

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Tietoliikennejärjestelmät

2013

Tero Lindholm

# KUITU KOTIIN -VERKOT



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Elektroniikka | Tietoliikennejärjestelmät

2013 | 31

Yliopettaja Juha Nikkanen

Tero Lindholm

## KUITU KOTIIN -VERKOT

Kuitu kotiin -verkko on tietoliikenneverkko jossa kuluttajan asuntoon tuodaan laajakaista-palveluita kokonaan optista kuitua pitkin. Tämä tarkoittaa sitä, että kuituyhteys päättyy huoneiston kuitumuuntimeen, josta verkko on jaettavissa Ethernet-kaapeloinnilla.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin kuitu kotiin -verkon lisäksi muihin liityntäverkkoratkaisuihin kuten kuitu kortteliin FTTC (Fibre to the curb), kuitu rakennukseen FTTB (fibre to the building) ja kuitu asuinalueelle FTTN (Fibre to the node). Lisäksi työssä selvitettiin optisen tietoliikenneverkon rakennetta, sen osia ja verkkotopologioita. Työssä myös tutkittiin passiiviset kuituverkot ja niiden eri tekniikat. Lopuksi kuituverkkojen yleisyyttä selvitettiin suomessa ja ulkomailla sekä pohdittiin niiden tulevaisuutta.

Työn lähdemateriaali koottiin tutustumalla muihin vastaaviin opinnäytetöihin ja tutustumalla alan tietokirjallisuuteen internetissä eri tietokantojen ja hakutoimintojen avulla.

Työ osoittaa, että parhaiten kuitu kotiin -verkkojen toteuttamiseen sopii passiivinen optinen verkko, koska sen avulla voidaan toteuttaa hyvin nopeita laajakaistayhteyksiä.

### ASIASANAT:

Optinen kuitu, kuituverkko, tietoliikenneverkko, kuitu kotiin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Communication Systems

2013 | 31

Instructor: Juha Nikkanen, Lic.Sc.(Tech), Principal Lecturer

Tero Lindholm

## FIBRE FOR HOME NETWORKS

In fibre to the home networks (FTTH) all broadband services and data are delivered entirely via optical fibre. Optical network units convert an optical signal into an electrical signal which can be divided into ethernet cabling.

This Bachelor's thesis first introduces FTTX networks, such as FTTH, FTTB (fibre to the building), FTTC (fibre to the curb) and FTTN (fibre to the node). This thesis then discusses optical network topologies, optical network configuration and components of optical communication network. The thesis also examines passive optical networks and their various techniques. Finally the prevalence of optical fibre networks in Finland and abroad and future of optical networks are examined.

The material for this were exploring other similar theses, and by looking at the literature on the internet in different databases and search functions.

The study shows that the best fibre for home networks is the implementation of a passive optical network, as it can achieve very high-speed broadband connections.

### KEYWORDS:

Optical fibre, optical network, communication network, fibre to the home

# SISÄLTÖ

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2. OPTISET KUIDUT TIEDONSIIRROSSA</b>	<b>2</b>
2.1 Optisen kuidun toiminnan periaate	3
2.2 Optisen kuidun rakenne	4
2.3 Optiset ominaisuudet	7
2.4 Valokaapelirakenne	10
<b>3. LAAJAKAISTAPALVELUT</b>	<b>13</b>
3.1 IPTV	13
3.2 Internet-tv	13
3.3 Kaapeli-tv	13
<b>4. LAAJAKAISTATEKNIIKAT</b>	<b>15</b>
4.1 ADSL	15
4.2 VDSL2	15
<b>5. FTTX-TEKNIIKAT</b>	<b>17</b>
5.1 FTTN	17
5.2 FTTC	17
5.3 FTTB	18
5.4 FTTH	18
<b>6. OPTISEN VERKON RAKENNE</b>	<b>20</b>
6.1 Verkkotopologiat	20
6.2 Valokaapeliverkon osat	21
6.3 Kaapelointi	23
<b>7. PON-VERKOT</b>	<b>25</b>
7.1 BPON	25
7.2 EPON	25
7.3 GPON	25
7.4 WDM-PON	26
<b>8. NYKYTILANNE JA TULEVAISUUUS</b>	<b>28</b>
<b>9. YHTEENVETO</b>	<b>30</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>31</b>

## KUVAT

Kuva 1. Periaatekuva optisesta tiedonsiirrosta.	2
Kuva 2. Snellin laki ja kriittinen kulma.	3
Kuva 3. Kuidun pitkittäisleikkaus.	4
Kuva 4. Eri kuitutyyppeiden toimintaperiaatteet	5
Kuva 5. Optisen kuidun rakenne.	6
Kuva 6. Kuidun vaimennuksen periaatekuva.	8
Kuva 7. Monimuotokuidun kaistanleveys.	9
Kuva 8. Valokaapeleiden sydänrakenteet.	11
Kuva 9. FTTN:n, FTTC:n ja FTTB:n rakennekuva	17
Kuva 10. FTTH:n rakennekuva	19
Kuva 13. Optisen liityntäverkon rakenne.	20
Kuva 14. WDM-PON verkon toimintaperiaate.	26

## TAULUKOT

Taulukko 1. Kiinteän verkon laajakaistaliittymät tekniikoittain	26
---	----

## KÄYTETYT LYHENTEET

ADSL	Assymmetric digital subscriber line, assymetrinen laajakaistatekniikka.
AM	Amplitude modulation, amplitudi modulaatio
ATM	Asynchronous transfer mode, assynkroninen tiedonsiirtoprotokolla
CPE	Customer premises equipment, tilaajapääte
CWDM	Coarse wavelength division multiplexing, leveä aallonpituuskanavointi
DSLAM	Digital subscriber line access multiplexer, monikanavamodeemi
EOC	Ethernet over coax, Ethernet koaksiaalikaapelissa
FM	Frequency modulation, taajuusmodulaatio
FTTA	Fibre to the apartment, kuitu huoneistoon -verkko
FTTB	Fibre to the building, kuitu rakennukseen -verkko
FTTC	Fibre to the curb, kuitu kortteliin -verkko
FTTH	Fibre to the home, kuitu kotiin -verkko
FTTN	Fibre to the node, kuitu asuinaleelle -verkko
HDTV	High definition television, Teräväpiirto-tv
IPTV	Internet protocol television, laajakaista-tv
IR	Infra-puna-alue
NA	Numeerinen aukko
ONU	optical network unit, verkkopääte
P2P	Poit-to-point, pisteestä pisteeseen
P2MP	Point-to-multipoint, pisteestä moneen pisteeseen
PE	Polyeteeni
PMD	Polaarisatiodispersio
POF	Plastic optical fibre, kuidun valmistuksessa materiaalina käytetty akryylimuovi
PON	Passive optical network, passiivinen kuituverkko

SONET	Synchronous optical networking, optinen tiedonsiirtotekniikka
TDM	Time-division multiplexing, aikajakotekniikka
VDSL	Very high bitrate DSL, huippunopea laajakaistatekniikka
VOD	Video on demand, digitaalinen tilausvideo palvelu
WDM	Wavelength-division multiplexing, aallonpituuskanavointitekniikka

# 1. JOHDANTO

Optisen tiedonsiirron kehittyminen ja lisääntyminen on nostanut laajakaistayhteyksien nopeuksia. Varsinkin suurissa kaupungeissa kuituverkko saattaa yltää jo asuinrakennuksiin asti. Kuituverkkoa on helppo jatkaa asteittain esimerkiksi putkitöiden ohella. Tästä syystä tiedonsiirtoverkossa informaatio välittyy osittain kuitukaapelia ja kuparikaapelia pitkin.

Työn tarkoituksen on selvittää erilaisten kuitu kotiin -verkkojen toimintaperiaatteita ja rakenteita. Lisäksi tavoitteena on selvittää, millä eri tavoin verkkoja voidaan toteuttaa ja mitä palveluita niiden avulla voidaan tarjota kuluttajille.

Opinnäytetyössä käsitellään laajakaistapalveluita ja laajakaistatekniikoita. työssä perehdytään FTTX-kuituverkkotekniikoihin sekä optisen liityntäverkon rakenteisiin. Tämän lisäksi työssä käsitellään verkkotopologioita ja valokaapeliverkon osia. Tämän jälkeen perehdytään passiivisiin verkkoratkaisuihin ja tutustutaan TDM- ja WDM-tekniikoihin. Viimeisessä kappaleessa selvitetään kuituliittymien yleisyyttä kotimaassa ja ulkomailla.

Osa käytetyistä lähteistä on vanhentuneita, mutta niissä käsiteltävät perusasiat valokuiduista ja perusteorian valon taittumislajeista ovat edelleen voimassa.

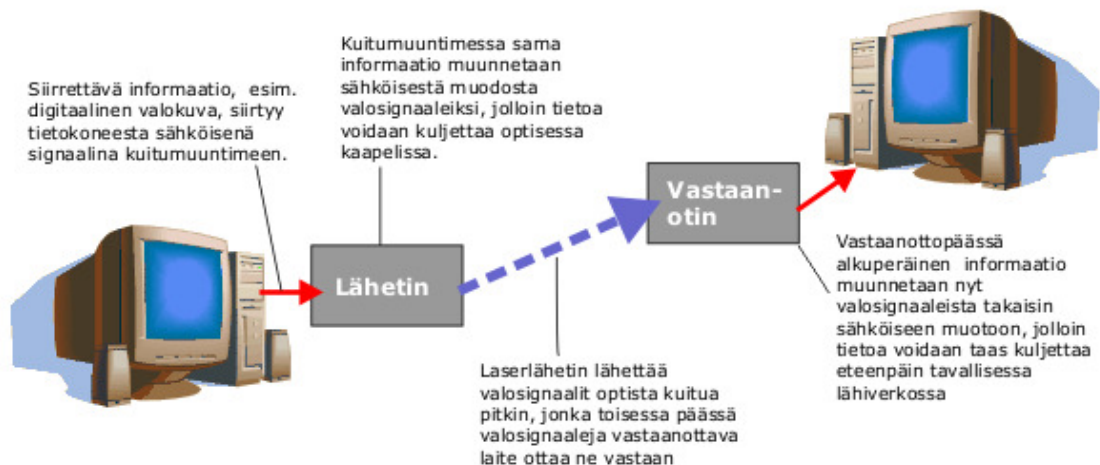


## 2. OPTISET KUIDUT TIEDONSIIRROSSA

Optinen kuitu on kasvattanut tiedonsiirtonopeuksia. Sillä on paljon etuja perinteiseen kuparikaapeliin verrattuna. Kuitu aiheuttaa vähemmän signaalin vaimenemista, eikä se ei ole niin häiriöherkkä kuin kuparikaapelit.

