
- 10 Laajakaistainfo. [www-sivu]. [viitattu 15.9.2005]. Saatavissa: <http://www.laajakaistainfo.fi/index.php>
- 11 Liikenne- ja viestintäministeriö, Laajakaistatekniikoiden kehitys 1995–2010, 2004. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.9.2005]. Saatavissa: http://www.lvm.fi/oliver/upl899-53_2004.pdf
- 12 IEEE Standard 802.3. IEEE Standards Association, 2002. 1538 s. [viitattu 22.9.2005]. Saatavissa: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf>
- 13 IEEE Standard 802.3ae. IEEE Standards Association, 2002. 529 s. [viitattu 22.9.2005]. Saatavissa: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3ae-2002.pdf>
- 14 IEEE Standard 802.3ah. IEEE Standards Association, 2004. 640 s. [viitattu 22.9.2005]. Saatavissa: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3ah-2004.pdf>
- 15 IEEE Standard 802.3ak. IEEE Standards Association, 2004. 56 s. [viitattu 22.9.2005]. Saatavissa: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3ak-2004.pdf>
- 16 IEEE 802.3an Task Force. 802.3an Documents: Objectives. [www-sivu]. [viitattu 23.9.2005]. Saatavissa: http://www.ieee802.org/3/10GBT/public/sep03/objectives_1_0903.pdf
- 17 ITviikko-uutinen. [www-sivu]. [viitattu 23.9.2005]. Saatavissa:

<http://www.itviikko.fi/uutiset/uutinen.asp?UutisID=67214>

- 18 The Passive Optical Networks Forum. [www-sivu]. [viitattu 27.9.2005]. Saatavissa: <http://www.ponforum.org>
- 19 DSL Forum Membership List. [www-sivu]. [viitattu 30.9.2005]. Saatavissa:
http://www.dslforum.org/membership/class_listing.html
- 20 ADSL Tutorial. [www-sivu]. [viitattu 30.9.2005]. Saatavissa:
http://www.dslforum.org/aboutdsl/adsl_tutorial.html
- 21 DSL Forum, SHDSL FAQ. [www-sivu]. [viitattu 30.9.2005]. Saatavissa: http://www.dslforum.org/aboutdsl/shdsl_faq.html
- 22 DSL Forum, VDSL FAQ. [www-sivu]. [viitattu 30.9.2005]. Saatavissa: http://www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl_faq.html
- 23 DSL Forum, ADSL2 and ADSL2+ The New ADSL Standards, 2003. [www-sivu]. [viitattu 3.10.2005]. Saatavissa:
http://www.dslforum.org/aboutdsl/ADSL2_wp.pdf
- 24 Viestintävirasto, Langattomat laajakaistaratkaisut, 2005. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.10.2005]. Saatavissa:
<http://www.ficora.fi/suomi/document/TRaportti082005.pdf>
- 25 Smura, Timo, Techno-Economic Analysis of IEEE 802.16a-based Fixed Wireless Access Networks. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Helsinki 2004. 124 s. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.10.2005]. Saatavissa:
http://netlab.hut.fi/u/tsmura/smura_thesis.pdf

LIITTEET

1 Kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmän taajuusmaksun laskenta

Viestintäviraston vuosittain perimä taajuusmaksu lasketaan kaavalla:

$$\text{taajuusmaksu} = K_1 * K_2 * K_6 * B_0 * S * P$$

jossa

- K_1 on taajuusaluekerroin, joka riippuu käytettävästä taajuudesta. Sen suuruus 3,1–10,7 GHz:n taajuusalueella on 0,5.
- K_2 on peittoaluekerroin, joka kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmille on käyttöoikeusalue jaettuna Suomen pinta-alalla.
- K_6 on järjestelmäkerroin, joka määräytyy käytettävän radiolaiteryhmän perusteella. Kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmille kerroin on 0,5.
- B_0 radiotaajuuksien suhteellinen kaistanleveys, joka on käytettäväksi osoitetun taajuusmäärän suhde vertailukaistan leveyteen. kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmille vertailukaistan leveys on 25 kHz.
- S on perusmaksun kerroin, joka kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmille on 0,5
- P on vertailukaistan suuruisen taajuusmäärän käyttöoikeudelle määrätty laskennallinen suure, jota käytetään radiolähettimen taajuusmaksua määrittäessä. Sen suuruus on 1295,5 €.

Esimerkiksi työssä käytetyn kiinteän liityntäverkon radiojärjestelmän taajuusmaksu lasketaan seuraavasti:

taajuusalue 3,5 GHz → taajuusaluekerroin 0,5

taajuuskaista 21 MHz

peittoalue 314 km²

$$0,5 * \frac{314 \text{ km}^2}{304472,54 \text{ km}^2} * 0,5 * \frac{21000 \text{ kHz}}{25 \text{ kHz}} * 0,5 * 1295,5 \approx 140,73 \text{ €}$$