Tietoliikenneverkossa käytettävä optinen kuitu on hyvin ohutta yksimuotokuitua, jossa valonsäde siirtyy heijastumatta vastaanottimeen. Signaalin muoto säilyy lähes muuttumattomana.

Optisessa tiedonsiirrossa informaatio kuljetetaan ensin sähköisesti lähettimen kuitumuuntimeen, josta se siirtyy valosignaalinä kuitua pitkin vastaanottimen muuntimeen (kuva 1).



Kuva 1. Periaatekuva optisesta tiedonsiirrosta. [1]

## 2.1 Optisen kuidun toiminnan periaate

Optisen kuidun toiminnan perustana on valon taittumis- ja heijastuslait kahden aineen rajapinnassa. Valon taittuminen noudattaa Snellin lakia [2]:

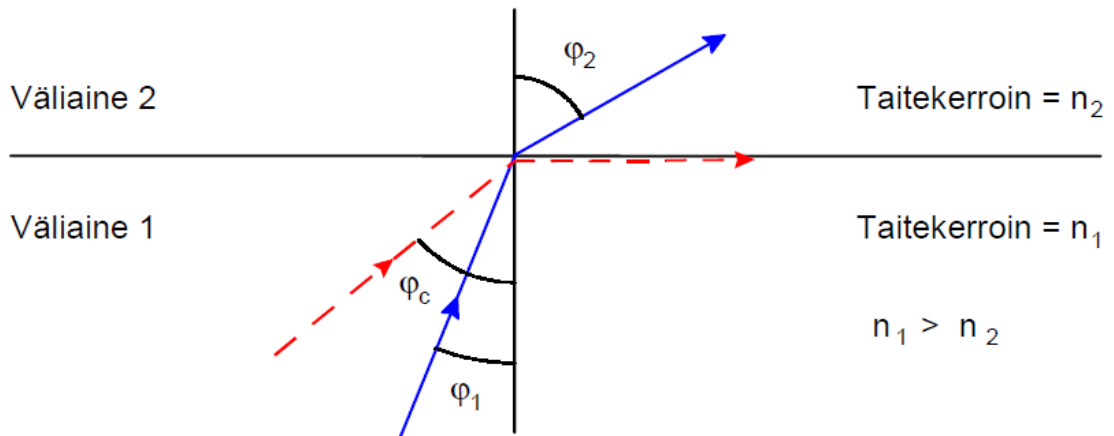
$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2,$$

jossa  $n_1$  = väliaineen 1 taitekerroin

$\varphi_1$  = väliaineen 1 tulokulma

$n_2$  = väliaineen 2 taitekerroin

$\varphi_2$  = Väliaineen 2 lähtökulma



Kuva 2. Snellin laki ja kriittinen kulma. [2]

Kuvassa 2 valonsäde kohtaa kahden taitekertoimeltaan erisuuruisen rajapinnan. Väliaineen 1 taitekerroin on suurempi kuin väliaineen 2 ( $n_1 > n_2$ ). Väliaineesta 1 valonsäde kohtaa rajapinnan normaalin kulmassa  $\varphi_1$ , ja taittuu väliaineeseen 2 muodostaen rajapinnan normaaliin nähden kulman  $\varphi_2$ .

Kriittinen kulma tarkoittaa sitä kulmaa, jossa valonsäde taittuu rajapinnan suuntaiseksi. Kriittinen kulma voidaan laskea kaavalla [2]:

$$\varphi_c = \arcsin (n_2 / n_1)$$

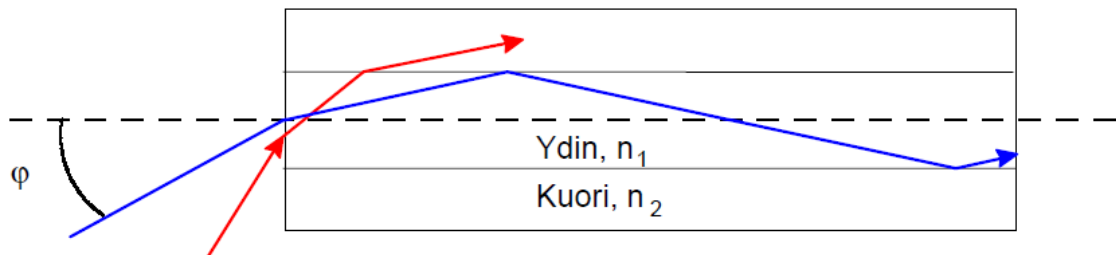
Kokonaisheijastuksella tarkoitetaan ilmiötä, jossa valonsäteen tulokulma  $\varphi_1$  kasvaa niin suureksi, että valonsäde taittuu takaisin väliaineeseen 1 samansuuruisessa kulmassa [2].

Numeerinen aukko tarkoittaa suurinta sinikulmaa, jolla valo etenee kuidun ytimestä eli ytimestä tapahtuu vielä kokonaisheijastuminen (kuva 3). Yleensä ytimen taitekerroin on suurempi kuin kuoren taitekerroin. Numeerinen aukko voidaan laskea kaavalla [2]:

$$NA = \sin \varphi_{max} .$$

Tulokulma lasketaan käyttäen kaavaa [2]:

$$\sin \varphi_{max} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_{ilma}} .$$



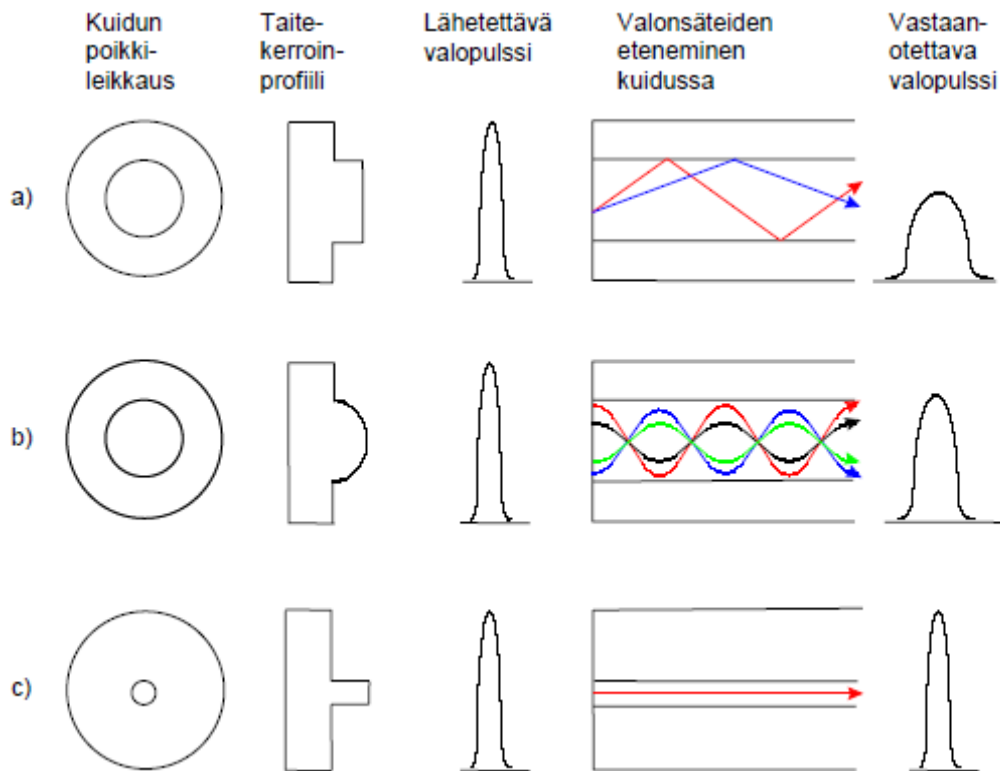
$$\text{Numeerinen aukko } NA = \sin \varphi_{max}$$

Kuva 3. Kuidun pitkittäisleikkaus. [2]

## 2.2 Optisen kuidun rakenne

Optinen kuitu rakentuu kolmesta osasta: ytimestä, kuoresta ja muovipäälysteestä. Valosignaalit etenevät ytimessä, jonka taitekerroin määräytyy käytettävän kuitutyypin mukaan. Kuoren tehtävä on pitää valo kuidun ytimessä. Päälyste tukee ja suojaa kuitua liialta ja kosteudelta. [1]

Kuitutyypit jaetaan yleisesti monimuotokuituihin ja yksimuotokuituihin. Jako perustuu valon etenemistapaan kuidussa. Lisäksi Monimuoto- ja yksimuotokuitutyyppejä on useita, joista tärkeimpiä valon etenemisen kannalta ovat askeltaitekertoiminen kuitu, asteittaistaitekertoiminen kuitu sekä yksimuotokuitu. Kuvasta 4 nähdään, että yksimuotokuidussa signaali säilyttää muotonsa parhaiten ja askelkuidussa signaali on huonoin. [2]



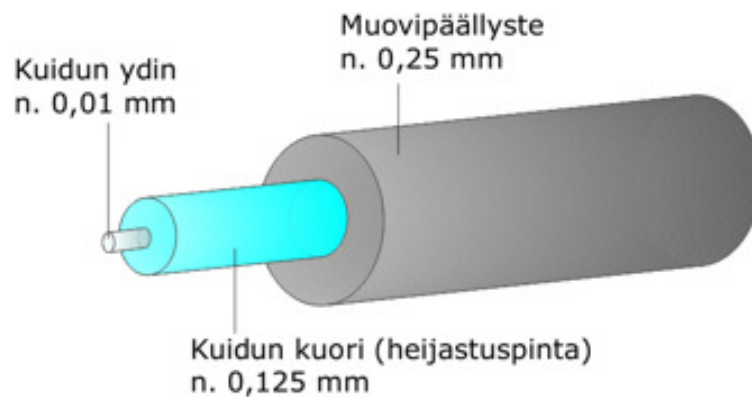
Kuva 4. Eri kuitutyypin a) askeltaitekertoimisen, b) asteittaistaitekertoimisen ja c) yksimuotokuidun toimintaperiaatteet. [2]

Askelkuidussa eli askeltaitekertoisessa monimuotokuidussa valo heijastuu suoraan verrannollisena tulokulmaan, koska ytimen paksuus on selvästi suurempi kuin käytetyn valon aallonpituus. Valo etenee kuidussa valon aallonpituudesta riippuen eri kulmissa heijastellen. Muotodispersiota syntyy koska eri taajuuksilla on eripituinen matka kuljettavanaan. Asteittaistaitekertoisessa monimuotokuidussa syntyy vähemmän

muotodispersiota kuin askelkuidussa, koska valo taittuu vähitellen lähestyttäessä kuorta. [1]:

Yksimuotokuidussa ytimen halkaisija on niin pieni, ettei valon taittumista tapahdu, joten tietyllä aallonpituudella on vain yksimuoto. Tästä syystä vaimennus on merkittävästi pienempi kuin monimuotokuiduissa. Muotodispersiota ei yksimuotokuidussa juurikaan synny, siinä kuitenkin muodostuu erilaista kromaattista dispersiota. [1]

Kuidun ydin ja kuori valmistetaan yleensä samasta materiaalista. Optisen kuidun valmistuksessa käytetään hyvin valoa johtavaa kvartsilasia tai akryylimuovia (POF, plastic optical fibre). Kuvassa 5 esitetyn lasista valmistetun kuidun halkaisija on 0,25 mm. Kuidun ytimen halkaisija on 5  $\mu\text{m}$  – 10  $\mu\text{m}$ , ja kuoren halkaisija on 0,125 mm. Valonlähteenä käytetään laseria jonka aallonpituus on n.1 300 nm tai n.1 550 nm. [1]



Kuva 5. Optisen kuidun rakenne. [1]

Käytössä olevat kuitutyypit suomessa (numerot viittavaat muotokentän tai ytimen ja kuoren halkaisijaan)[2]:

Monimuotokuidut:

50/125  $\mu\text{m}$ , suomalainen merkintä GI

62,5/125  $\mu\text{m}$ , suomalainen merkintä GK

100/140  $\mu\text{m}$ , suomalainen merkintä GN

Yksimuotokuidut:

Standardiyksimuotokuitu (9/125  $\mu\text{m}$ ), merkintä SM, (ITU-T G.652)

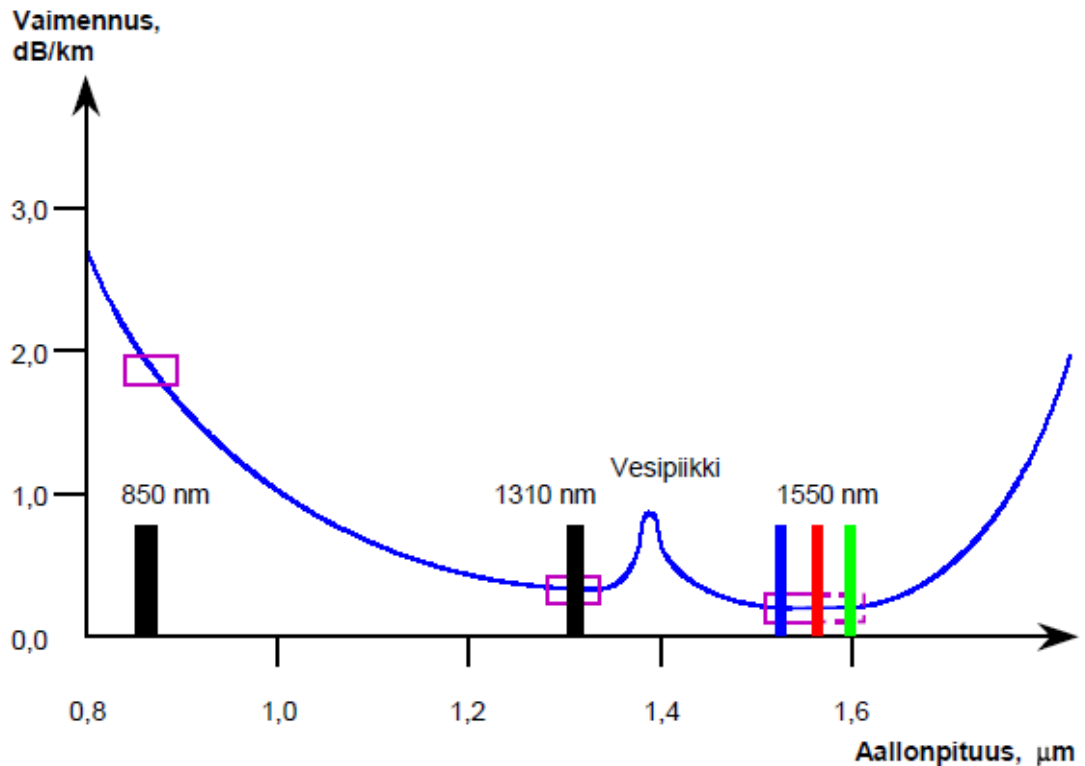
Dispersiosirretty yksimuotokuitu (8/125  $\mu\text{m}$ ), merkintä DS, (ITU-T G.653)

Aikaistetun dispersion kuitu, (ITU-T G.655)

### 2.3 Optiset ominaisuudet

Yksimuotokuitujen ja monimuotokuitujen tärkeimpinä ominaisuuksina voidaan pitää kaistanleveyttä, numeerista-aukkoa, vaimennusta, dispersiota ja raja-aallonpituutta. Yksimuotokuitujen valttina on pieni vaimennus 0,4 dB/km käytettäessä aallonpituutta 1 300 nm. Monimuotokuitujen vaimennukset ovat  $\leq 3,5$  dB/km (GK),  $\leq 2,7$  dB/km (GI) ja  $\leq 4,5$  dB/km (GN). [2]

Vaimennus tarkoittaa valotehon heikkenemistä kuidussa mittayksikköä kohti. Yksikkönä käytetään dB/km. Vaimennus aiheutuu yleensä absorptiosta ja sironnasta. Vaimennusta voivat myös aiheuttaa kuidun liialliset mikro- ja makrotaipumat, vety ja radioaktiivinen säteily. Absorptiolla tarkoitetaan epäpuhtauksien sekä ultravioletialueen (UV):n ja infrapuna-alueen (IR):n aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Sironna perustuu kuidun ominaiskäyrään, joka ilmoittaa vaimennuksen määrän aallonpituutta kohti. [2]



Kuva 6. Kuidun vaimennuksen periaatekuva. [2]

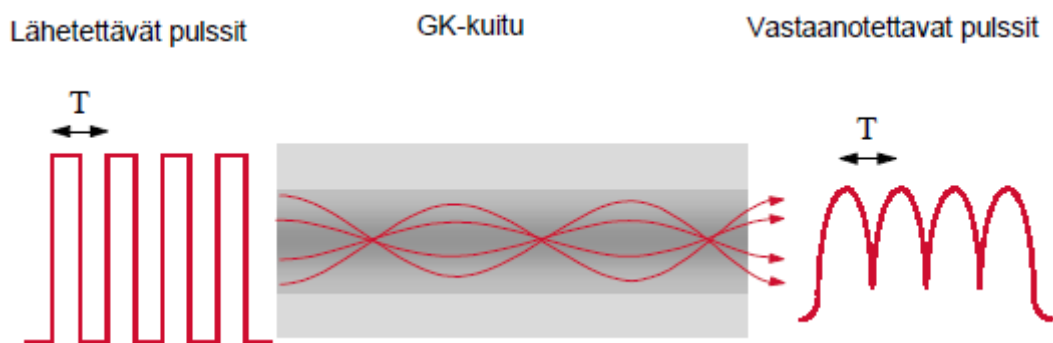
Kuvasta 6 nähdään, että vaimennus on pienimmillään 1 300 nm:n alueella ja 1 550 nm:n alueella. Yksimuotokuituverkoissa käytetään juuri näitä aallonpituuksia tuottavia lasereita. Vaimennus on suurimmillaan alueella 850 nm, jota käytetään monimuotokuiduissa. Vesipiikki johtuu kuitua valmistettaessa siihen jäävistä hydroksidimolekyyleistä. [2]

Yksimuotokuiduissa valon kulkuun vaikuttaa vaimennuksen lisäksi dispersiot. Kromaattinen dispersio aiheutuu materiaali- ja aaltojohdedispersiosta. Tämä näkyy valosignaalin hieman toisistaan poikkeavien aallonpituuksien nopeuden muutoksella. Tämä aiheuttaa vastaanotetun signaalin pienen vääristymisen. Yksikkönä on ps/(nm x km), joka voi olla myös negatiivinen. Positiivinen dispersio tarkoittaa, että lyhyet aallonpituudet etenevät hitaammin kuin pitkät ja negatiivisessa tapauksessa pitkät aallonpituudet etenevät vastaavasti hitaammin kuin lyhyet. [2]

Yksimuotokuidussa vaikuttaa myös polarisaatiodispersio (PMD), jonka merkitys kasvaa vasta, kun siirtonopeudet ovat noin 2,5 Gb/s tai enemmän. PMD johtuu valonsäteen eri polarisaatiomuodoissa etenevistä komponenteista. Tämä aiheuttaa valonsäteille eriaikaisuutta. Kuidun geometria ja jännitystila määrää PMD:n suuruuden, jota on vaikea mitata ja on lähinnä tilastollinen ilmiö. [2]

Raja-aallonpituus tarkoittaa sitä aallonpituutta, jolla valosignaali kulkee vielä yksimuotoisesti. Tämän aallonpituuden alittavien säteiden keskinäiset etenemisnopeudet muuttuvat erisuuriksi jolloin signaali muuttuu monimuotoiseksi. Kytöntäkaapelissa ja häntäkuidussa tulisikin raja-aallonpituuden olla kytöntäkaapelia tai häntäkuitua pienempi raja-aallonpituus, koska nämä ovat pituudeltaan yleensä vain muutamia metrejä. [2]

Monimuotokuitujen ja yksimuotokuidun kaistanleveydellä tarkoitetaan siinä siirrettävän signaalin suurinta mahdollista taajuutta tietyllä matkalla. Kaistanleveys riippuu käytettävästä aallon pituudesta ja se ilmoitetaan yksikössä MHz x km. Kaistanleveys on sekä suurinta nopeutta että etäisyyttä rajoittava tekijä. Esimerkiksi jos käytettävän kuidun kaistanleveydeksi ilmoitetaan 500 MHz x km 1 310 nm aallonpituudella, on suurin siirrettävä taajuus kilometrin matkalla silloin 500 MHz. Suurin siirrettävä taajuus vastaavasti kasvaa kaksinkertaiseksi eli 1 000 MHz:iin, jos etäisyys puolittuu 500 m:iin. Monimuotokuiduissa rajallinen kaistanleveys johtuu muotodispersiosta ja kromaattisesta dispersiosta. [2]



Kuva 7. Kaistanleveyden merkitys monimuotokuidussa. [2]



Kuva 7 esittää tilannetta, jossa pulsseja lähetetään ajan  $T$  välein GK-kuituun, joka on yleinen monimuotokuitu. Pulssit levenevät ja vaimenevat kuidussa. Niiden tunnistus epäonnistuu jos pulssit levenevät liikaa. Ajan  $T$  onkin oltava riittävän suuri, jotta pulssien leveneminen ei haittaisi liikaa niiden vastaanottamista eli pulssien toistotaajuus ( $f = 1/T$ ) ei saa olla liian suuri. [2]

## 2.4 Valokaapelirakenne

Valokaapeli koostuu yksittäisistä kuiduista, ensiöpäällysteestä, täyteaineesta, tukirakenteesta ja toisiopäällysteestä. Kaapelirakenteella on erittäin vaativa tehtävä, koska sen on suojattava kuituja monilta ympäristökijältä kymmeniä vuosia siirto-ominaisuudet säilyttäen. Kaapelirakenne onkin valittava hyvin tarkasti sen vaatimuksien mukaisesti. Valokaapelin vaatimukset voidaan jakaa kuitujen suojauksen, sydänrakenteen, täyteaineen, mekaanisen rasituksen ja vaipan mukaan. [2]

Kuitujen suojaus valitaan valokaapelin käyttöalueen ja käyttöympäristön mukaan. Kaapelin käyttöalue on jaoteltu kolmeen eri luokkaan: vesistöihin, sisä- ja ulkokäyttöön tarkoitettuihin kaapeleihin. [2]

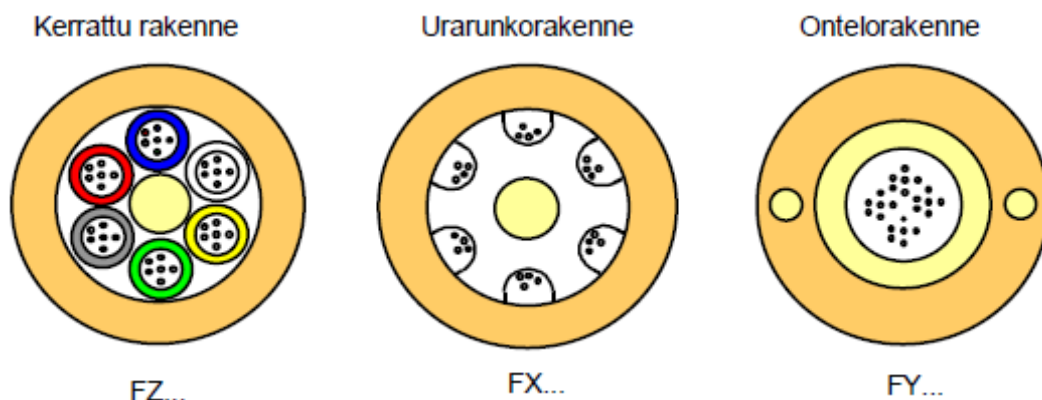
Sisäkaapeleilla vaatimukset kohdistuvat paloturvallisuuteen ja asennukseen. Sisäasennuksessa kaapeleiden täytyy olla kuivia (ei rasvatäytettä) ja helposti asennettavia hankaliinkin paikkoihin. Paloturvallisuuden vuoksi kaapelin vaipan on oltava itsestään sammuvaa. Kuitu täytyy myös valmistaa halogeenittomasta ja vähän savuavasta muovista. [2]

Ulkokaapeleiden vaatimukset taas koskevat mekaanista kestävyyttä ja sääolosuhteiden kestävyyttä. Kaapelin on siis oltava mekaanisesti kestävämpää kuin vastaavan sisäkaapelin ja kestävä käsittelyä ulko-olosuhteissa. Ulko-olosuhteissa kaapelin täytyy kestää mm. auringon valoa, vaihtelevia lämpötiloja sekä kosteutta. Vesistöissä kaapeleiden täytyy myös kestää hankauksesta ja vetämisestä aiheutuvaa rasitusta sekä vedenalaisia painetta. Vesistökaapeleiden vedenalaisen paineen kesto vaatimus on 100 kPa jokaista 10 m:ä kohti. Esimerkiksi Helkaman valmistamilla ulkokaapeleilla FXOMU ja

FXOVDMU lämpötilavaatimukset ovat asennuksessa  $-15\text{ °C}$  ja käyttöalue  $-45\dots+70\text{ °C}$ . Metallittomalla FXOMU-kaapelilla vetolujuus on  $1\,750\text{ N}$  ja puristuslujuudet ovat  $7\,000\text{ N}$  (100 mm laatta) sekä  $1\,000\text{ N}$  (25 mm sauva). Poimutetulla teränauhalla suojatulla FXOVDMU-kaapelilla vetolujuus on  $2\,500\text{ N}$  ja puristuslujuudet ovat  $7\,000\text{ N}$  (100 mm laatta) sekä  $1\,500\text{ N}$  (25 mm sauva). [2, 3, 4]

Täyteaineena käytetään ulkokäyttöön tarkoitetuissa kaapeleissa rasvaa tai geeliä kuitujen suojaamiseksi vedeltä ja kosteudelta. [2]

Tukirakenne voi olla kerrattu, uraputki tai ontelorakenne. Kerrattu rakenne tarkoittaa, että kaapelin keskellä on muovitanko, jonka ympärille toisiopäälystetyt kuituryhmät tai kuitu ovat kerrattu keskitetysti tangon ympärille. Kuitujen toisiopäälysteen jäykkyys määrää myös koko kaapelin jäykkyyden. Uraputkessa ensiöpäälystetyt kuidut kulkevat kaapelissa keskitangon uria pitkin. Etuna on hyvä puristuslujuus, kuitujen helpompi jakaminen ja niiden päättäminen. Ontelorakenteessa ensiöpäälystetyt kuidut ovat jaoteltu vapaasti putken sisään. Vetoelementit voivat olla myös ontelorakenteen ulkopuolella, kuten kuvassa 8. [2]



Kuva 8. Valokaapeleiden sydänrakenteet. [2]

Vaippa pitää kaapelirakenteen tukevana ja suojaa kuitusydäntä. Ulkokaapeleiden vaippa on yleensä polyeteeniä (PE), jonka

aurionvalokestävyys saadaan lisäämällä siihen hiilimustaa. Tämä antaa vaipalle tyypillisen mustan värin. [2]

## **3. LAAJAKAISTAPALVELUT**

### **3.1 IPTV**

IPTV eli laajakaistatelevisio on tavallista televisiota laajempi palvelu, joka välitetään kuluttajalle IP-verkon kautta. Tämän ohella operaattori voi tarjota nopean laajakaistaliittymän ja tilausvideopalvelun. IPTV:n tarjoamia ominaisuuksia ovat mm. VOD (Video On Demand) eli tilausvideopalvelun avulla kuluttaja voi katsoa elokuvia silloin kun hänelle sopii ja sisältää toiminnon jolla televisio-ohjelman voi keskeyttää ja jatkaa katselua keskeytyskohdasta myöhemmin. [5]

IPTV:n etuna on monipuolisempi palveluvalikoima kuluttajalle ja yksinkertaisempi palveluihin pääsy ja ohjaus kotipääätteeltä. Operaattorista riippuen vastaanottoon tarvitaan vain sopiva digiboksi, maksukortti, maksukortinlukija ja tv. Palvelun tarjoajat ja verkko- operaattorit voivat IPTV:n avulla luoda uusia liiketoimintamalleja. [5]

### **3.2 Internet-tv**

Internet-tv:llä tarkoitetaan avoimen internetverkon yli saatavilla olevaa palveluntarjontaa esim. YLEn Areenaa. Vastaanottoon tarvitaan PC, pelikonsoli tai matkapuhelin. Täysin sulava HD-laatuinen internet-tv saavutetaan kuitenkin vasta nopeammilla laajakaistaliittymillä. Perusnopeudet (1 – 2 Mbit/s) riittävät hyvin SD-tasoisten ohjelmien katseluun. [6]

### **3.3 Kaapeli-tv**

Kaapeli-tv-verkoissa valokaapeleita käytetään erikoisrunkoverkoissa, runkoverkoissa ja haaraverkoissa. Siirtojärjestelmät ovat joko AM-järjestelmiä, FM-järjestelmiä tai digitaalisia järjestelmiä. AM-järjestelmät on suosituin vaihtoehto yksinkertaisen tekniikkansa ansiosta. Järjestelmällä voidaan

saavuttaa 40 km – 50 km yhteispituus, kun koaksiaalitekniikalla saavutetaan vain 10 km:n yhteispituus. [2]

## 4. LAAJAKAISTATEKNIIKAT

Operaattoreiden tarjoamien uusien viihdepakettien jakelu onnistuu vain tietyillä jakelutekniikoilla. Erilaiset videotilauspalvelut ovat nostaneet kaksisuuntaisten jakelutekniikoiden vaatimuksia. Kaapelimodeemeissa jopa sadat modeemit käyttävät samaa taajuusaluetta tiedonsiirtoon. Tavanomaiseen internet – käyttöön ne kuitenkin soveltuvat, kun tietoa siirretään vain ajoittain. [6]

Parhaiten erilaisten IPTV-palveluiden jakoon soveltuvat optiset kuidut, koska niillä pystytään takaamaan videon ja äänen vaatima suuri jatkuva kaistanleveys. [6]

DSL-tekniikan avulla voidaan parikaapelissakin siirtää dataa kaapelin pituudesta riippuen jopa 200 Mbit/s. DSL-tekniikoille yhteistä on nopea datasiirto ja monikantaaltoisten modulaatioiden käyttö. Tyypillisesti signaalin välitykseen käytetään tuhansia kantaaltoja. [6]

### 4.1 ADSL

Nykyisin laajemmassa käytössä olevat ADSL-tekniikat kehitettiin alun perin videosignaalien siirtoon datanopeuden ollessa korkeintaan 8 megabittiä sekunnissa. Assymmetric Digital Subscriber Line eli lyhyesti ADSL tarkoittaa, että lähetys- ja latausnopeus ei ole samansuuruinen. Yleensä lähetysnopeus voi olla selvästi hitaampi kuin latausnopeus. ADSL:n kehityimmät versiot ovat ADSL2 ja ADSL2+. Näissä tiedonsiirtonopeutta on pystytty nostamaan 20 megabittiin sekunnissa. [6]

### 4.2 VDSL2

VDSL (Very High Bitrate DSL) on kehittynein laajakaistatekniikka. Se kehitettiin juuri HDTV- ja videotilauspalveluja varten. Tavoitteena oli pystyä siirtämään samanaikaisesti 3 HDTV-ohjelmaa parikaapelissa. VDSL2 käyttää datasiirtoon menetelmää, jossa jokaisen kantaallon modulaatio määräytyy hetkellisesti sen

mukaan, kuinka hyvin kyseinen kantaalto etenee puhelinjohdossa. Häiriöisellä taajuudella signaalia moduloidaan karkeasti, ja vastaavasti häiriöttömillä taajuuksilla taas hyvin monitasoisesti. VDSL2:n avulla voidaan saavuttaa jopa 200 Mbit:n/s. Nopeus on saavutettu lisäämällä kantaaltojen määrää. Joissain profiileissa voidaan käyttää 30 MHz:n taajuuskaistaa ja yksinkertaisimmissa vain 8 MHz:n kaistaa. VDSL2 on myös taaksepäin yhteensopiva ADSL:n kanssa. [6]

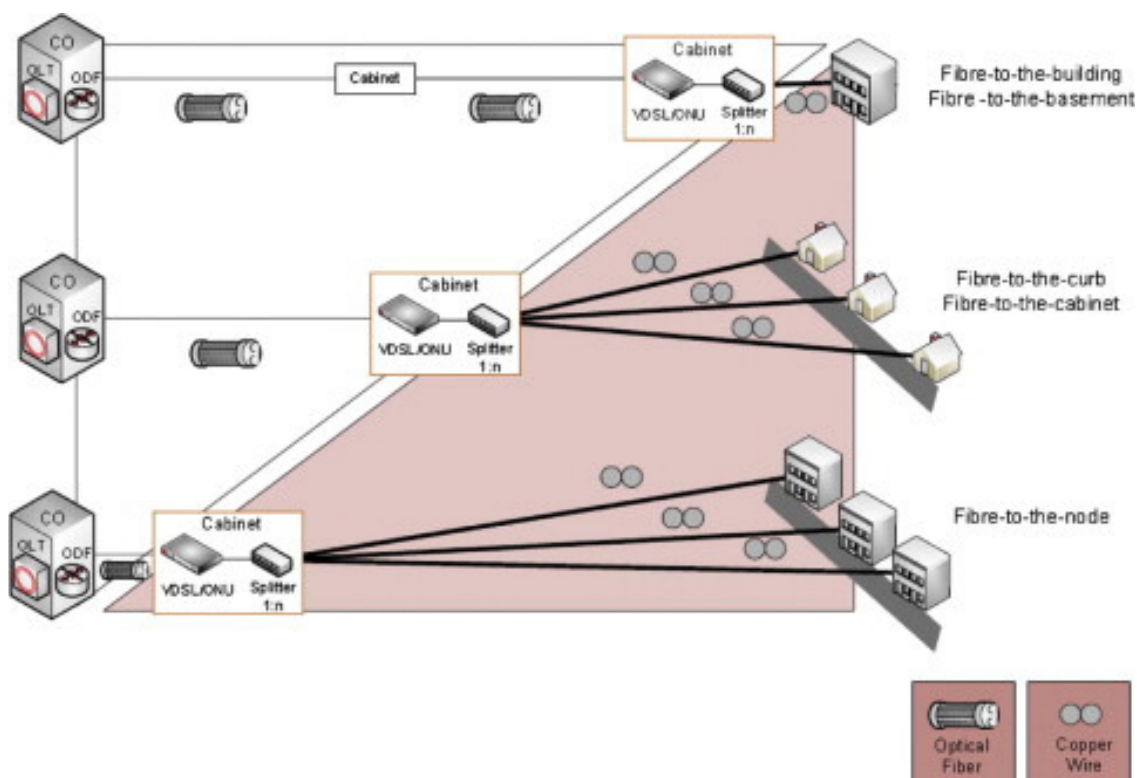
## 5. FTTX-TEKNIIKAT

### 5.1 FTTN

Fibre to the node (FTTN) (Kuva 9) tarkoittaa verkkoa, jossa kuitu yltää asuinalueelle asti. Tästä verkko jatkuu kuparikaapeloinnilla asiakkaalle. Yleensä kyseinen solmupiste sijaitsee 1 500 m etäisyydeltä asiakkaasta. FTTN pystyy tarjoamaan IPTV-, HDTV- ja videotilaspalveluille riittävän yhteyden. [7]

### 5.2 FTTC

Fibre to the curb (FTTC) (Kuva 9) tarkoittaa verkkorakennetta, jossa kuitu yltää 300 m:n etäisyydelle tilaajasta. Tilaajille yhteys voidaan toteuttaa koaksiaalikaapeleilla tai parikaapeleilla. Rakennetta käytetään uusissa kiinteistöjä rakennettaessa. [7]



Kuva 9. FTTN:n, FTTC:n ja FTTB:n rakennekuva.[8]



### 5.3 FTTB

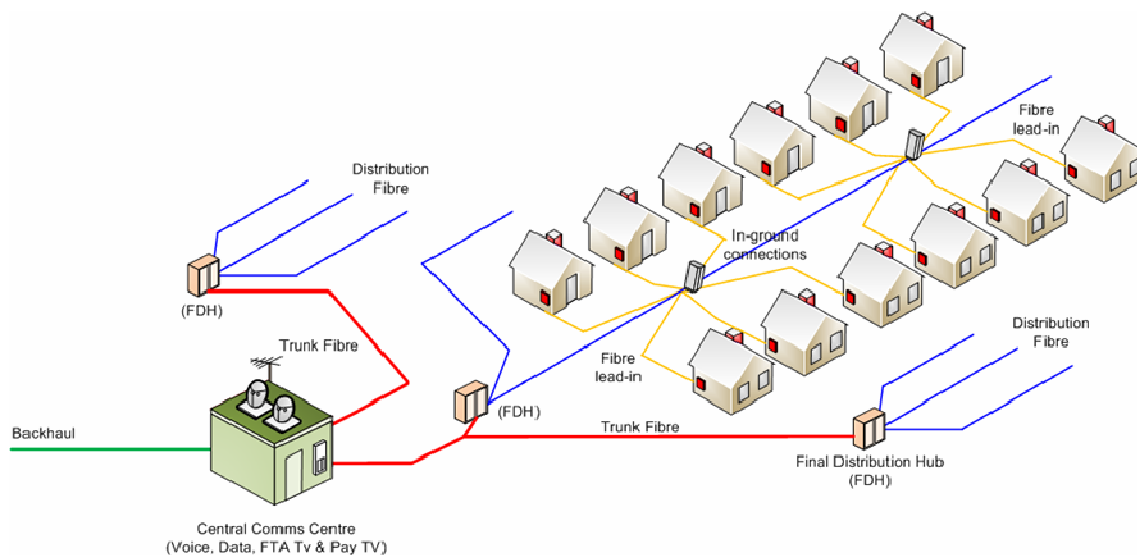
Kun valokaapeliyhteys ylittää rivi- tai kerrostalossa kiinteistöön asti, puhutaan Fibre To The Building (FTTB) -rakenteesta (kuva 9). Rakennusvaiheessa voidaan huoneistoihin varata putket kuitukaapelille huoneistoon asti. Tällä tavalla FTTB voidaan myöhemmin päivittää FTTA:ksi (fibre to the apartment), jossa kuitukaapelointi jaetaan huoneiston omaan optisen kuidun pistorasiaan. Vanhoissa kiinteistöissä voidaan monilla eri tavoilla tuoda kuituyhteydellä tuotu laajakaista asuntoon asti. Siirto voidaan toteuttaa olemassa olevilla yhteisantenni-, Ethernet- tai puhelinparikaapeloinnilla. Jos kiinteistössä on jo Ethernet-kaapelointi valmiina, ei tällöin tarvita erillisiä XDSL-modeemeja huoneistoihin. Laajakaistayhteys voidaan huoneistossa jakaa laitteiden kesken langattomalla WLAN-tukiasemalla tai langallisella reitittimellä. [7, 6]

Helpoin tapa toteuttaa laajakaistajakelu taloyhtiössä antenniverkon avulla on, jos verkkorakenne on tähtimäinen eli jokainen antennirasia on liitetty suoraan antennivahvistimeen omalla kaapelilla. Tällöin huoneistoissa tehtävät asennustyöt rajoittuvat antennipistorasioiden vaihtamiseen. Pistorasiasta löytyy Ethernet-liitäntä ja radio/tv -signaaleille tarkoitetut liittimet. Talojakamon EoC-sovittimen avulla signaali muokataan antenniverkolle sopivaksi. Siirto tapahtuu kantataajuudella, alle 88 MHz:n taajuudella häiritsemättä TV- ja radiolähetysten vastaanottoa. Kun jakoverkkona käytetään parikaapelointia, tarvitaan huoneistoissa DSL-modeemit. Modeemit kytketään huoneistossa puhelinpistorasiaan. Talojakamoon tarvitaan kuitumuuntimen lisäksi DSLAM-modeemi. [6]

### 5.4 FTTH

Fibre to the home (FTTH) (Kuva 10) rakenteessa optinen kuitu ylittää kotitalouteen asti. Yhteydellä saavutetaan jo erittäin suuret datanopeudet. FTTH:n suosio on kasvanut kuitukaapeloinnin kustannusten laskettua kuparikaapeloinnin tasolle. Valokaapeli tuodaan lankapuhelinliittymän tavoin

sille varattuun koteloon. Kotelon on oltava riittävän suuri, jotta optinen verkkopääte laite mahtuisi sen sisälle. Siihen liitetään kuitumuunnin, jolla laajakaistapalvelut voidaan siirtää sähköisesti eteenpäin. [6]

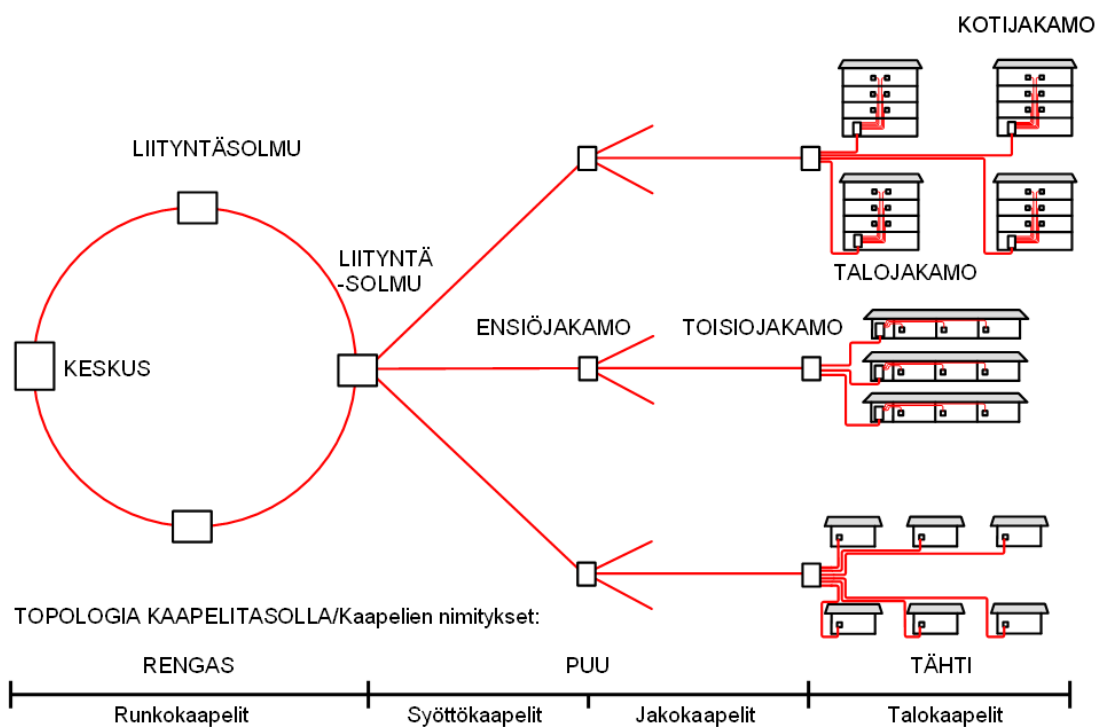


Kuva 10. FTTH:n rakennekuva. [9]

## 6. OPTISEN VERKON RAKENNE

### 6.1 Verkkotopologiat

Verkkotopologiat voidaan jakaa kaapelitopologiaan ja kuitutopologiaan. Kaapelitopologia ilmaisee kaapeleiden reitityksen ja vaikuttaa kaapelikanavien ja kaapelikaivantojen reititykseen sekä niiden maantieteelliseen sijaintiin. Kuitutopologiat kertovat miten kuidut kytkeytyvät toisiinsa kaapeleiden sisällä. Sen avulla kuvataan kuitujen määrää ja tiedonsiirtojärjestelmien vaatimuksia. Kuvassa 13 on topologiat esitetty kaapelitasolla. [10]



Kuva 13. Optisen liityntäverkon rakenne. [10]

Kaapelitopologioita ovat mm. tähti-, rengas- ja puutopologiat. Runkoverkko on yleensä rakennettu käyttäen rengastopologiaa ja siihen liityntäverkot kytketään

puutopologialla. Kiinteistöt taas kytkeytyvät liityntäverkkoon tähtitopologialla. [10]

Kuitutopologioita ovat passiivinen ”pisteestä pisteeseen” tähti eli täysi tähti sekä ”pisteestä moneen pisteeseen” aktiivisesti ja passiivisesti haaroittuva verkko. Täysi tähti on käytössä suosituin, koska siitä voidaan helposti muodostaa muita kuitutopologioita. Siinä voidaan keskittää aktiivilaitteet ja passiiviset jaottimet yhteen pisteeseen huollon ja ylläpidon helpottamiseksi. Tällä Kuitutopologialla toteutetussa liityntäverkossa asiakkaan valokuitupääteelle on kuituyhteys liityntäsolmusta saakka. Haaroittuvan verkon topologiassa kuituyhteys haaroittuu valokaapelipääteelle vasta aktiiviselta tai passiiviselta tähtipisteeltä. Kuitutopologiaa voidaan vaihtaa toiseen kuitutopologiaan kaapelointiin puuttumatta. [10]

## **6.2 Valokaapeliverkon osat**

Valokaapeliverkko rakentuu liityntäverkosta, niitä yhdistävästä runkoverkosta, kiinteistön sisäisestä viestintäverkosta ja valokaapeli- tai verkkopääteestä.

Optisella liityntäverkolla tarkoitetaan valokaapeliverkkoa liityntäsolmulta viimeiseen valokuitupääteeseen ennen kiinteistön viestintäverkkoa. Liityntäverkko päättyy siis talojakamoon, joka toimii yleisen viestintäverkon ja kiinteistön sisäisen viestintäverkon rajapintana. Liityntäverkkoon sisältyy liityntäsolmut ja tilaajakuidut sekä toteutustavasta riippuen vahvistimet ja jaottimet. Optinen liityntäverkko yhdistää asiakkaat ja heidän kiinteistöjensä viestintäverkot osaksi valokuidulla toteutettua viestintäverkkoa. [10]

Tilaajakuitu on asiakkaalta verkko-operaattorin verkkoon lähtevä kokonaan asiakkaan tiedonsiirtoon tarkoitettu kuitu. Runkoverkko on eri optisia liityntäverkkoja yhdistävä tiedonsiirtoverkko. [10]

Ensiö- ja toisiojakamoiden käytöllä saadaan aikaan vaihteittain haaroittuva verkkorakenne, missä optisen liityntäverkon kaapeloinnin toteutusta voidaan optimoida kuparikaapeloinnin tapaan. Ensiöjakamon tehtäviin kuuluu esimerkiksi optimoida syöttö- ja jakokaapeleiden pituuksien ja syöttökaapelien

kuitujen käytön vaiheittain sen mukaan, miten kuituliitännät aktivoituvat. Ensiöjakamon toiminnallinen merkitys kasvaa silloin, kun verkko muutetaan FTTB-rakenteesta FTTH-rakenteeksi. Tämä ilmenee varsinkin silloin kun tilaajakuidut ulottuvat liityntäsolmulle asti. [10]

Toisiojakamon tehtäviin kuuluu mm. optimoida jako- ja talokaapeleiden pituudet sekä jakokaapeleiden kuitujen käyttö. Toisiojakamona voi toimia kiinteistön talojakamo joka palvelee talon muita alijakamoita. Se voi myös sijaita korttelin jakokaapissa, jossa se palvelee useita saman korttelin kiinteistöjä. Talokaapelissa sijaitsee jakokaapelin ja talokaapeleiden väliset hitsausjatkokset. [10]

Talojakamo on kiinteistön jakamo jossa yhdistyy yleinen viestintäverkko ja kiinteistön sisäinen viestintäverkko. Optisen liityntäverkon talokaapelit päätetään talojakamossa valokaapelipäätelaitteeseen. Siihen myös asennetaan palveluiden edellyttämiä optisen verkon aktiivilaitteita. Kerros- ja rivitaloissa talojakamoon päätetään myös sisäisen viestintäverkon nousukaapelointi (kuitu- ja parikaapelointi). Verkkojen yhteen liittäminen tehdään kaapelipäätteiden välisillä suorilla ristikytkennöillä tai aktiivilaitteiden kautta tehtävillä ristikytkennöillä. [10]

Syöttö-, jako- ja talokaapelit ovat valokaapeleita, joita käytetään verkon eri osien yhdistämiseen. Syöttökaapeleilla yhdistetään ensiöjakamot liityntäsolmuun. Jakokaapeleilla yhdistetään toisiojakamot ensiöjakamoihin ja talokaapeleilla talojakamot toisiojakamoihin. Runkokaapeli nimitystä voidaan käyttää valokaapeleista, joita käytetään liityntäsolmujen tai liityntäsolmujen ja keskuksen yhdistämiseen. [10]

Valokaapelipääte on rakennukseen tulevan valokuitukaapelin päättämiseen tarvittava kotelo. Kotelossa on oltava valokaapeleiden vedonpoisto, kotelon metalliosien maadoitusmahdollisuus, pidikkeet kuitujatkossuojille, mekaaninen suoja liittimellisille häntäkuiduille, ylimääräpituuden varastointitila sekä rei'itetty levyrakenne liitinadaptereille. Nämä muodostavat rajapinnan passiiviselle valokaapeliverkolle, johon verkkopääte kytketään. [10]

Verkkopääte on asiakaspään aktiivinen laite, joka päättää kuituyhteyden ja muuntaa valosignaalin sähköiseen muotoon ja päinvastoin. Mediamuunnin tai tilaajapääte sekä lyhenteet ONU (Optical Network Unit), ONT (Optical Network Termination), ja CPE (Customer premises equipment) ovat myös verkkopääteestä käytettyjä termejä. Huoneistokohtaisesta verkkopääteestä saadaan liitännät yleensä Ethernet-, puhelin- ja antenniverkon yhteyksille. [10]

Kiinteistön sisäisellä viestintäverkolla tarkoitetaan kiinteistön sisäistä puhelin- tai antenniverkkoa tai yleiskaapeloinnilla toteutettua verkkoa. [10]

Kotijakamolla tarkoitetaan huoneiston jakamoa, johon kotikaapelointi päätetään ja sijoitetaan kodin tietoliikenne palveluiden edellyttämät aktiivilaitteet, kuten optinen verkkopääte. Koti- ja rivitaloissa nousukaapelointi päätetään kotijakamoon, jolloin kotijakamo toimii rajapintana nousukaapeloinnin ja kotikaapeloinnin välillä. Kotijakamo toimii omakotitaloissa myös talojakamona, joka toimii kotikaapeloinnin ristikytkentäpisteenä. [10]

### **6.3 Kaapelointi**

Nykyään kiinteistöjen tietoliikenneverkot toteutetaan yleiskaapeloinnin avulla. Yleiskaapelointi määrämuotoinen kaapelointijärjestelmä, joka tukee suurta joukkoa sovelluksia. Yleiskaapelointi on edullinen, selkeä ja helppo tapa toteuttaa kiinteistön tietoliikennekaapelointi. Se on myös helposti muunneltavissa rakennuksen tarpeiden mukaiseksi. [2]

Aluekaapelointi on aluejakamon ja yhden tai useamman talojakamon välinen kaapelointi. Alue- ja talojakamot sijaitsevat yleensä eri rakennuksissa. Kaapeloinnissa käytetään yleensä 62,5 /125  $\mu\text{m}$  (GK) monimuotokuitua tai yksimuotokuitua (SM). Ensisijainen optinen liitintyyppi on SC tai SC-D eli kaksois-SC. [2]

Nousukaapelointi tarkoittaa talojakamon ja yhden tai useamman kerrosjakamon välistä kaapelointia. Nopeaan tai keskinopeaan tiedonsiirtoon suositellaan 62,5/125  $\mu\text{m}$  (GK) monimuotokuitua tai yksimuotokuitua (SM). Hidasta dataa tai

puhetta varten voidaan käyttää 100  $\Omega$ :n parikaapelia. Nousukaapelointi saa olla enintään 500 m, eikä siihen käytetä jatkoksia. [2]

Kerroskaapelointi on kerrosjakamon ja yhden tai useamman työpisterasian välinen, ilman jatkoksia toteutettu kaapelointi. Kaapeloinnissa suositellaan käytettäväksi 5 100  $\Omega$ :n parikaapelia tai 62,5/125  $\mu\text{m}$  (GK) monimuotokuitua tarpeen niin vaatiessa. Kerroskaapeloinnin pituus on kaapelityypistä riippumatta 90 m. [2]

Kuidun yleistyminen kerroskaapeloinnissa on muuttanut yleiskaapeloinnin hierarkiaperiaatetta. Työpisteet voidaan kaapeloida kuidulla keskitetysti yhdestä tai useammasta pisteestä. Aktiivisia laitteita on vain näissä pisteissä, joten kerroskaapeloinnin ja nousukaapeloinnin raja on häviämässä. [2]

Keskitetyssä optisessa kaapeloinnissa käytetään 62,5/125  $\mu\text{m}$  (GK) tai 50/125  $\mu\text{m}$  (GI) monimuotokuitua. Se on myös suunniteltu siten, että gigabittisovellutusten toiminta on varmistettu. Standardi määrittelee jakamoissa ja työpisterasioissa käytettäväksi SC-D-liittimiä. [2]

kotikaapelointi on kotijakamon ja liitántärsioiden välinen kaapelointi. Se koostuu tyypillisesti Ethernet-yleiskaapeloinnista ja koaksiaalikaapeloinnista. Ethernet-kaapelointia käytetään datansiirrossa ja koaksiaalikaapelointia yleensä tv-kuvan siirtoon. [10]

## 7. PON-VERKOT

PON (Passive Optical Network -verkko) eli passiivinen optinen verkko vaatii hyvin vähän komponentteja: kuitukaapelia ja jaottimia sekä asiakkaiden verkkopäätteet. Passiivisen verkon etuna on se, ettei signaalin jakamiseen asiakkaille tarvita aktiivisia sähköä kuluttavia laitteita. Passiivisia verkkoja voidaan toteuttaa joko aikajakotekniikoilla TDM (time divided multiplexing) tai aallonpituuskanavointitekniikoilla WDM (wavelength divided multiplexing). Esimerkiksi EPON ja GPON perustuvat aikajakotekniikkaan ja WDM:ään perustuvat CWDM ja DWDM.

### 7.1 BPON

Broadband- eli BPON-verkko käyttää asyknronista siirtomuotoa (ATM eli Asynchronous Transferring Mode). Se on hyvin suosittu menetelmä siirrettäessä suurilla nopeuksilla kuvaa ja ääntä. ATM käyttää aikajakotekniikkaa jossa siirrettävä data jaetaan soluihin. Solussa on 5 tavuinen tunnisteosa ja 48 tavuinen informaatio-osa, joka sisältää siirrettävää dataa. [7]

### 7.2 EPON

EPON (Ethernet PON) on IEE:n kehittämä PON-topologia, jonka toiminta perustuu Ethernet-siirtotekniikkaan. [7]

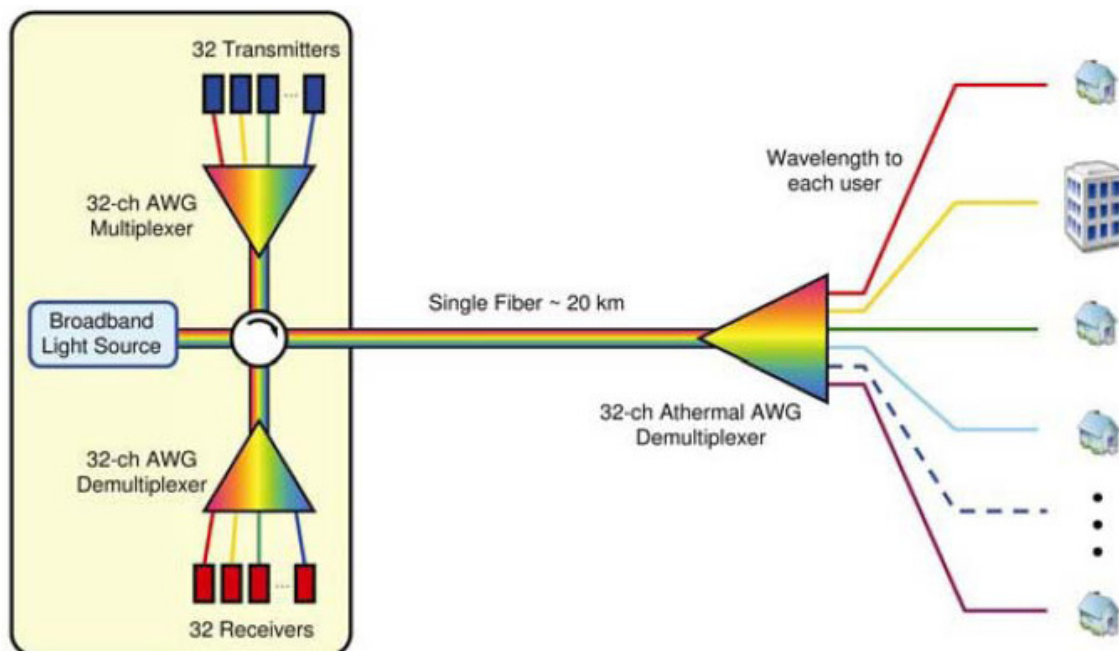
### 7.3 GPON

Gigabit PON (GPON) on ominaisuuksiltaan päivitetty versio BPONista. GPON tukee suuria tiedonsiirtonopeuksia ylä- ja alavirtaan suuremmille etäisyyksille. Se tukee Ethernet-, ATM- ja SONET (synchronous optical network)-siirtoprotokollia sekä sen tietosuojaa on parannettu. Teleoperaattorit voivat tarjota asiakkaille eri siirtoprotokollaa vaativia palveluja samanaikaisesti, esimerkiksi ADSL-laajakaistaliittymiä ja IPTV-palveluja. [7]



## 7.4 WDM-PON

WDM-PON on vaihtoehtoinen verkkoratkaisu edellä mainituille PON-verkoille. Se eroaa muista PON-verkoista vain toimintaperiaatteeltaan. Siinä jokaiselle asiakkaalle on määritely oma aallonpituutensa, joka erotetaan passiivisen suodattimen avulla. Tällöin jokaisella asiakkaalla on käytössä koko verkon kaista yhtäjaksoisesti aikajaottelun sijaan. Lisäksi verkkoprotokolla yksinkertaistuu, kun asiakkaat muodostavat P2P (Point-to-Point) yhteyden P2MP:n (Point-to-Multipoint) sijasta. Kuvassa 14 asiakkaiden määrä verkossa on 32 eli eri aallonpituuksia on 32. Määrä ei kuitenkaan ole rajattu, vaan aallonpituuksien määrä voi olla suurempi. Suurempi aallonpituuksien määrä taas vaatii parempia ja kalliimpia lasereita, jotka nostavat asiakaspääteiden hintaa. [11]



Kuva 14. WDM-PON verkon toimintaperiaate. [11]

WDM tekniikoista käytetyimpiä ovat coarse (CWDM) ja dense (DWDM). CDWDM tarkoittaa tilannetta, jossa kaksi tai useampia signaaleja on sekoitettu yhteen kuituun, josta yksi käyttää 1 550 nm:n aallonpituutta ja muut 1 310 nm:n aallonpituutta. Vuonna 2003 ITUn (International telecommunication union) julkaistussa standardissa (ITU-T G.694.2) CWDM-aallonpituusalue on määritelty 1 271 nm – 1 610 nm, jossa kanavaväli on 20 nm eli yhteensä kanavia on 18 tällä alueella. Kaikilla kuiduilla ei vesipiikin ja liian suuren vaimennuksen vuoksi voida käyttää kaikkia kanavia. Vanhemmilla G.652-standardin kuidulla käytettävissä olevat kanavat ovat rajoittuneet yli 1 470 nm:n aallonpituuksille. Uudemmissa G.652.C- ja G.652.D-määrityksien täyttävillä kuiduilla voidaan käyttää kaikkia 18:aa kanavaa. [12]

DWDM käyttää vain 1 550 nm:n aallonpituusalueita, ja kanavia on enemmän kuin CWDM:ssä. 100 GHz:n kanavavälillä eli 0,8 nm:n välein käytettäviä aallonpituuksia voi olla 40 tai 50 GHz:n kanavavälillä 80. Signaalin vahvistukseen voidaan käyttää EDFAa (erbium doped fibre amplifier), joka toimii parhaiten aallonpituuksilla 1 525 nm – 1 565 nm tai 1 570 nm – 1 610 nm. DWDM – järjestelmät vaativat lähettimiltä tarkkuutta, koska kanavaväli on niin pieni. Lisäksi lämpötilojen muutos voi aiheuttaa taajuuksien ”heittelyä” (engl. drifting), joka aiheuttaa häiriötä pienellä kanavavälillä.

## 8. NYKYTILANNE JA TULEVAISUUS

Optinen kuitu on nykyään hyvin yleinen nykyisissä kiinteissä tietoliikenneyhteyksissä. Suurissa kaupungeissa se on korvannut jo lähes kokonaan kuparikaapeloinnin.

Suomessa suurissa kaupungeissa kuidun käyttö tietoliikenneverkoissa on viime vuosina lisääntynyt. Etenkin FTTB- ja FTTH -tekniikoiden käyttö on yhä suosittumpaa. Näin ollen suuria tiedonsiirtonopeuksia hyödyntävien laajakaistapalvelujen tarjonta on lisääntynyt. Tavanomaista on, että IPTV -palvelun kanssa asiakkaalle tarjotaan samaan hintaan sisältyvä huippunopea laajakaistayhteys. Ongelmana on kuitenkin haja-asutusalueiden tietoliikenneyhteyksien hidas uudistuminen optisiin kuituverkkoratkaisuihin.

Taulukko 1. Kiinteän verkon laajakaistaliittymät tekniikoittain. [13]

Vuosi	2009		2010		2011		2012
Ajankohta	31.12.	30.6.	31.12.	30.6.	31.12.	30.6.	30.6.
Laajakaistaliittymät	1 565 600	1 555 100	1 559 400	1 571 500	1 606 000	1 614 600	
DSL	1 185 900	1 162 600	1 112 700	1 115 900	1 125 400	1 097 700	
Kiinteistö- ja taloyhtiöliittymä	106 600	117 500	158 000	139 400	172 900	195 400	
Kaapelimodeemi	222 700	229 600	240 600	255 500	263 600	276 100	
Langaton (kiinteä) laajakaista*	31 800	30 100	26 700	21 100	17 300	14 200	
FTTH	12 600	14 500	20 300	38 700	26 100	30 700	
Muu	6 000	800	1 100	900	700	500	

\*kiinteään sijaintipaikkaan tarjotut langattomat laajakaistaliittymät (Flash-OFDM, WiMAX ja Wlan)

Taulukosta 1 nähdään, että kiinteistö- ja taloyhtiöliittymien sekä FTTH -liittymien määrä on noussut. Kiinteistö- ja taloyhtiöliittymien suosio selittyy edullisemmilla kuluttajahinnoilla.

Suomen liikenne- ja viestintäministeriö on julkaissut toimenpideohjelman jolla pyritään vuosien 2013 – 2015 välillä kehittämään huippunopeita kiinteitä ja langattomia laajakaistayhteyksiä, jotta digitaalisia palveluja voitaisiin tarjota ja hyödyntää entistä laajamittaisemmin. Toimenpideohjelma kohdistuu pääosin pientaloalueisiin, jotka ovat jääneet julkisesti tuettujen laajakaistahankkeiden ulkopuolelle. [13]

Maailmanlaajuisesti internetin käyttö on lisääntynyt paljon. Lähes 40 % eli 2,7 miljardia maailman väestöstä käyttää internetiä ja 750 miljoonassa kotitaloudessa on internetliittymä, josta noin puolet on kehitysmaissa. Eniten liittymiä on Euroopassa ja Amerikan yhdysvalloissa. Eniten kiinteitä nopeita yli 10 Mbit/s -laajakaistaliittymiä on Koreassa 95 % kaikista kiinteistä internetliittymistä, Hong Kongissa (88 %) ja Japanissa (87 %). Suomi löytyy vasta sijalta 23 (42 %). Suurista Euroopan maista vain Saksa sijoittuu Suomea alemmas sijalle 27. (32 %). [14]

Euroopan komissiolla on tavoitteena, että kaikilla eurooppalaisilla olisi vähintään 30 Mbit/s laajakaistayhteys ja puolella olisi 100 Mbit/s laajakaistayhteys käytössään vuoteen 2020 mennessä. Muissa maissa laajakaistayhteyksiä pyritään kehittämään myös erilaisilla ohjelmilla. Esimerkiksi USA:ssa tavoitteena on rakentaa 100 miljoonalle taloudelle 100/50 Mbit/s laajakaistayhteys vuoteen 2020 mennessä. Japanissa on saatavilla jo nyt 2 Gbit/s laajakaistaliittymiä, jotka ovat tällä hetkellä maailman nopeimmat. [14, 15]

## 9. YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin kuitu kotiin -verkkoa, jossa laajakaistapalvelut tuodaan asiakkaan kotiin optisen kuidun avulla. Työssä selvitettiin myös erilaisia verkkoratkaisuja, joissa tietoliikennettä kuljetetaan osittain optista kuitua ja tavallista kuparikaapelointia pitkin. Lisäksi työssä perehdyttiin optisen liityntäverkon rakenteeseen, osiin ja verkkotopologioihin. Tarvetta Kuitu kotiin -verkoille on, koska erilaisten palvelujen määrä internetissä on kasvanut. FTTH on erinomainen vaihtoehto harvaan asutuillekin seuduille. Tarve huippunopeille laajakaistaliittymille on, koska digitaalisten viihdepalvelujen määrä ja käyttö on kasvanut ja tulee kasvamaan myös tulevaisuudessa. Taloyhtiöille tarjottavat kiinteistölaajakaistat ovat kasvattaneet suosiotaan, koska niillä voidaan tarjota asukkaille asiakaskohtaisia laajakaistaliittymiä alhaisempaan hintaan laajakaistapalveluita huippunopealla laajakaistayhteydellä.

## LÄHTEET

- [1] kuitu.net, "Kuituinfo", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.kuitu.net/portal/fi>. (Luettu: 5.4.2013).
- [2] Helkama Bica. *Valokaapelit Tele -ja tietoverkoissa*. Saatavilla: [http://www.helkamabica.fi/index.php?option=com\\_rubberdoc&view=doc&id=17&format=raw](http://www.helkamabica.fi/index.php?option=com_rubberdoc&view=doc&id=17&format=raw). (Luettu: 9.4.2013)
- [3] Helkama Bica, "FXOMU". [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.helkamabica.fi/pdf/FXOMU\\_FI.pdf](http://www.helkamabica.fi/pdf/FXOMU_FI.pdf). (Luettu:9.4.2013).
- [4] Helkama Bica, "FXOVDMU". [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.helkamabica.fi/pdf/FXOVDMU\\_FI.pdf](http://www.helkamabica.fi/pdf/FXOVDMU_FI.pdf). (Luettu: 9.4.2013).
- [5] Viestintävirasto, *IPTV-standardointi ja kehitystilanne*, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/5wVjAqUI9/TRaportti022008.pdf> (Luettu: 9.4.2013)
- [6] Ikonen, A. *Teräväpiirtotelevisio*. Raisio: TeleStory OY, 2009.
- [7] O'Driscoll, G. *Next generation iptv services& technologies*. New Jersey: Wiley, 2008.
- [8] Sciencedirect, "A simplified energy consumption model for fibre-based Next Generation Access Networks", [www-dokumentti] Saatavilla: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736585311000761> (luettu: 21.4.2013)
- [9] Opennetworks, "What is FTTH", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.opennetworks.com.au/FTTH-Lakeside/FTTH-Fibre-to-Your-Home/FTTH-Your-Land/What-is-FTTH/What-is-FTTH/default.aspx> (luettu: 23.4.2013)
- [10] Viestintävirasto, *Optiset liityntäverkot V2*, [www-dokumentti]. Saatavilla: <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tyoryhmaraportit/TRaportti012006v2.pdf> (Luettu: 9.4.2013)
- [11] Pearson, M. *WDM-PON: A viable alternative for next generation FTTH*, Enablence, 2010, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.enablence.com/media/mediamanager/pdf/104-enablence-article-wdm-pon.pdf>. (Luettu: 9.4.2013).
- [12] Wikipedia, "Wavelength-division multiplexing", [www-dokumentti]. Saatavilla: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division\\_multiplexing](https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing). (Luettu: 6.4.2013)
- [13] Liikenne- ja viestintäministeriö. *Huippunopealaajakaistahanke toimenpideohjelma*, 2013, [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.lvm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=2497123&name=DLFE-19407.pdf&title=Julkaisu%202013-2013](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=2497123&name=DLFE-19407.pdf&title=Julkaisu%202013-2013) (Luettu 21.4.2013)
- [14] International Telecommunication Union. *World in 2013 ICT facts and figures*, [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013.pdf> (21.4.2013)
- [15] Pcworld, "Sony ISP launches world's fastest home Internet, 2Gbps", [ww-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.pcworld.com/article/2034643/sony-isp-launches-worlds-fastest-home-internet-2gbps.html> (luettu: 16.4.2013)